

PARTE SECONDA

**LA PROGRAMMAZIONE DELLA PRODUZIONE
NEI SISTEMI FLESSIBILI DI PRODUZIONE:
UN CASE-STUDY**

CAPITOLO 4

TECNICHE DI GESTIONE DELLA PRODUZIONE E SISTEMI FLESSIBILI DI PRODUZIONE

4.1. Introduzione.

Prima di affrontare la problematica della programmazione della produzione nei sistemi flessibili di produzione riteniamo opportuno fare un quadro generale sulle tecniche di gestione della produzione.

L'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di mettere in relazione le tecniche di gestione della produzione e i sistemi flessibili di produzione. Il quesito a cui si vuole rispondere è il seguente: l'introduzione in fabbrica di un impianto flessibile di produzione richiede anche l'adozione di particolari tecniche di gestione? In altre parole, la gestione di un FMS può essere affrontata nel quadro delle tecniche adottate per il governo dei sistemi produttivi tradizionali?

L'interrogativo si inserisce in un più generale ripensamento dei sistemi di gestione della produzione determinato dall'individuazione, a partire dagli anni '70, di nuove tecniche di gestione della produzione presso le maggiori imprese manifatturiere giapponesi¹.

Il riferimento è ovviamente alla filosofia giapponese del 'Just-in-Time' (JIT)² ed al suo impatto³ sui sistemi americani di 'Manufacturing Resource Planning' (MRP II)⁴. La risposta ai quesiti posti necessita pertanto

¹ Si veda al riguardo:

S. DE VIO, *Dagli Stati Uniti al Giappone: andata e ritorno*, Isedi, 1985, pg. 141-172.

A.E. LOEBEL, *JIT vs MRP. Exploding the myths, Readings in Zero Inventory*, APICS, 1984.

W. GODDARD, *Kanban versus MRP II - Which is best for you?*, Modern Materials Handling, November 1982.

² Y. SUGIMORI, K. KUSUNOKI, F. CHO, S. UCHIKAWA, *Toyota production system and kanban system: materialization of a just-in-time and respect for human system*, *Proceedings of the 4th International Conference on Production Research*, Tokyo, Japan, 22-30 August 1977.

S. SHINGO, *Il sistema di produzione giapponese «Toyota»*, Angeli, 1985.

Y. MONDEN, *Produzione Just-in-Time*, Isedi, 1986.

³ R.W. HALL, *Kawasaki USA: transferring japanese production methods to the United States*, APICS, 1982.

R.J. SCHOMBERGER, *Tecniche produttive giapponesi*, Angeli, 1987, cap. 4.

⁴ O.W. WIGHT, 1984, *op. cit.*

S.A. MELNYK, R.F. GONZALES, *In search of MRP II, Readings in Productivity Improvements*, APICS, 1984.

di un'analisi preliminare volta a cogliere il nesso tra le vecchie e le nuove tecniche di gestione della produzione, individuandone logiche sottese e condizioni di applicabilità.

Per realizzare tale analisi tenteremo per prima cosa di creare uno schema concettuale unitario che classifichi le diverse tecniche gestionali di alcuni sottosistemi inerenti alla programmazione e controllo della produzione sulla base delle logiche di funzionamento ad esse sottese; i sottosistemi che andremo ad individuare sono compresi in un sistema più ampio che è il «sistema gestione della produzione».

La creazione di uno schema interpretativo unitario sarà il punto di partenza per:

- individuare le condizioni di applicabilità che determinano l'utilizzo di una tecnica all'interno di ciascun sottosistema di gestione;
- evidenziare, date le condizioni di applicabilità e scelte le tecniche di gestione, la coesistenza di logiche diverse all'interno di un sistema di programmazione e controllo della produzione;
- indicare le tecniche migliori per realizzare gli obiettivi della filosofia JIT;
- individuare infine le relazioni tra le tecniche di gestione della produzione e le modalità di controllo dei sistemi flessibili di produzione.

I tre sottosistemi individuati per classificare le diverse tecniche di gestione della produzione sono:

- la pianificazione della produzione;
- la gestione delle scorte;
- il controllo degli avanzamenti, inteso come assegnazione delle priorità di lavorazione, prelievo e movimentazione dei materiali.

Le logiche di riferimento scelte per tali tecniche, rifacendosi ad una terminologia ben nota nel campo della gestione della produzione, sono:

- la logica 'push';
- la logica 'pull'.
- la logica mista 'push-pull'.

Il significato dei termini 'push' e 'pull' sono quelli classici riportati in letteratura⁵:

- 'push' ovvero 'spingere' significa fare un'azione in anticipo rispetto al fabbisogno;
- 'pull' ovvero 'tirare' significa fare un'azione su richiesta.

⁵ Cfr. W.E. GODDARD, R.B. BROOKS, *Just-in-Time: a goal for MRP II, Readings in Zero Inventory*, APICS, 1984.

4.2. La pianificazione della produzione.

Le tecniche mediante cui può essere definito un piano di produzione sono sostanzialmente due:

- anticipo-periodo (AP)⁶;
- piano principale di produzione o Master Production Schedule (MPS)⁷.

Negli impianti dove si utilizza la tecnica anticipo-periodo i piani di produzione vengono definiti in relazione ad un determinato periodo ed in anticipo rispetto allo stesso periodo. Nell'esempio di fig. 4.1. il periodo è pari ad un mese e l'anticipo è pari a due mesi. In generale anticipo e periodo possono essere così definiti:

- il periodo è l'intervallo di tempo durante il quale vengono eseguite le operazioni necessarie per attuare i programmi definiti;
- l'anticipo è l'intervallo di tempo in cui vengono svolte le attività preliminari.

Ad esempio nelle aziende con prodotti a catalogo su ordine (make-to-order):

- durante l'anticipo si emettono gli ordini ai fornitori e si attende l'arrivo della merce;
- durante il periodo vengono costruiti i componenti e vengono montati i prodotti finiti.

Diversamente nelle aziende con prodotti di montaggio su ordine (assembly-to-order):

- durante l'anticipo vengono fatte le previsioni di vendita, sono emessi gli ordini ai fornitori, si attende l'arrivo della merce e vengono costruiti componenti e sottoassiemi;
- durante il periodo sono eseguite le lavorazioni terminali in base agli ordini dei clienti: montaggi, verniciature, imballaggi e spedizioni.

In ogni caso con la tecnica anticipo-periodo viene pianificata la produzione di un solo periodo.

L'applicazione della tecnica del piano principale di produzione sviluppa invece un programma di produzione per molti periodi in avanti.

⁶ Questa tecnica è descritta in G. DE ANGELI, *La programmazione dei prodotti di serie*, Angeli, 1973, cap. 3. La medesima tecnica è ripresa con il termine precessione-periodo da F. DA VILLA, 1985, *op. cit.*, cap. 7. Una particolare applicazione (The periodic control system at Kumera OY) è commentata in T.E. VOLLMAN, et al., 1984, *op. cit.*, cap. 20.

⁷ Per una descrizione della tecnica MPS si veda:

W.L. BERRY, T.E. VOLMANN, D.C. WHYBARK, *Master Production Scheduling: Principles and Practice*, APICS, 1979.

J. ORLICHY, 1975, *op. cit.*, cap. 11.

R. SCHROEDER, *Operations Management - Decision Making in the Operations Function*, Mc Graw-Hill, 1981, pg. 409 e segg.

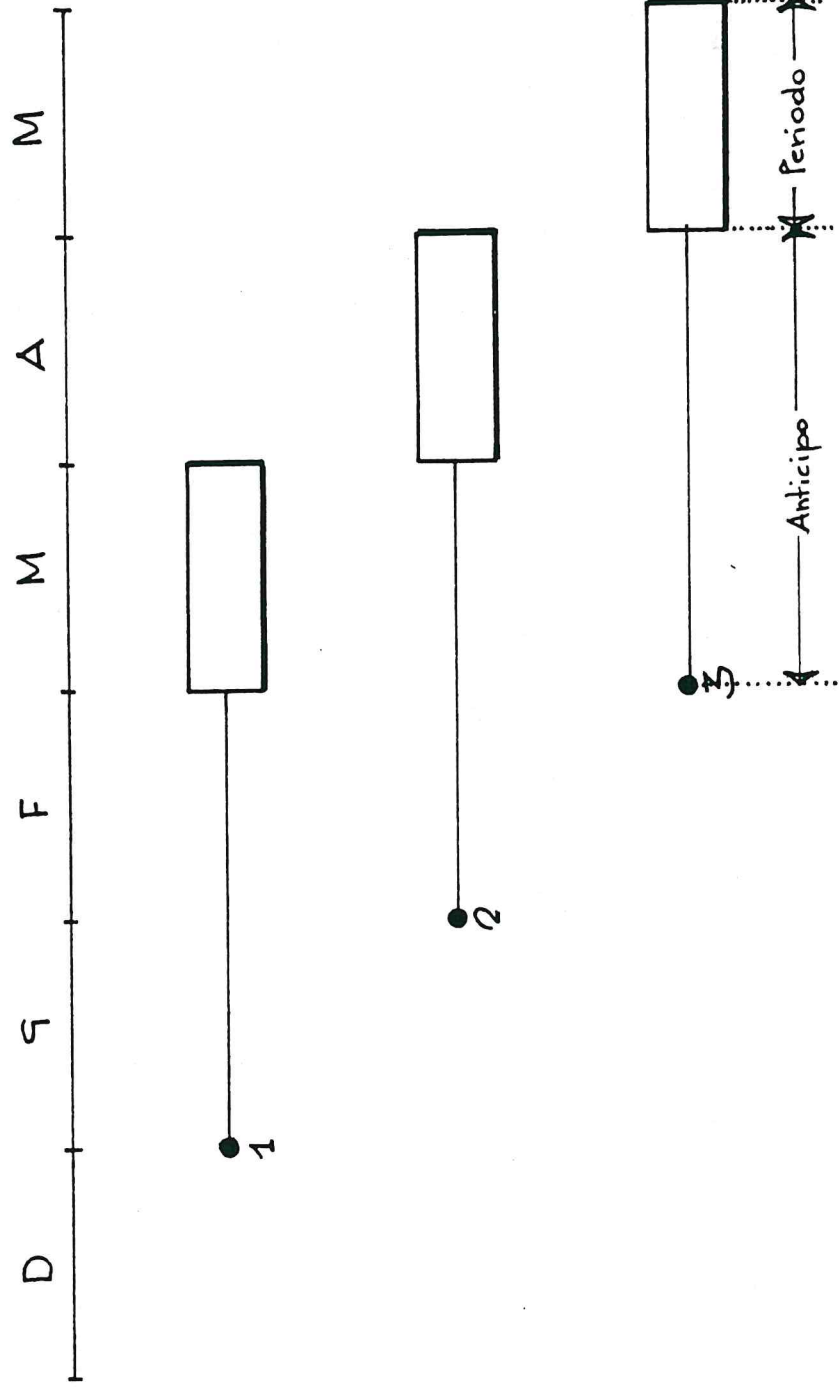


Fig. 4.1- Modello Anticipo-Periodo (AP)
 Fonte: elaborazione da F. Da Villa, 1985, op.cit.

Nell'esempio di fig. 4.2. ad inizio Gennaio viene definito il piano di produzione per tutti i mesi fino a Dicembre. Successivamente con scansione mensile, vengono riviste tutte le decisioni prese precedentemente e viene definita la produzione per il mese successivo all'ultimo mese pianificato in precedenza. Ad esempio ad inizio Febbraio si rivedono tutti i piani di produzione fino a Dicembre e si decide la produzione per il mese di Gennaio dell'anno successivo.

La tecnica MPS è molto più flessibile rispetto alla tecnica AP perché consente la modificabilità dei programmi. È ovvio però che la modificabilità dei programmi è effettivamente tale solo se esiste un elevato livello di modularità dei prodotti, ovvero se molti componenti possono indifferentemente essere utilizzati in molti prodotti finiti.

Ad esempio l'aumento delle quantità da produrre di un determinato codice di prodotto finito è possibile solo se:

- esiste un elevato livello di modularità dei prodotti finiti;
- è possibile ridurre di una quantità analoga il programma di produzione di un altro prodotto finito.

La modificabilità dei programmi nel modello MPS è stata evidenziata in fig. 4.2., indicando con 100, 120, 80 e 120 le quantità da produrre di un codice di prodotto finito definite rispettivamente agli istanti 1, 2, 3, e 4.

Nel caso di aziende con prodotti a catalogo su ordine (assembly-to-order) vengono in realtà definiti due distinti piani di produzione:

- il piano principale di produzione dei componenti (o MPS) sulla base delle previsioni di vendita;
- il piano finale di assemblaggio (o Final Assembly Schedule - FAS) dei prodotti finiti sulla base degli ordini dei clienti.

Il piano principale di produzione ha un orizzonte temporale di numerosi mesi in avanti. Il piano finale di assemblaggio copre invece pochi giorni o poche settimane⁸. I diversi orizzonti temporali dipendono dai diversi lead times in gioco:

- i tempi di approvvigionamento delle materie prime e di costruzione di componenti e sottoassiemi sono lunghi;
- i tempi di consegna al cliente sono brevi; in tali intervalli di tempo vengono svolte solo le operazioni di montaggio dei prodotti finiti.

Ai fini di una classificazione delle tecniche di pianificazione secondo le logiche 'push' e 'pull' possiamo anche non distinguere tra tecniche AP e tecniche MPS-FAS.

Ad esempio nelle aziende 'assembly-to-order' sia che vengano utilizzate tecniche AP che MPS-FAS:

- i componenti vengono costruiti sulla base delle previsioni di vendita, cioè in anticipo rispetto al fabbisogno e quindi con logica 'push';

⁸ Cfr. J. ORLICHY, 1975, *op. cit.*, pg. 234.

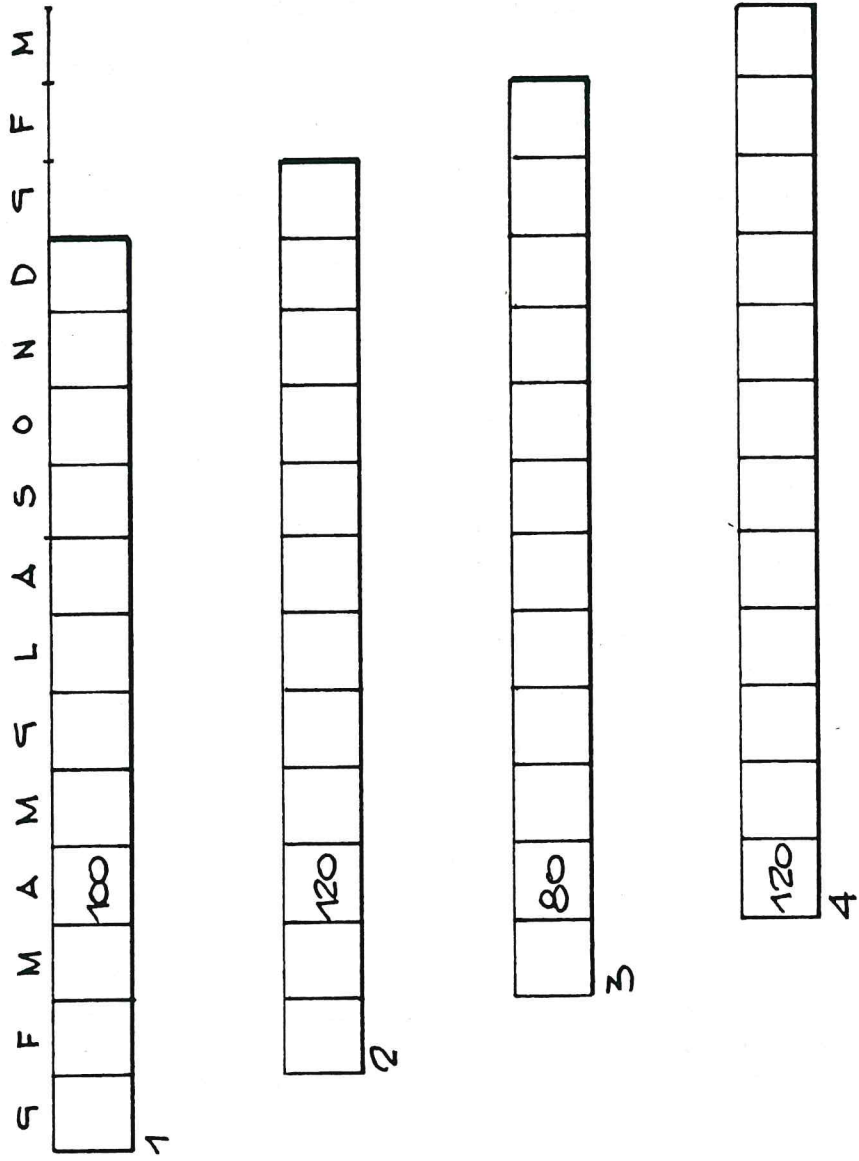


Fig. 4.2. Modello "Master Production Schedule" (MPS)
 Fonte: elaborazione da F. Da Villa, 1985, op. cit.

— i prodotti finiti vengono assemblati in base agli ordini dei clienti, cioè su richiesta e quindi con logica 'pull'.

Concentrando quindi la nostra attenzione sulle tecniche MPS e FAS, possiamo classificare le due tecniche come sotto descritto.

— Un piano principale di produzione (MPS) e un piano finale di assemblaggio (FAS) definiti su previsione delle vendite si avvalgono entrambi di una logica 'push' perché la realizzazione di componenti e di prodotti finiti avviene in anticipo sui fabbisogni. Questo è il caso ad esempio delle aziende 'make-to-stock' dove si opera con due piani distinti di produzione (MPS e FAS) pur di ritardare al massimo il piano finale di assemblaggio, cioè la definizione delle caratteristiche finali dei prodotti finiti (componenti particolari, optionals, ecc.).

Ciò consente di decidere l'allestimento dei prodotti finiti sulla base di previsioni più attendibili perché più vicine nel tempo.

— Un piano principale di produzione e un piano finale di assemblaggio, eseguiti entrambi su ordine del cliente, possono essere ovviamente associati alla logica 'pull' perché realizzati su richiesta. Nelle aziende 'make-to-order' produzione e montaggio sono effettivamente eseguiti in base agli ordini dei clienti.

— Infine un piano principale di produzione eseguito sulla base delle previsioni di vendita e un piano finale di assemblaggio realizzato su ordine rappresentano un sistema di pianificazione basato su una logica mista 'push-pull'. È il caso già descritto delle aziende 'assembly-to-order'.

4.3. La gestione delle scorte.⁹

Le tecniche di gestione delle scorte possono essere ricondotte a due tipologie fondamentali: le tecniche a punto di riordino (reorder point-ROP)¹⁰ e le tecniche di pianificazione dei fabbisogni dei materiali (material requirements planning - MRP)¹¹.

⁹ Nella prima parte di questo paragrafo le logiche rispetto alle quali sono classificate le tecniche di gestione delle scorte sono quelle del guardare indietro e del guardare avanti. (Cfr. F. DA VILLA, *Programmazione e controllo della produzione*, Etas Libri, 1985, pg. 39). La classificazione rispetto alle logiche 'push' e 'pull' sarà descritta alla fine del paragrafo.

¹⁰ Tecniche riconducibili al punto di riordino, come il metodo dei due recipienti e la copertura totale, sono descritte in F. DA VILLA, 1985, *op. cit.*, pg. 72-74.

¹¹ La descrizione della tecnica MRP è descritta esaurientemente in J. ORLICHY, 1975, *op. cit.*, cap. 2-3-4-5-6. In letteratura italiana si veda F. DA VILLA, 1985, *op. cit.*, cap. 5.

Con la gestione a punto di riordino, la richiesta di un certo materiale¹² viene formulata perché è stato raggiunto il livello di riordino, ovvero la quantità in giacenza è diventata piccola rispetto al consumo che ci si aspetta di avere nei periodi successivi.

Con le tecniche di pianificazione dei fabbisogni dei materiali l'ordine del materiale è lanciato perché ne esiste un fabbisogno futuro.

Le due metodologie di gestione ROP e MRP realizzano rispettivamente le due logiche¹³ del guardare indietro (look back), basata sui consumi storici, e del guardare avanti (look ahead), basata sui fabbisogni calcolati¹⁴.

Le variabili significative che intervengono nella scelta tra le due alternative sono quattro:

- il valore di impiego;
- la relazione tra il lead-time ed il tempo di programmazione;
- la frequenza del consumo;
- il numero di livelli della distinta base gestiti.

Valore d'impiego.

Il valore d'impiego di un materiale è rappresentato dal prodotto della quantità consumata (o che si prevede di consumare) nell'unità di tempo per il suo valore unitario. Per i materiali a basso valore di impiego è preferibile il criterio del guardare indietro; per i materiali ad alto valore di impiego è preferibile il criterio del guardare avanti. Infatti il criterio del guardare avanti consente una riduzione della giacenza media, che, nel caso di materiali ad alto valore d'impiego, realizza una sostanziale riduzione del capitale investito¹⁵.

¹² Per materiale si intende, di norma, qualsiasi elemento direttamente o indirettamente utilizzato per realizzare un prodotto finito, ad esempio materie prime, componenti, sottoassiemi, materiali di consumo. Cfr. AIGI, Glossario di termini di produzione, 1985.

¹³ Guardare avanti e guardare indietro sono due categorie logiche introdotte da F. DA VILLA, 1985, *op. cit.*, pg. 39. In letteratura anglosassone una tale classificazione non è chiaramente definita. In T. VOLLMANN, et al., 1984, *op. cit.*, pg. 39 la tecnica MRP è definita come un 'forward looking system'. Per quanto riguarda la tecnica ROP, J. ORLICKY (1975, *op. cit.*, pg. 23) afferma che ROP e previsioni sono inseparabili, e che le previsioni (siano esse intrinseche o estrinseche) utilizzano l'esperienza passata per prevedere il futuro.

¹⁴ Più precisamente quando l'MRP è applicato a codici a domanda indipendente (ad esempio prodotti finiti e parti di ricambio), per i quali il fabbisogno è previsto e non calcolato, si parla di 'time-phased order point'. Cfr. J. ORLICKY, 1975, *op. cit.*, pg. 37 e 91.

¹⁵ Cfr. S. SCIARELLI, *Il sistema d'impresa*, Cedam, 1985, pg. 359-364. L'autore parla più precisamente di 'usi' correnti.

Relazione tra il lead-time ed il tempo di programmazione.

Il lead-time (LT) è il tempo necessario per ottenere il materiale ordinato ad un fornitore o ad un reparto di produzione; il tempo di programmazione (TP) è il tempo che intercorre tra l'istante in cui si decide un programma di attività, in base al quale emerge il fabbisogno di un materiale, e l'istante in cui quel materiale deve essere disponibile.

Se $LT \leq TP$ è possibile adottare il criterio del guardare avanti; quando $LT > TP$ è necessario utilizzare il criterio del guardare indietro. Tali conclusioni sono valide sia per materiali a domanda indipendente che dipendente¹⁶.

In fig. 4.3a. è rappresentata la distinta base di un generico prodotto «a» e in figura 4.3b. le relazioni esistenti tra lead times e tempi di programmazione. In quest'ultima si individuano i lead times cumulati¹⁷ del prodotto finito e dei componenti. Dal confronto tra i lead times di codice ed i tempi di programmazione che esistono qualora i fabbisogni emergano all'istante 1, si deduce che i codici a, b, c, possono essere gestiti con logica del guardare avanti. Nel caso in cui i fabbisogni emergano nell'istante 2 il codice c, avendo un lead time maggiore del tempo di programmazione, dovrà essere gestito con logica del guardare indietro. Qualora il codice c non possa essere gestito con logica del guardare indietro (ad esempio per il suo alto valore di impiego) la soluzione del problema non può essere trovata all'interno del sottosistema gestione scorte (che è l'oggetto della nostra attenzione in questo paragrafo), bensì deve essere ricercata nell'ambito del sottosistema di pianificazione, facendo diventare il codice «c» oggetto di previsione. In questo modo però è richiesta la definizione di un piano di produzione non solo dei prodotti finiti, ma anche di tutti quei materiali che non si desidera gestire con la logica del guardare indietro.

In generale una tecnica di gestione scorte (sia essa ROP o MRP) deve essere concepita come un meccanismo che a partire da determinati piani di produzione garantisce la presenza dei materiali necessari per realizzare tali piani in quantità e tempo.

Ritornando all'esempio in figura 4.3.b., se la materia prima «c» non può essere approvvigionata in tempo utile mediante una tecnica di gestione scorte con logica del guardare avanti (MRP) e non si voglia gestirla

¹⁶ La domanda di un bene è definita indipendente quando non è in relazione alla domanda di altri beni (prodotti finiti e parti di ricambio). Viceversa la domanda è definita dipendente quando è strettamente in relazione o deriva dalla domanda di altri prodotti (materie prime, componenti, sottoassiemi).

¹⁷ Tale termine nella letteratura anglosassone è noto come 'cumulative lead time' o 'stacked lead time'.

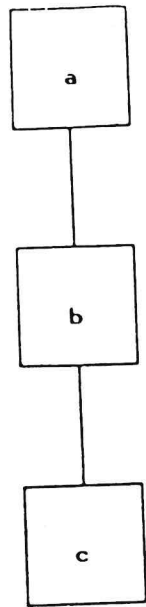


Fig. 4.3.a - Distinta base

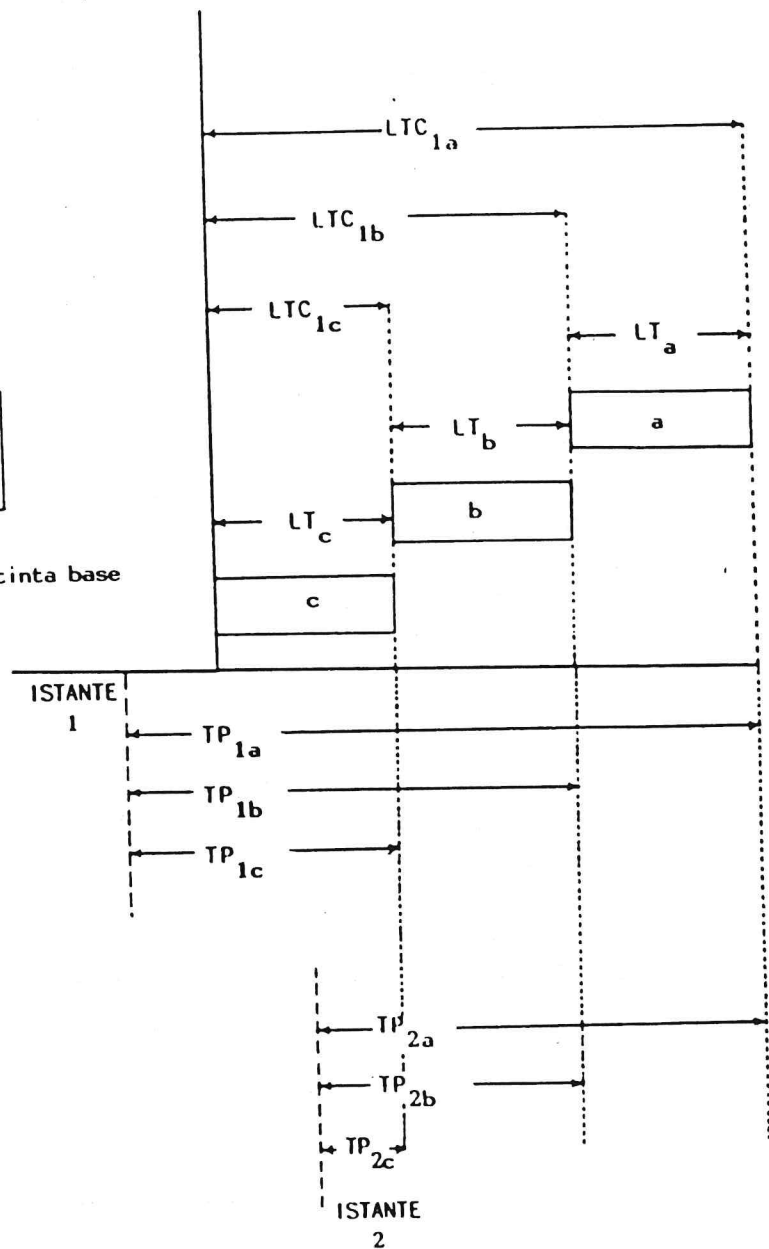


Fig. 4.3.b - Relazione tra i tempi in gioco

con una tecnica con logica del guardare indietro (ROP) per motivi finanziari, l'unica strada percorribile è definire un piano di approvvigionamento a sé stante della materia prima.

La definizione di più piani di produzione è tipica nelle aziende 'assembly-to-order' dove:

- viene definito il piano finale di assemblaggio (FAS) dei prodotti finiti;
- viene definito il piano principale di produzione (MPS) dei componenti;
- viene definito il piano di approvvigionamento delle materie prime qualora i loro tempi di approvvigionamento siano estremamente lunghi.

Questi piani sono ovviamente correlati, ma non sono tra loro 'dipendenti'.

Frequenza d'uso.

La frequenza d'uso determina la prevedibilità della domanda. Quando la frequenza del consumo¹⁸ è elevata, i dati storici sono significativi e pertanto è possibile stimare con buona approssimazione il comportamento futuro della domanda. Risulta in tal caso conveniente ricorrere al criterio del guardare indietro. Quando invece la frequenza del consumo è bassa è opportuno viceversa adottare metodologie del guardare avanti.

Le tre variabili sopra descritte consentono di individuare per ciascun codice, sia esso prodotto finito, componente o materia prima, le politiche di gestione più appropriate. Dagli incroci di tali variabili, presentati in fig. 4.4., si evince che:

- qualora il lead-time di codice è maggiore del tempo di programmazione è necessario in ogni caso guardare indietro;
- qualora il lead-time di codice è minore od uguale al tempo di programmazione dobbiamo distinguere tre sottoipotesi:
 - quando il valore di impiego è alto è opportuno guardare avanti;
 - quando il valore di impiego è basso e la frequenza è alta è opportuno guardare indietro;
 - quando il valore di impiego è basso e la frequenza del consumo è bassa è possibile sia guardare avanti che guardare indietro; non è infrequente tuttavia che le imprese preferiscano guardare indietro per semplificare la gestione dei materiali.

¹⁸ Il consumo dei materiali a domanda indipendente è strettamente legato al mercato; il consumo dei materiali a domanda dipendente è funzione di quella dei prodotti finiti a cui appartengono. Cfr. J. ORLICKY, 1975, *op. cit.*, pg. 26.

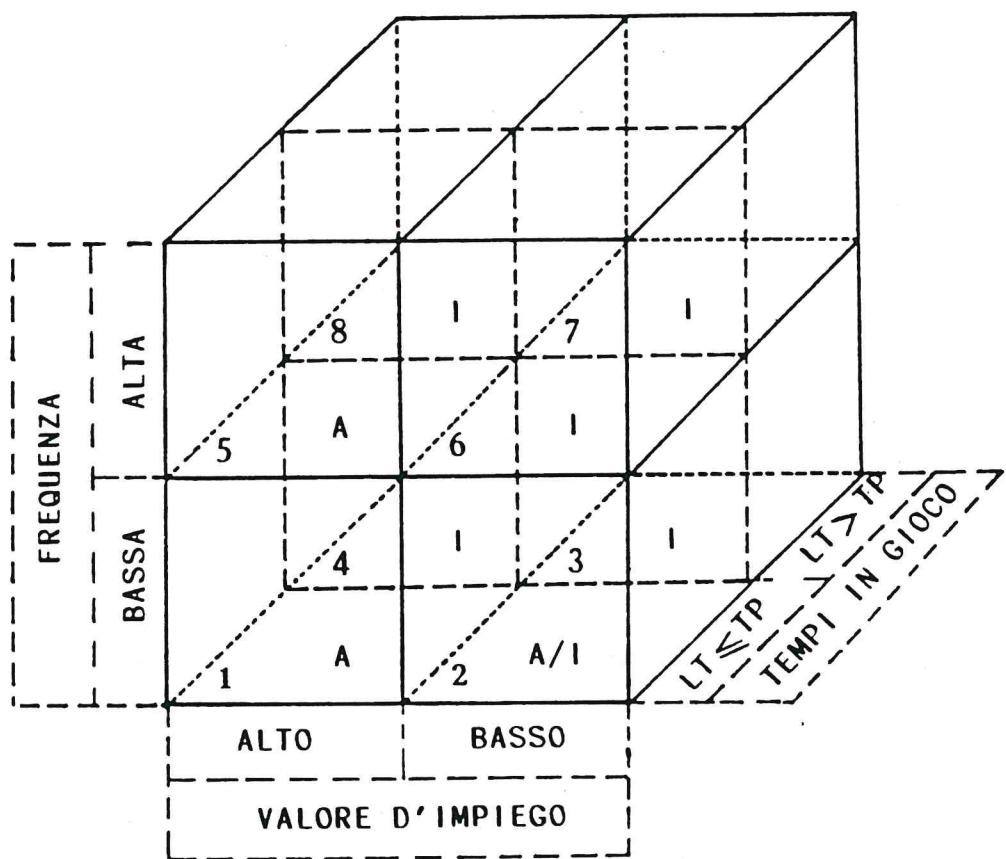


Fig. 4.4 - Incrocio fra tre variabili che intervengono nella gestione delle scorte

Numero di livelli della distinta base gestiti.

La quarta ed ultima variabile che interviene nella scelta tra tecniche di gestione delle scorte, cioè il numero di livelli della distinta base gestiti, non è riferita come le tre precedenti al singolo codice, bensì da una parte alla struttura della distinta base del prodotto (numero di livelli), e dall'altra alla scelta aziendale di quali codici gestire a magazzino e di quali viceversa trattare come codici fantasma¹⁹.

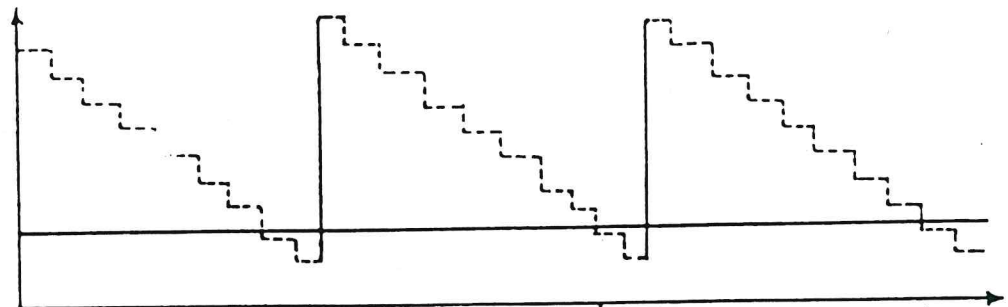
All'aumentare del numero dei livelli gestiti cresce l'opportunità di utilizzare metodologie riconducibili al criterio del guardare avanti. Gli svantaggi derivanti da una gestione del tipo ROP per i componenti di livello inferiore (codici a domanda dipendente) crescono proporzionalmente al numero dei livelli. Il concetto è rappresentato con efficacia dal grafico di figura 4.5.

Passando per i codici a domanda dipendente da gestioni del tipo ROP a quelle di tipo MRP, se è vero che si ottiene una notevole riduzione del livello delle scorte, è pur vero che il tempo necessario per ottenere un prodotto finito «a» passa da un lead time di codice pari ad LT_a ad un lead time cumulato LTC_a (cfr. fig. 4.3b.). Nel caso in cui tale lead time cumulato non sia accettabile dal mercato è necessario gestire con logica del guardare indietro i componenti di livello più basso della distinta base (a meno di non farli diventare oggetto di pianificazione) e così facendo i lead times cumulati dei prodotti finiti e dei componenti di più alto livello diminuiscono (cfr. fig. 4.6.). In questo modo diviene possibile applicare per essi una metodologia del guardare avanti perché rientrano nei tempi di programmazione.

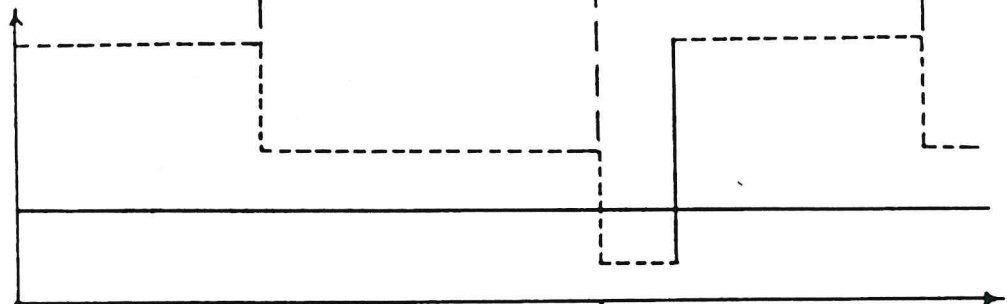
Il collegamento di quest'ultima variabile individuata, cioè il numero di livelli gestiti della distinta base, con l'analisi comparata delle tre precedenti variabili, determina quindi una interpretazione dinamica della figura 4.4. relativamente alla variabile 'tempi in gioco'. Nella misura in cui si decide di guardare indietro per codici di basso livello si ha infatti l'opportunità di guardare avanti per i codici di livello superiore e per i prodotti finiti, poiché cambiano le relazioni tra i lead times in gioco ed i tempi di programmazione. Si realizza in tal modo una migrazione di codici tra i due livelli di profondità del cubo, tanto più significativa quanto più la frequenza del consumo è bassa ed il valore di impiego è alto.

¹⁹ I codici fantasma rappresentano dei sottoassiemi che si desidera evidenziare, ma che non vengono normalmente gestiti. Cfr. G. BALBIANO, *Produrre con l'elaboratore*, Etas Libri, 1980, pg. 63.

Prodotto finito
Domanda indipendente



Componente del prodotto finito
Domanda dipendente dal prodotto



Materia prima
Domanda dipendente dal componente

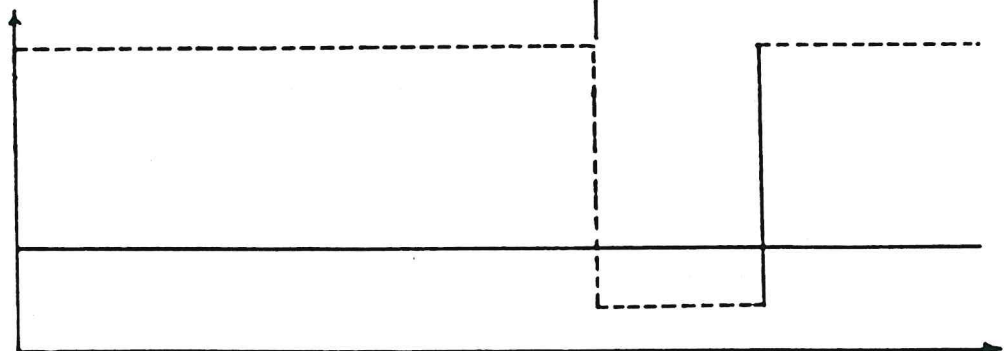


Fig. 4.5 - Sistemi ROP e domanda dipendente

Fonte: J. Orlicky, 1975, op.cit.

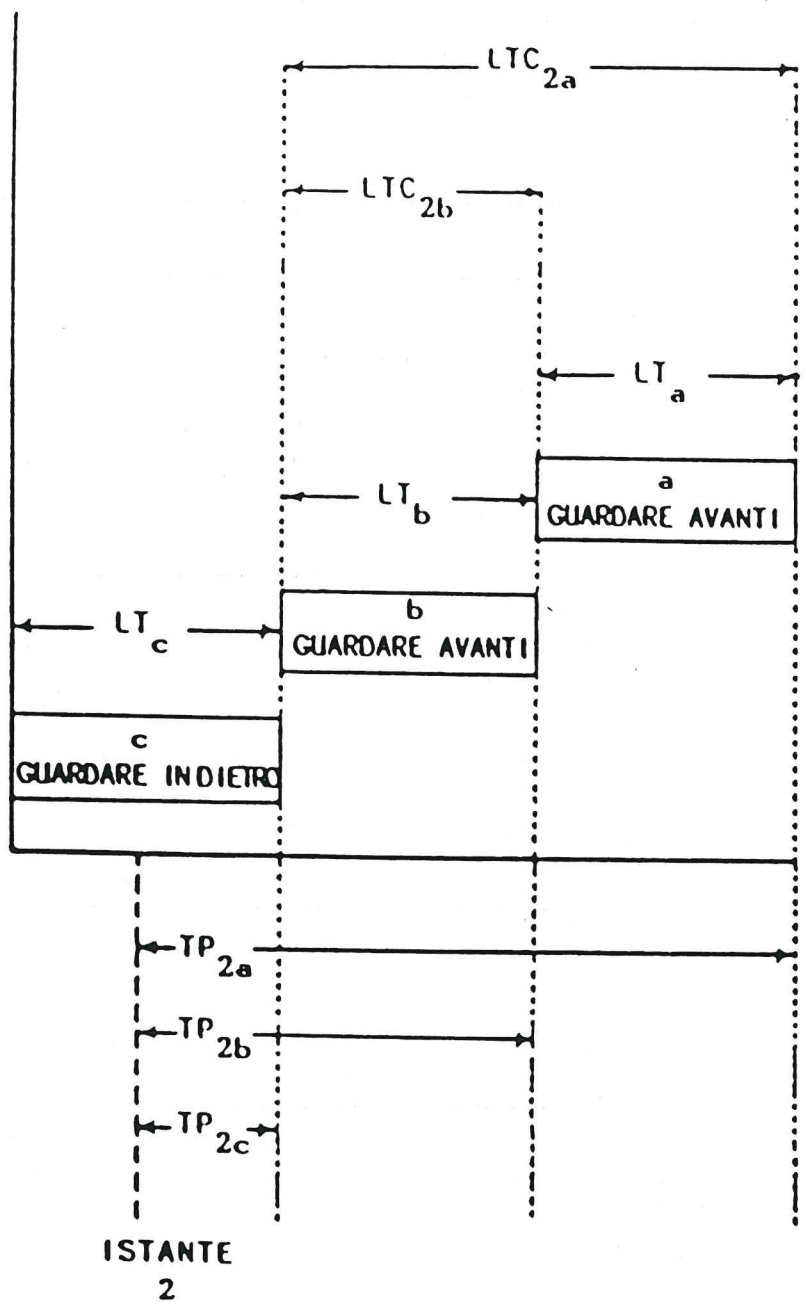


Fig. 4.6 - Relazione tra i tempi in gioco con il codice c gestito con la logica guardare indietro

Classificazione delle tecniche di gestione delle scorte.

L'alternativa tra logica del guardare indietro e logica del guardare avanti è di frequente superata, nella prassi aziendale, ricorrendo all'utilizzo di tecniche che possiamo definire miste. Il riferimento è alla pianificazione del fabbisogno dei materiali (logica del guardare avanti) con l'impiego di strumenti quali la scorta di sicurezza, il dimensionamento del lotto e il lead time di sicurezza, tipici della logica del guardare indietro.

In figura 4.7. sono riportate le categorie di incertezza tipiche dei sistemi MRP. La scorta di sicurezza è lo strumento che viene utilizzato per fronteggiare le incertezze sulle quantità mentre il lead time di sicurezza è lo strumento utilizzato per assicurarsi da incertezze sui tempi²⁰. Il dimensionamento del lotto interviene quando si rinuncia ad una politica di riordino lotto per lotto, che eviterebbe la presenza di scorte, per adottare criteri quali ad esempio il lotto economico, il lotto a periodicità calcolata, la copertura temporale fissa, ecc.²¹.

La scorta di sicurezza, il lead time di sicurezza, il dimensionamento del lotto sono variabili tipiche dei criteri del guardare indietro²². È pertanto corretto definire le tecniche MRP che fanno uso di tali variabili tecniche a logica mista guardare avanti-guardare indietro.

Non è infatti un caso che nella fase di introduzione delle tecniche MRP queste ultime fossero aggregate alla logica di tipo guardare indietro facendo prevalere il peso di concetti quali il lotto economico e la scorta di sicurezza²³. Successivamente attribuendo più enfasi alla metodologia di calcolo dei fabbisogni²⁴ l'MRP viene considerato nella sua logica più appropriata cioè del guardare avanti.

Riteniamo quindi opportuno stabilire la seguente distinzione:

²⁰ Il lead time di sicurezza non è un lead time inflazionato; deve essere solo anticipata la data di consegna. Cfr. T.E. VOLLMANN, et al., 1984, *op. cit.*, pg. 42 e pg. 418-419.

²¹ Cfr. J. ORLICHY, 1975, *op. cit.*, cap. 6; T.E. VOLLMANN, et al., 1984, *op. cit.*, cap. 12; F. DA VILLA, 1985, *op. cit.*, cap. 5.

²² Anche il lead time di sicurezza può essere considerato una variabile tipica del punto di riordino. Infatti applicando tale tecnica si perviene al calcolo della scorta di sicurezza stimando il valore di due distinti fattori che fronteggiano rispettivamente la variazione di consumo nell'unità di tempo e la variazione del lead time del fornitore che corrispondono nel 'material requirements planning' alla scorta di sicurezza ed al lead time di sicurezza. Cfr. D.K. CORKE, *Production control in engineering*, E. Arnold Ltd., 1977, cap. 16.

²³ Il primo Corke parla infatti di copertura libera definendola come giacenza + ordini in sospenso — fabbisogni calcolati. Cfr. D.K. CORKE, *Production control is management*, E. Arnold Ltd., 1969, pg. 92.

²⁴ Il secondo Corke sostituisce il paragrafo relativo alla copertura libera con l'MRP. Cfr. D.K. CORKE, *op. cit.*, 1977, pg. 86.

FONTI TIPI	DOMANDA	FORNITURA
TEMPI	Fabbisogni che slittano da un periodo ad un altro	Ordini non ricevuti quando dovuto
QUANTITA'	Fabbisogni per quantità maggiori o minori rispetto al pianificato	Ordini ricevuti per quantità maggiori o minori rispetto al pianificato

Fig. 4.7 - Categorie di incertezza nei sistemi MRP

Fonte: D.C. Whybark, et al., 1976, op.cit.

- tecnica MRP con logica guardare avanti, quando la scorta di sicurezza e il lead time di sicurezza sono nulli e le politiche di riordino sono lotto per lotto;
- tecnica MRP con logica di tipo misto guardare avanti-guardare indietro, quando si adotta una modalità di riordino diversa da quella lotto per lotto e/o scorta di sicurezza e/o lead time di sicurezza sono diversi da zero.

La riclassificazione delle tecniche di gestione delle scorte alla luce della distinzione sopra esposta è sintetizzata nella figura 4.8.

La classificazione di fig. 4.8. utilizza le categorie del guardare indietro e del guardare avanti.

Volendo utilizzare i concetti di 'push' e 'pull' nel sottosistema di gestione delle scorte la corrispondenza è la seguente:

- 'push' = 'look back' e cioè l'ordine del materiale viene lanciato in anticipo sui fabbisogni, e quindi è spinto; la logica in base alla quale si decide di lanciare l'ordine è quella appunto del guardare indietro e cioè ai consumi storici.
- 'pull' = 'look ahead' e cioè l'ordine del materiale viene lanciato perché si conosce il fabbisogno che tira lo stesso ordine; la logica in base alla quale si decide di lanciare l'ordine è quella del guardare avanti e cioè guardare ai fabbisogni calcolati.

Alla luce di tali corrispondenze²⁵:

- il punto di riordino ROP è una tecnica di gestione scorte 'push';
- la pianificazione dei fabbisogni di materiali MRP è una tecnica di gestione scorte 'pull'.

Non è infrequente trovare invece, definizioni diametralmente opposte a quella appena date²⁶; ciò nasce dalla mancata distinzione tra sottosistema di gestione scorte e sottosistema di controllo avanzamento inteso come assegnazione delle priorità di lavorazione, prelievo e movimentazione. Confondendo la tecnica di gestione scorte MRP con la tecnica di controllo avanzamenti Dispatching²⁷, storicamente usati insieme, ed essendo il Dispatching una tecnica 'push', si è erroneamente concluso che anche l'MRP è 'push', e che di contro il ROP è 'pull'.

²⁵ Cfr. W.E. GODDARD, R.B. BROOKS, 1984, *op. cit.*

²⁶ Cfr. ad esempio: H.J. BULLINGER, H.J. WARNECKE, H.P. LENTES, *Toward the factory of the future*, *Int. J. of Production Research*, n. 4, 1986, pg. 708. All'MRP viene attribuita una logica 'push'.

²⁷ Il Dispatching e la sua logica 'push' di funzionamento saranno descritti nel successivo paragrafo 4.4.

SOTTO-SISTEMA LOGICHE		GESTIONE SCORTE		
		TECNICHE	VARIABILI	ANDAMENTO GIACENZE
GUARDARE INDIETRO	PUNTO DI RIORDINO (ROP)	<ul style="list-style-type: none"> Scorta di sicurezza Lotto economico Livello di riordino 	<p>Quantità</p> <p>Tempo</p> <p>Livello di riordino</p> <p>Scorta di sicurezza</p> <p>Livello di riordino</p> <p>Livello di riordino</p> <p>Livello di riordino</p>	
		<ul style="list-style-type: none"> Scorta di sicurezza = 0 Lead time di sicurezza = 0 Lotto per lotto 	<p>Quantità</p> <p>Tempo</p> <p>Scorta di sicurezza</p> <p>Lead-time di sicurezza</p> <p>Scorta di sicurezza</p>	
GUARDARE AVANTI	PIANIFICAZIONE FABBISOGNO DEI MATERIALI (MRP)	<ul style="list-style-type: none"> Scorta di sicurezza Lead-time di sicurezza Dimensionamento del lotto 	<p>Quantità</p> <p>Tempo</p> <p>Scorta di sicurezza</p> <p>Lead-time di sicurezza</p> <p>Scorta di sicurezza</p>	
GUARDARE INDIETRO/AVANTI				

Fig. 4.8 - Classificazione delle tecniche di gestione scorte

4.4. Il controllo degli avanzamenti.

In questo paragrafo per controllo degli avanzamenti si intende il sottosistema di:

- assegnazione delle priorità di lavorazione agli ordini che insistono su uno stesso centro di lavoro;
- prelievo e movimentazione dei materiali.

Le tecniche mediante cui è possibile controllare gli avanzamenti in produzione sono tre:

- il Dispatching²⁸;
- il Kanban²⁹;
- il Synchro-MRP³⁰.

Per una descrizione dettagliata delle tre tecniche rimandiamo alla letteratura citata. Qui verranno messe in evidenza solo le caratteristiche importanti ai fini di una classificazione sulla base delle logiche 'push' e 'pull'.

Dispatching

Il risultato di una tecnica di gestione scorte sia essa ROP che MRP è l'emissione di ordini di produzione o di acquisto. Il lancio vero e proprio dell'ordine, ovvero l'apertura, avviene nei periodi indicati previa verifica da un lato della capacità produttiva, dall'altro della disponibilità del fornitore a rispettare tempi e quantità. Con riferimento specifico all'esecuzione delle singole operazioni previste di lavorazione, è necessario avvalersi di un sistema di assegnazione delle priorità per decidere quale ordine, tra quelli che insistono su uno stesso centro di lavoro, sia il più urgente.

Uno strumento tradizionale che supporta il lancio in lavorazione presso una stazione operativa, dove viene eseguita una delle lavorazioni che costituiscono il ciclo, è la lista delle priorità (Dispatch List). In essa l'urgenza di un ordine è data da una delle possibili regole di priorità³¹.

²⁸ Cfr. J. ORLICHY, 1985, *op. cit.*, cap. 7, pg. 151; T.E. VOLLMANN, et al., 1984, *op. cit.*, cap. 5.

²⁹ Cfr. S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, cap. 4; R.W. HALL, *Obiettivo scorte zero*, Isedi, 1983, cap. 3.; R.J. SCHOMBERGER, 1987, *op. cit.*, Appendice; R.W. HALL, *Un caso di trasferimento di metodi di produzione giapponesi*, Logistica d'Impresa, n. 41, 1986, Nota Tecnica, pg. 37.

³⁰ Cfr. R.W. HALL, *Un caso di sintesi tra MRP e Kanban*, Logistica d'Impresa, n. 42, 1986.

³¹ Tra esse una delle più utilizzate nella pratica è il rapporto critico cioè il rapporto tra il tempo residuo prima della consegna fissata ed il tempo residuo di lavorazione, ovvero data di consegna - data odierna/lead time rimanente (inclusi i tempi di attrezzaggio, di lavorazione, movimentazione e attesa).

Tale metodologia di assegnazione di priorità può essere definita 'push' dal momento che essa non considera la richiesta dei centri di valle, ma è basata sull'elaborazione di parametri tipo: data di consegna dell'ordine, tempo di lavorazione, numero di operazioni residue, durata delle operazioni, ecc.

La lista dei fabbisogni dei materiali (Material Requisition List) autorizza invece la movimentazione dal magazzino al primo centro di produzione. Da questo i pezzi, a lavorazione terminata, sono spinti alla stazione successiva entrando nella lista delle priorità ad essa relativa come operazione eseguibile. La movimentazione può essere definita di tipo 'push' ovvero a pressione³² (vedi fig. 4.9.).

La lista delle priorità per l'assegnazione delle stesse priorità, la lista dei fabbisogni dei materiali per il prelievo a magazzino e la movimentazione del materiale al centro successivo a lavorazione ultimata, sono state indicate complessivamente con il termine Dispatching.

Kanban

Una diversa modalità di assegnazione delle priorità, contrapposta a quella appena descritta, è rappresentata dal sistema di cartellini (kanban) di produzione.

In fig. 4.10. è sinteticamente rappresentato il meccanismo della procedura kanban.

Gli operatori del centro di valle, prelevando il materiale, svuotano il cassone e posizionano la scheda di movimentazione (associata al cassone) nell'apposito contenitore (operazione n. 1). Successivamente il personale addetto alla movimentazione associa la scheda di movimentazione al cassone vuoto (op. n. 2) e trasporta il cassone vuoto ai bordi del centro di monte.

Qui il cassone pieno viene sostituito con quello vuoto (op. n. 3). Viene quindi tolta la scheda di produzione dal cassone pieno e messa nel contenitore delle schede di lavorazione (op. n. 4). Il cassone pieno con associata la scheda di movimentazione (op. n. 5) viene condotto al centro di valle. La scheda di lavorazione viene introdotta nella rastrelliera del centro di monte (op. n. 6).

La funzione svolta dalla rastrelliera è quella di fornire al responsabi-

³² Tali tecniche di movimentazione possono anche definirsi 'a gravità'. Infatti una volta che l'ordine di produzione è stato lanciato, il materiale in corso di lavorazione procede fino a completamento delle operazioni previste in modo del tutto analogo ad un oggetto in caduta libera.

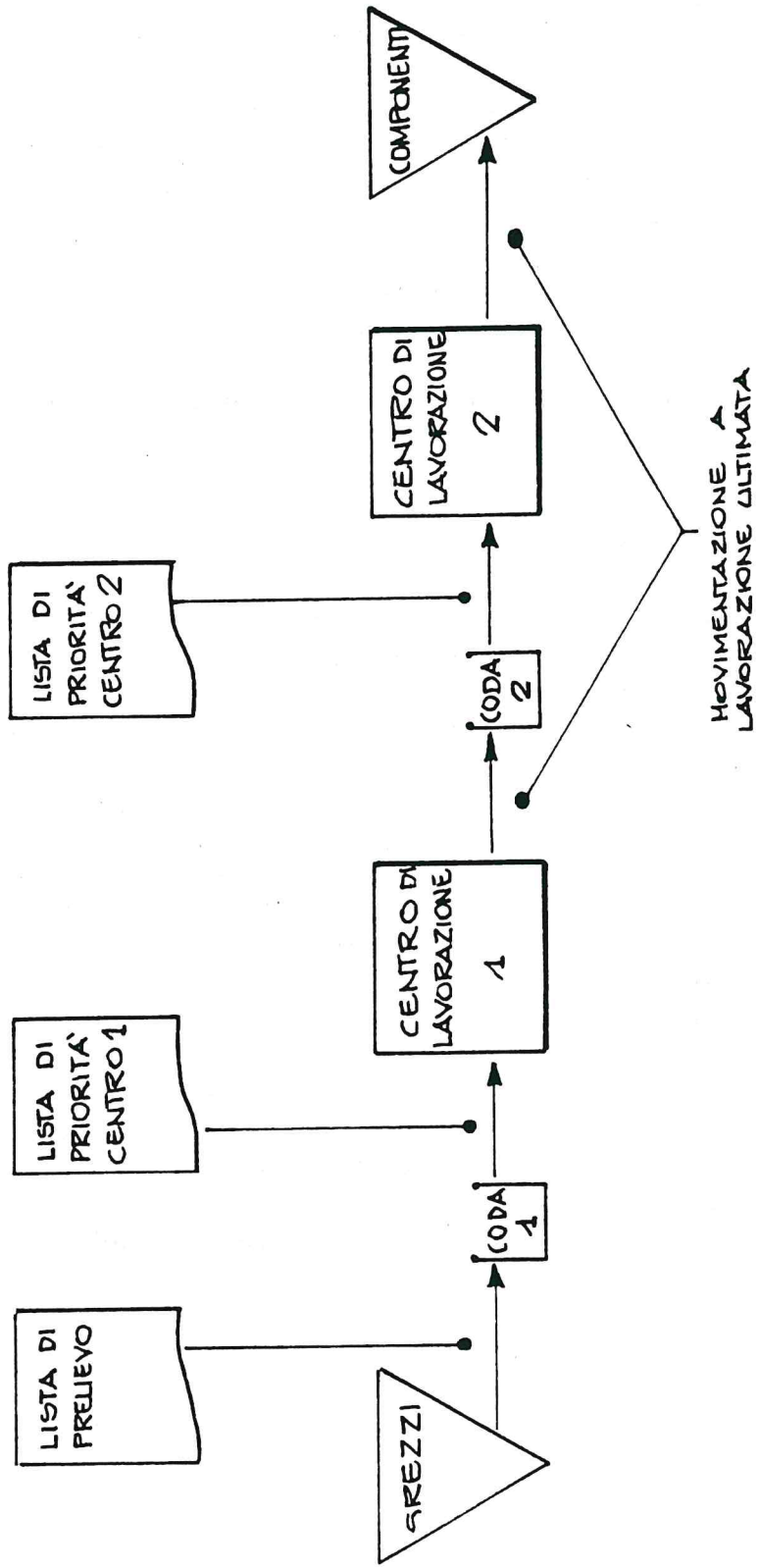


Fig. 4.9 - Schema di flusso nel Dispatching

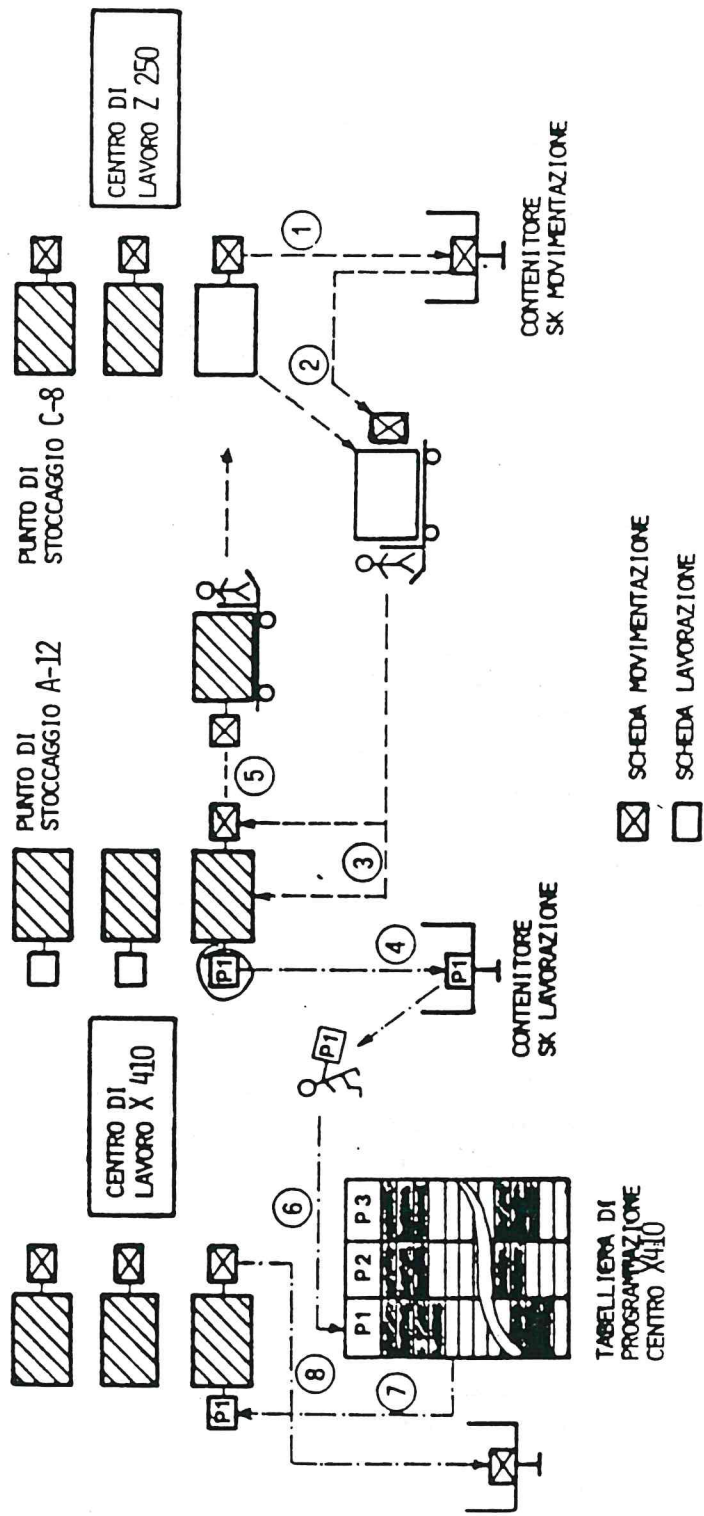


Fig. 4.10 - Schema di flusso nel Kanban
 Fonte: A. Brandolese, 1986, op.cit.

le del centro la visualizzazione delle priorità di produzione³³.

Una volta deciso dal responsabile del centro quale particolare produrre la scheda di lavorazione viene tolta dalla rastrelliera ed associata al cassone di materiale grezzo per autorizzarne la lavorazione (op. n. 7). Il posizionamento della scheda di movimentazione nell'apposito contenitore riapre un nuovo ciclo (op. n. 8).

La differenza concettuale tra rastrelliera e lista delle priorità è che nella prima l'assegnazione delle priorità è basata sugli stessi cartellini (kanban) di produzione, ovvero a differenza della seconda sugli effettivi fabbisogni dei centri di valle. In questo senso possiamo considerare tale sistema 'pull' ovvero a trazione. La stessa movimentazione, realizzata con i relativi cartellini (kanban), è in questo caso 'pull'. Sono infatti i responsabili dei centri produttivi che, prelevando il materiale, innescano la movimentazione dal centro di monte a quello di valle.

Synchro-MRP.

Un sistema misto che utilizza gli strumenti di assegnazione di priorità precedentemente visti, lista delle priorità e rastrelliera, è rappresentato dal sistema Synchro-MRP sviluppato presso la Yamaha Motor CO. (vedi fig. 4.11.). La funzione di assegnazione delle proprietà è svolta in primo luogo dalla rastrelliera ed in secondo luogo dalla lista delle priorità alla quale viene attribuita soprattutto una funzione di autorizzazione a produrre. L'effettiva produzione di un altro contenitore standard del particolare è quindi determinata dalla duplice condizione:

- la presenza di cartellini (kanban) di produzione, denominati synchro 2 relativi a quel particolare;
- la presenza di un ordine specifico di quel particolare nella lista delle priorità.

Per una corretta analisi di tale logica mista è opportuno distinguere tra periodo transitorio, in cui si realizza il cambiamento dei cartellini synchro 2, ed il periodo a regime, fino alla successiva emissione effettuata dal PYMAC³⁴.

³³ Il riferimento alla rastrelliera è tratto dalla applicazione del sistema Kanban alla FIAT-IVECO. Cfr. M. BONIFACINI, L. CASTELNOVI, «JIT-Kanban at IVECO: a case study», First World Congress of Production and Inventory Control, Vienna, May 27-29, 1985. La rastrelliera è divisa in zone colorate: verde, bianco e rosso dall'alto in basso. Quando i cartellini cominciano riempire la zona rossa significa che diventa sempre più urgente lanciare in produzione quei determinati particolari. L'applicazione della rastrelliera è del tutto simile concettualmente ai contrassegni posti sugli indicatori descritti da R.W. HALL, 1985, *op. cit.*, pg. 55.

³⁴ Il PYMAC è il sistema informatico che realizza il Synchro-MRP; è un acronimo che

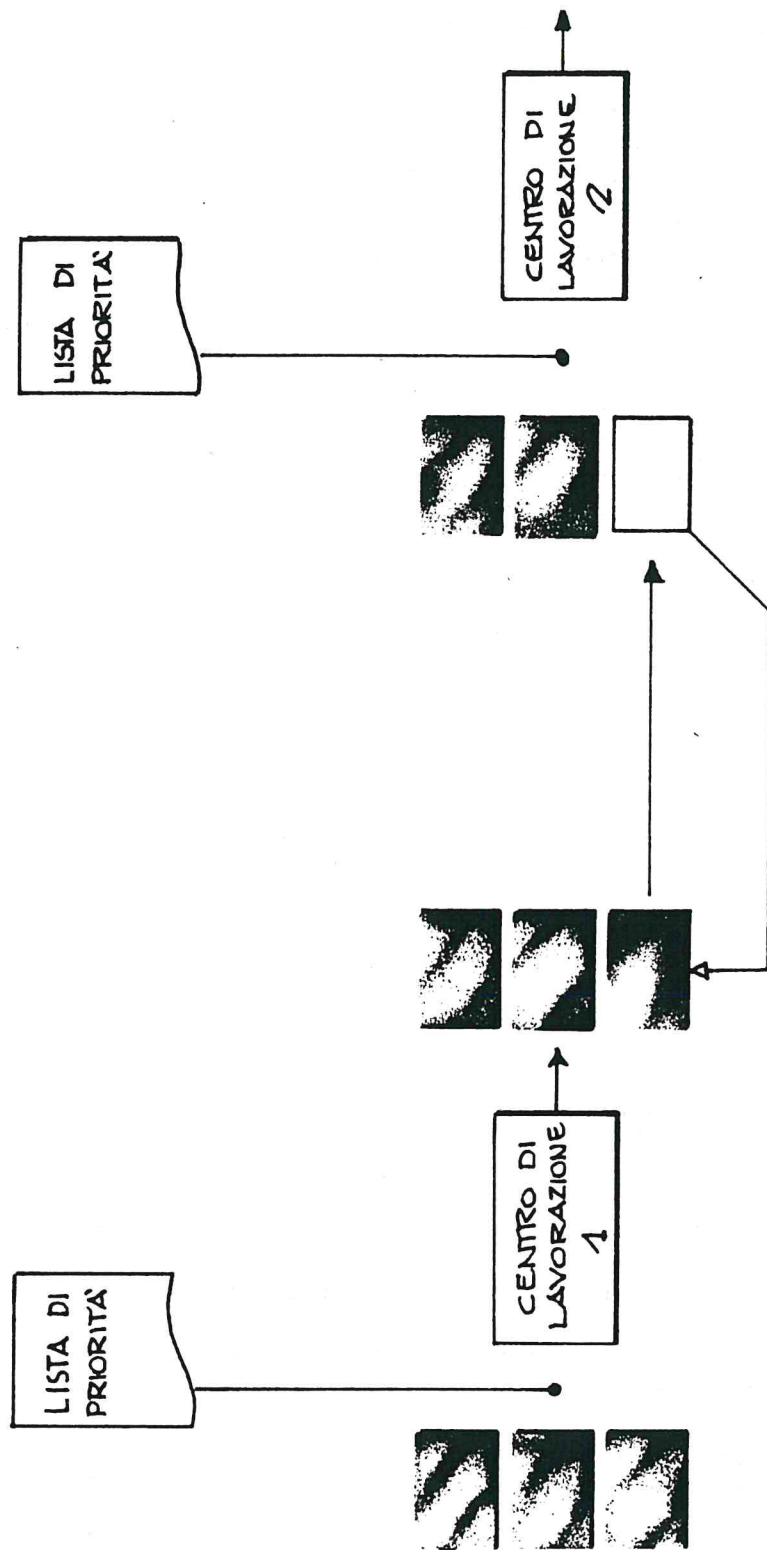


Fig. 4.11 - Schema di flusso nel Synchro-MRP

Fonte : elaborazione da R.W. Hall , Un caso di sintesi tra MRP e Kanban , 1986, op.cit.

Nel periodo a regime la logica è 'push-pull':

- 'pull' perché è basata sulla effettiva richiesta della valle rappresentata dai cartellini esistenti;
- 'push' perché si avvale della lista delle priorità.

Nel periodo transitorio la logica è solo 'push' perché sono avviate lavorazioni in anticipo rispetto al fabbisogno della valle.

Complessivamente è corretto quindi definire questa logica di assegnazione priorità mista 'push-pull'.

La movimentazione tra i centri, nel periodo a regime, analogamente a quanto avviene nei sistemi Kanban, è regolata dai cartellini di movimentazione synchro 1 ed è quindi basata su una logica 'pull'.

La movimentazione, durante il periodo transitorio, realizza invece una logica 'push' poiché i nuovi cartellini di movimentazione synchro 1 innescano una movimentazione di particolari in anticipo sul fabbisogno dei centri di valle.

In conclusione anche il sistema di movimentazione è basato su una logica mista 'push-pull'.

Le considerazioni appena esposte sono riportate sinteticamente in figura 4.12.³⁵

La figura 4.13. mette in relazione invece le logiche 'push' e 'pull' con le attività di assegnazione delle priorità di lavorazione e di prelievo e movimentazione nei tre diversi metodi sopra descritti:

- Dispatching;
- Kanban;
- Synchro-MRP nell'ordine.

significa Pan Yamaha Manufacturing Control. «La Yamaha esegue essenzialmente lo stesso programma di lavoro ogni giorno per 10 giorni consecutivi. In altre parole: ogni 10 giorni vi è l'arresto di un programma vecchio e l'avviamento di uno nuovo. Il sistema genera per ogni numero-parte cartellini di trasferimento e li invia ad ogni centro di lavorazione che consuma quella parte; il sistema produce inoltre cartellini di produzione e li invia ai centri di lavorazione che fabbricano quella parte». In pratica durante l'avviamento è il sistema centrale a guidare le operazioni. A regime tutto procede come nella procedura Kanban eccetto che per la presenza della lista delle priorità. Per ulteriori dettagli si veda R.W. HALL, *Logistica d'Impresa*, n. 42, 1986, *op. cit.*, pg. 146 e 147.

³⁵ Si noti (cfr. fig. 4.12.) come il sistema Synchro-MRP realizzi durante il periodo transitorio una logica 'push' e come a regime realizzi sostanzialmente una logica 'pull' (tipo Kanban) con il solo vincolo della autorizzazione a produrre (lista delle priorità).

SOTTOSISTEMI FUNZIONAMENTO	ASSEGNAZIONE PRIORITA' DI LAVORAZIONE	PRELIEVO E MOVIMENTAZIONE
TRANSITORIO	PUSH	PUSH
A REGIME	PUSH/PULL	PULL
COMPLESSIVO	PUSH/PULL	PUSH/PULL

Fig. 4.12 - Logiche di funzionamento nel sistema SYNCHRO-MRP

SOTTO-SISTEMI LOGICHE	ASSEGNAZIONE PRIORITA' DI LAVORAZIONE	PRELIEVO E MOVIMENTAZIONE
PUSH	DISPATCHING Lista di priorità (Dispatch List)	Lista di fabbisogno materiali (Material Requirement List) Movimentazione a lavorazione conclusa
PULL	KANBAN Rastrelliera con cartellini (Kanban) di produzione	Cartellini (Kanban) di movimentazione
PUSH/PULL	SYNCHRO-MRP Rastrelliera con cartellini Synchro 2 di produzione generati da Pymac Lista di priorità (Dispatch List)	Cartellini Synchro 1 di movimentazione generati da Pymac

Fig. 4.13 - Relazione tra logiche push-pull e sottosistemi di assegnazione delle priorità di lavorazione e di prelievo e movimentazione

4.5. Tecniche 'push' e tecniche 'pull'.

Siamo in grado, giunti a questo punto, di poter interpretare con una logica unitaria, 'push' e 'pull', i sottosistemi di gestione della produzione presentati nei precedenti paragrafi. Essi sono infatti classificati nello schema di figura 4.14.

L'utilizzo, all'interno di un sottosistema di gestione della produzione, di una tecnica ispirata ad una logica non implica necessariamente l'impiego di tecniche con logica analoga in altri sottosistemi. La scelta di una tecnica, all'interno di ciascun sottosistema, è infatti determinata, come verrà descritto nel paragrafo successivo, dalle condizioni di applicabilità.

Alla luce di tale sistematizzazione possiamo ricondurre la tecnica 'time-phased order point' da un lato ad una tecnica di pianificazione 'push', in quanto il piano principale di produzione è definito sulla base di previsioni, e dall'altro ad una tecnica di gestione scorte MRP con logica 'pull' o 'push-pull'.

Lo schema consente più in generale, partendo dalle particolari tecniche utilizzate, di individuare la logica dell'intero 'sistema gestione della produzione'.

4.6. Condizioni di applicabilità delle tecniche di gestione della produzione.

Con riferimento alle singole tecniche di figura 4.14. la domanda che è lecito porsi è la seguente: 'quali sono le condizioni per cui è opportuno adottare una tecnica di gestione in alternativa ad un'altra?'.

La risposta va ricercata in una serie di condizioni che ne orientano o ne vincolano l'utilizzo.

Partendo dal sottosistema di pianificazione della produzione, il vincolo è costituito dalla relazione esistente tra il lead time (LT) accettato dal cliente ed i lead times del sistema produttivo. Si possono distinguere tre casi:

- $LT_{\text{del cliente}} = 0$ (aziende che lavorano per il magazzino, 'make to stock'): piano principale di produzione e piano finale di assemblaggio sono realizzati su previsione.
- $LT_{\text{del cliente}} = LT_{\text{di fabbricazione e montaggio}}$ (aziende che lavorano su ordine, 'make to order'): piano principale di produzione e piano finale di assemblaggio sono realizzati su ordine.
- $LT_{\text{del cliente}} = LT_{\text{di Montaggio}}$ (aziende che montano su ordine, 'assembly to order'): il piano principale di produzione è realizzato su previsione, il piano finale di assemblaggio su ordine del cliente.

Tali concetti sono esposti nel grafico di figura 4.15.

SOTTO-SISTEMI LOGICHE	PIANIFICAZIONE	GESTIONE SCORTE	ASSEGNAZIONE PRIORITA' DI LAVORAZIONE	PRELIEVO E MOVIMENTAZIONE
PUSH	MPS e FAS su previsione	Punto di riordino (ROP)	DISPATCHING Lista di priorità	Lista di fabbisogno materiali Movimentazione a lavorazione conclusa
PULL	MPS e FAS su ordine	PIANIFICAZIONE FABBISOGNO DEI MATERIALI (MRP)	KANBAN	Cartellini (Kanban) di movimentazione
PUSH/PULL	MPS su previsione FAS su ordine	Scorte di sicurezza = 0 Lead-time di sicurezza = 0 Lotto per lotto Scorte di sicurezza ≠ 0 Lead-time di sicurezza ≠ 0 Dimensionamento del lotto	Rastrelliera con cartellini (Kanban) di produzione SYNCHRO-MRP	Cartellini di movimentazione Cartellini Synchro 1 Cartellini Synchro 2 Lista di priorità

Fig. 4.14 - Un'interpretazione unitaria delle tecniche di gestione della produzione

PIANIFICAZIONE DELLA PRODUZIONE

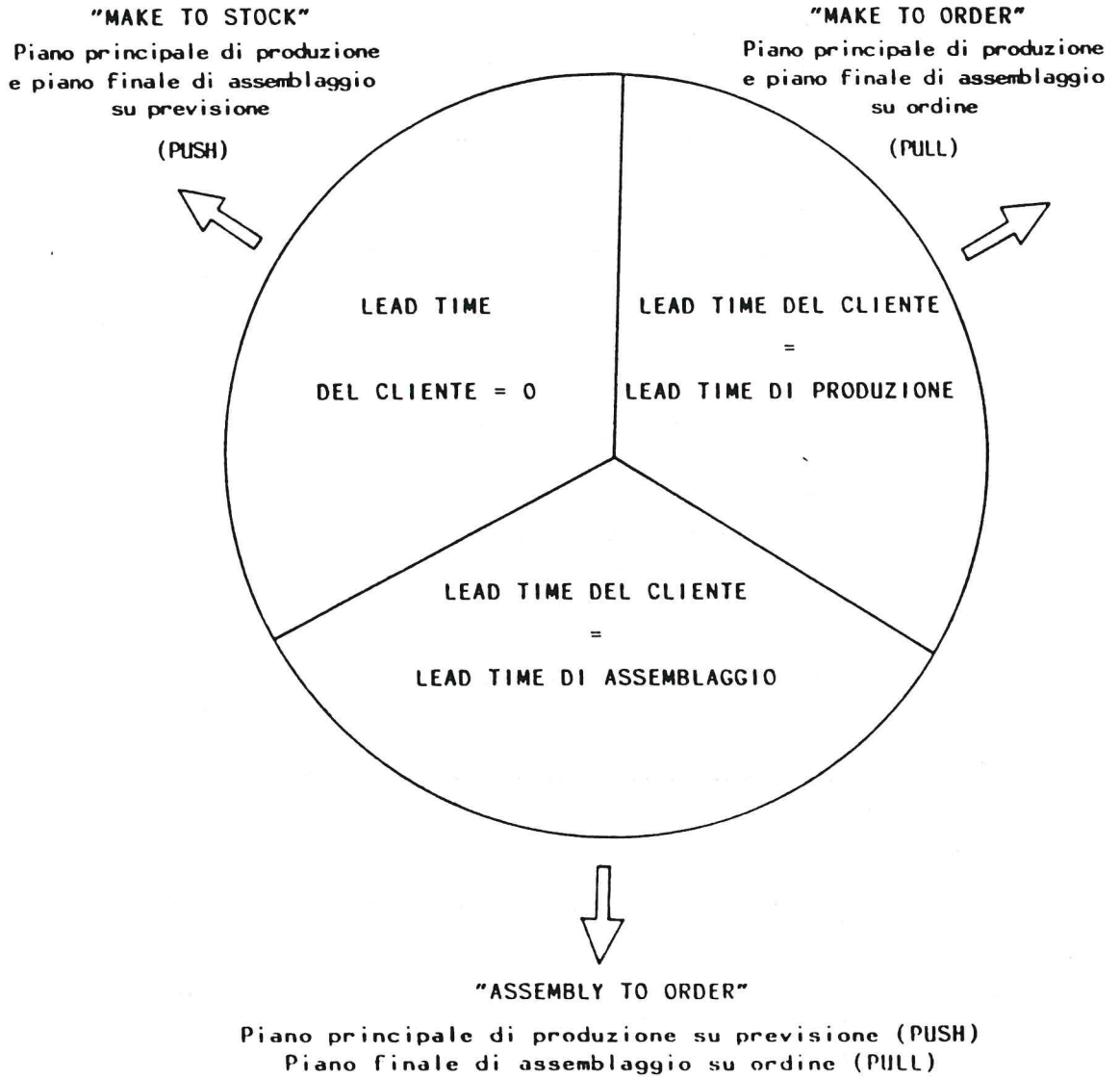


Fig. 4.15 - Condizioni di applicabilità delle tecniche di pianificazione della produzione

Per quanto riguarda il sottosistema di gestione scorte le variabili che intervengono nella scelta di una tecnica gestionale sono già state discusse nel paragrafo 4.3. Ipotizzando delle condizioni rappresentative limite nella combinazione dei valori delle variabili, possiamo dire che:

- nel caso di valore di impiego basso, lead time (LT) maggiore del tempo di programmazione (TP), alta frequenza di consumo e basso numero di livelli gestiti di distinta base, la tecnica di gestione delle scorte da utilizzare è quella del punto di riordino; nella fig. 4.4. tale condizione³⁶ è rappresentata dal cubo numero 7;
- nel caso di un valore di impiego alto, $LT \leq TP$, bassa frequenza di consumo e alto numero di livelli di distinta base gestiti, la tecnica di gestione indicata è la pianificazione dei fabbisogni dei materiali (con scorta di sicurezza e lead time di sicurezza nulli e politica di riordino di tipo lotto per lotto); nella fig. 4.4. tale condizione³⁷ è rappresentata dal cubo numero 1;
- nel caso di valore di impiego basso, $LT \leq TP$, media-bassa frequenza di consumo, medio numero di livelli di distinta base gestiti, la tecnica opportuna è la pianificazione dei fabbisogni dei materiali (con scorta di sicurezza e lead time di sicurezza diversi da zero e politiche di riordino diverse da quelle del lotto per lotto); nella fig. 4.4. tale condizione³⁸ è rappresentata dal cubo numero 2.

Le condizioni di applicabilità delle diverse tecniche di gestione scorte sono evidenziate nel grafico di figura 4.16.

Infine, affrontando il problema delle condizioni di impiego delle tecniche di assegnazione priorità di lavorazione, prelievo e movimentazione, la ripetitività delle operazioni è una variabile chiave³⁹:

- nel caso di produzione non ripetitiva si utilizza la tecnica Dispatching;
- nel caso di produzione ripetitiva si utilizza la tecnica Kanban;
- nel caso di produzione semiripetitiva si utilizza la tecnica Synchron-MRP.

Tali concetti sono riportati nel grafico di figura 4.17.

4.7. Il Just-in-Time e le tecniche di gestione della produzione.

Il Just-in-Time in una visione di breve termine significa letteralmente ottenere la parte giusta, al posto giusto, al tempo giusto e nella quantità strettamente necessaria. In realtà in una visione di medio-lungo termine

³⁶, ³⁷ e ³⁸ A meno del numero di livelli di distinta base gestiti.

³⁹ La variabile 'ripetitività' sarà discussa più ampiamente nel paragrafo 4.9.

GESTIONE SCORTE

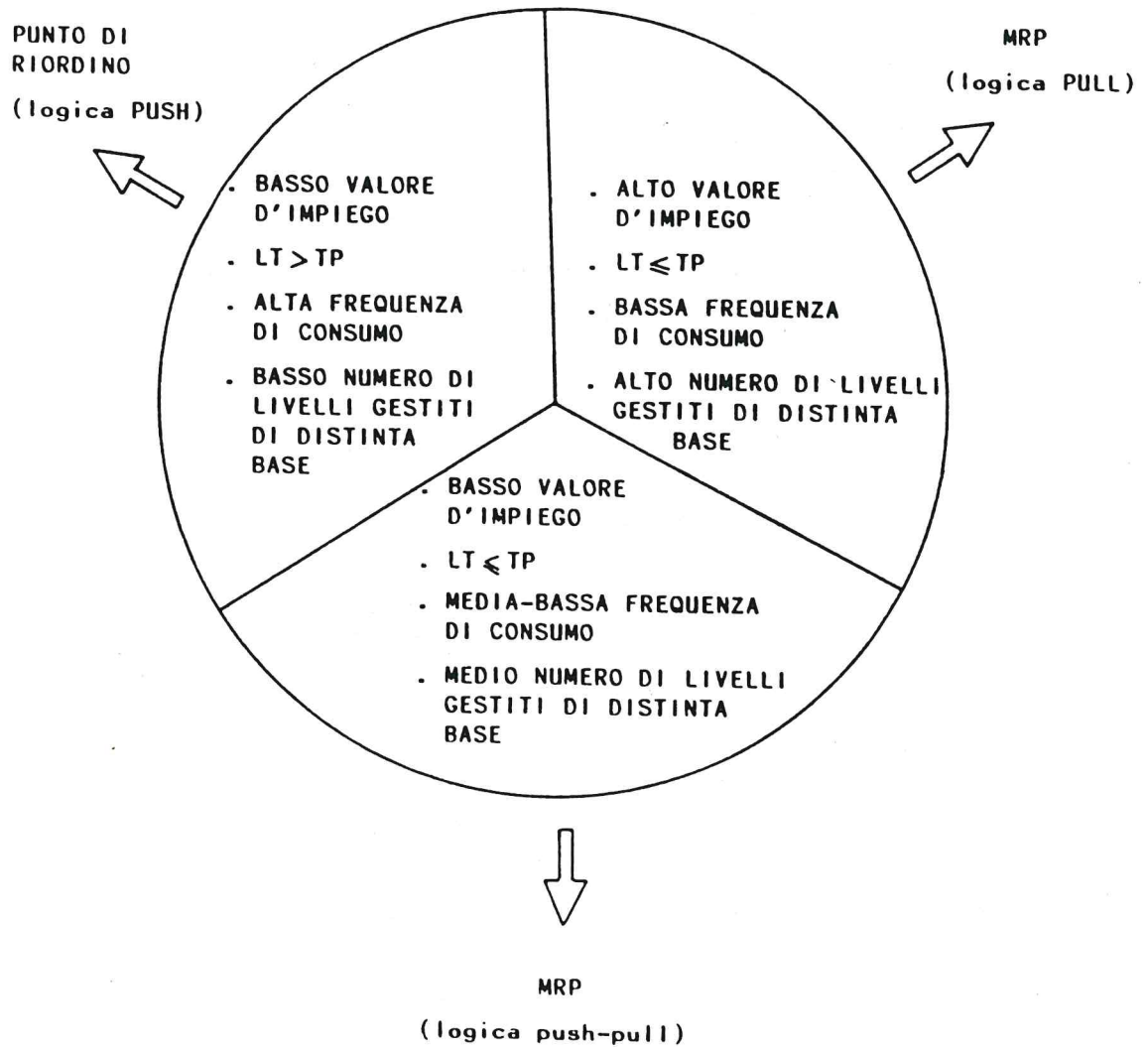


Fig. 4.16 - Condizioni di applicabilità delle tecniche di gestione scorte

ASSEGNAZIONE PRIORITA' DI LAVORAZIONE,
PRELIEVO E MOVIMENTAZIONE

DISPATCHING
(PUSH)



PRODUZIONE
NON RIPETITIVA

PRODUZIONE
RIPETITIVA

KANBAN
(PULL)



PRODUZIONE
SEMIRIPETITIVA



SYNCHRO-MRP
(PUSH-PULL)

Fig. 4.17 - Condizioni di applicabilità delle tecniche di assegnazione priorità di lavorazione, prelievo e movimentazione

il significato di JIT è più ampio: è una filosofia di miglioramento⁴⁰ volta a realizzare prodotti di qualità superiore, con tempi di consegna più brevi, e costi unitari minori.

Il termine JIT è stato coniato in Giappone e corrisponde a quelli americani di «Zero Inventories» e «Stockless Production»⁴¹. Per realizzare tali filosofie è necessario un approccio globale:

- superamento di limiti tecnologici come la riduzione dei tempi di attrezzaggio per attribuire flessibilità agli impianti produttivi;
- sistemi di controllo visivi;
- sistemi che impediscono la produzione di pezzi difettosi;
- circoli di qualità;
- sistemi di manutenzione preventiva;
- sistemi di gestione della produzione finalizzati alla riduzione delle scorte;
- integrazione con i fornitori.

Per quanto concerne il solo sistema «gestione della produzione», le tecniche che consentono di realizzare per ciascun sottosistema di figura 4.14. una produzione che garantisca:

- un elevato livello di servizio;
 - il minore livello possibile di scorte;
 - il minore livello possibile di semilavorati,
- sono quelle basate sulla logica 'pull'.

Esse infatti consentono:

- per il sottosistema di pianificazione della produzione di produrre su ordine garantendo il massimo livello di servizio al cliente;
- per il sottosistema di gestione delle scorte di operare senza scorte di materie prime, componenti e prodotti finiti;
- per il sottosistema di assegnazione delle priorità, prelievo e movimentazione dei materiali di operare in base ai fabbisogni di valle riducendo al minimo il materiale in corso di lavorazione (Work-in-process - WIP).

Una tecnica MRP con logica 'pull' pura fa sì che i materiali appena entrino nel magazzino ne escano. In tal modo i magazzini gestiti, svolgono solo funzioni di transito. In una filosofia di miglioramenti JIT, il passo successivo è quello di rinunciare al magazzino dei componenti, il che implica di considerare tutti i livelli intermedi della distinta base come codi-

⁴⁰ Cfr. L.B. CROSBY, *Just-in-time e controllo della qualità e della quantità*, Logistica d'Impresa, n. 38, 1985.

⁴¹ Cfr. W.E. GODDARD, R.B. BROOKS, 1984, *op. cit.* Un chiarimento sulle sigle si trova anche in A. DE TONI, M. CAPUTO, A. VINELLI, *Alcune tecniche per realizzare il Just-in-Time*, Logistica d'Impresa, n. 54, 1987.

ci fantasma⁴² e di delegare il controllo dell'avanzamento al solo sottosistema di assegnazione delle priorità, prelievo e movimentazione⁴³.

Nell'ottica della filosofia di miglioramento JIT ne consegue quindi che il matrimonio tra MRP (gestione scorte con logica 'pull') e Kanban (assegnazione priorità, prelievo e movimentazione con logica 'pull') non solo è possibile, ma è addirittura auspicabile⁴⁴.

4.8. Coesistenza di tecniche 'push' e tecniche 'pull'.

Nei paragrafi precedenti abbiamo individuato le logiche di funzionamento e le condizioni di applicabilità delle tecniche di gestione di alcuni sottosistemi inerenti alla programmazione e controllo della produzione.

Abbiamo anche sottolineato come possano coesistere all'interno del 'sistema gestione della produzione' tecniche con logica diversa. Sono infatti le condizioni di applicabilità e non le logiche intrinseche a ciascuna tecnica a guidare, date le caratteristiche del contesto produttivo, la scelta delle tecniche più appropriate.

Il sistema di produzione della Toyota famoso per l'applicazione della procedura Kanban rappresenta un esempio di coesistenza di tecniche con logica diversa.

Alla Toyota il piano di produzione è sviluppato in tre fasi⁴⁵:

- un piano generale di produzione che determina in funzione delle previsioni di vendita un numero approssimato di unità da produrre nell'arco dell'anno (milioni di automobili);
- un programma intermedio di produzione che definisce rispetto al mese di produzione:
 - modelli e quantità con due mesi di anticipo;
 - tipi e caratteristiche di dettaglio con un mese di anticipo;

⁴² Cfr. B. BELT, *MRP and Kanban: friends or enemies*, First World Congress Production and Inventory Control, Vienna, Austria, May 27-29, 1985.

⁴³ L'avanzamento in generale viene controllato a livello di magazzini di grezzi, componenti e prodotti finiti delle tecniche di gestione scorte (MRP), mentre a livello di semilavorati dalle tecniche di assegnazione delle priorità, prelievo e movimentazione.

⁴⁴ E. HEARD, *JIT and MRP: can this marriage be saved?*, Proceedings, APICS International Conference (Falls Church), 1984; M.E. COOK, K. MUNCH, *The marriage of MRP and JIT - Is it possible?*, Readings in Zero Inventory, APICS, 1984; W.A. SANDRAS, *Linking MRP and JIT: the best of occident and the orient*, Readings in Zero Inventory, APICS, 1984; J.N. EDWARDS, J.W. ANDERSON, *Integrating JIT with MRP - an update*, Readings in Zero Inventory, APICS, 1984.

⁴⁵ Cfr. S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 175-178, pg. 188-189, e Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 69.

— un programma dettagliato di montaggio che indica per il mese di produzione la quantità per modello e per giorno da assemblare sulle linee.

In fig. 4.18. sono esemplificate le modalità con cui vengono definiti i piani di produzione alla Toyota.

Ad inizio Gennaio su previsione delle vendite sono definite le quantità di automobili da produrre per ogni modello nel mese di Marzo. Tali dati vengono comunicati allo stabilimento e ai fornitori.

Ad inizio Febbraio sono decisi su previsione delle vendite i tipi di automobili ed altri dettagli produttivi che vengono comunicati allo stabilimento e ai fornitori.

Nella seconda metà di Febbraio viene definito sempre su previsione delle vendite⁴⁶ il piano di assemblaggio di ciascuna linea. Il piano viene reso noto solo all'inizio della linea di montaggio ed a nessun altro reparto⁴⁷.

Se sono introdotte modifiche rispetto al piano, esse sono notificate solo alla testa della linea d'assembleaggio finale. La procedura del kanban regola automaticamente la produzione dei processi produttivi di monte, richiedendo la produzione dei componenti necessari ad attuare il piano modificato con semplicità ed accuratezza.

Ai reparti a monte del montaggio (lavorazione meccanica, fonderia, fucina e stampaggio) viene comunque data un'informazione di massima sul piano mensile di assembleaggio.

In base alla quantità che si prevede di produrre il responsabile di ciascun reparto può organizzare la forza lavoro per il mese in programma⁴⁸.

Il piano di assembleaggio definisce la sequenza giornaliera con cui i veicoli avanzano sulla linea di montaggio nell'arco del mese. Il mese viene considerato suddiviso in decenni⁴⁹.

Tale suddivisione è funzionale al fatto che gli ordini dei concessionari arrivano tre volte al mese e in anticipo di circa sette⁵⁰ giorni rispetto alla decade a cui si riferiscono.

In base agli ordini decadali viene rivista la sequenza giornaliera prevista.

Alla Toyota vengono gestiti anche gli ordini che i concessionari fanno

⁴⁶ Cfr. Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 75.

⁴⁷ Cfr. S. SHINGO, *op. cit.*, pg. 177 e 179, e Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 69.

⁴⁸ Cfr. Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 72.

⁴⁹ S. SHINGO definisce la suddivisione del piano in periodi (decade, settimana o giorno) un 'sistema di produzione suddiviso'. Cfr. S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 231.

⁵⁰ Cfr. Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 74. Per semplicità in fig. 4.18. tale anticipo è stato posto pari a cinque giorni.

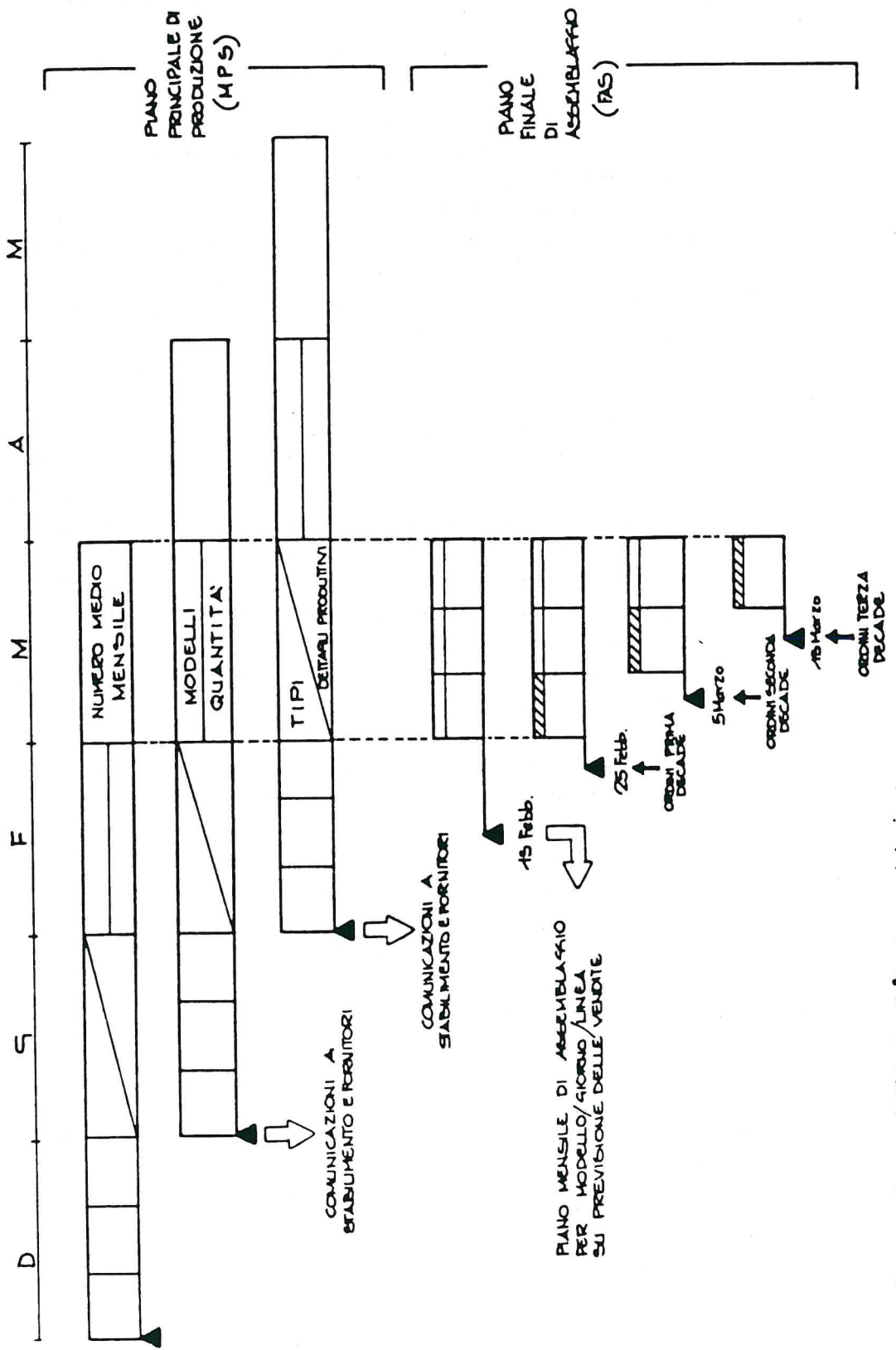


Fig. 4.18 - Modalità di definizione dei piani di produzione alla Toyota.

pervenire giornalmente. Tali ordini definiti 'daily alteration', cioè variante giornaliera, sono inviati dai concessionari in funzione delle effettive richieste del cliente (optionals). Gli ordini giornalieri sono ricevuti quattro giorni prima dell'uscita del veicolo dalla linea e vengono utilizzati per rettificare gli ordini decadali e per rivedere la produzione sulla base di tali ordini rettificati⁵¹.

In ultima analisi la metodologia utilizzata dalla Toyota trasforma, all'avvicinarsi del periodo di produzione, il piano di produzione previsto in un piano di produzione su ordine⁵². I vantaggi sono evidenti: evasione delle richieste del cliente e riduzione a zero delle scorte di prodotti finiti.

Riferendosi allo schema di fig. 4.14. che correla tecniche di gestione e logiche di funzionamento, possiamo dedurre che all'interno del sistema di gestione della produzione della Toyota coesistono tecniche con logica diversa:

- la pianificazione è svolta in parte su previsione e in parte su ordine e cioè con tecniche a logica mista 'push-pull';
- la gestione delle scorte è svolta con tecniche e a logica 'pull'; le comunicazioni effettuate ad inizio Gennaio e Febbraio allo stabilimento e ai fornitori per la produzione di Marzo corrispondono ad una esplosione dei fabbisogni, tipica della procedura MRP che, come abbiamo visto, è una tecnica con logica 'pull' o 'push-pull'⁵³;
- il controllo dell'avanzamento, cioè l'assegnazione delle priorità di lavorazione, il prelievo e la movimentazione, è realizzato con il Kanban cioè con una tecnica 'pull'.

Interessanti in conclusione ci sembrano le osservazioni di Monden⁵⁴, quando, confrontando le tecniche di gestione utilizzate alla Toyota con le tecniche tradizionali, l'autore individua nella rigidità del piano di produzione la diversità principale. A differenza del classico sistema MPS/MRP/Dispatching, nel sistema di produzione Toyota che potremo definire MPS/Calcolo dei fabbisogni/Kanban^{54a}, il piano di produzione non vincola in modo stretto la produzione, ma rappresenta solo uno schema flessibile sul quale organizzare a livello di stabilimento sia il personale che l'approvvigionamento dei materiali.

⁵¹ Per ulteriori dettagli si veda Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 75-77.

⁵² Cfr. S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 177.

⁵³ In una realtà JIT quale è quella della Toyota più che di una tecnica di gestione scorte con logica 'pull' pura è corretto parlare di una tecnica di calcolo dei fabbisogni. Infatti l'eliminazione dei magazzini intermedi riduce di fatto la gestione scorte al controllo dei soli magazzini dei prodotti finiti e delle materie prime e componenti di acquisto. Il controllo dell'avanzamento è in pratica realizzato solo dalla procedura Kanban (cfr. paragrafo 4.7.).

⁵⁴ Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 78.

^{54a} Cfr. anche T.E. VOLLMANN, et al., 1984, *op. cit.*, pg. 712.

4.9. Quali tecniche di gestione per gli FMS?

Nell'introduzione del capitolo ci siamo posti l'obiettivo di individuare le relazioni tra le tecniche di gestione della produzione e le modalità di controllo dei sistemi flessibili di produzione.

Più precisamente l'obiettivo è quello di individuare le tecniche di gestione della produzione entro cui possono operare i sistemi di controllo degli FMS⁵⁵.

Per quanto riguarda i sottosistemi di pianificazione e gestione scorte non si presenta alcun problema: l'adozione di un sistema flessibile di produzione non comporta alcun vincolo nell'utilizzo di tecniche con logica 'push' o 'pull'.

I problemi si pongono invece in relazione al sottosistema assegnazione delle priorità di lavorazione, prelievo e movimentazione.

Le tecniche di tale sottosistema sono infatti strettamente connesse con l'effettivo lancio in produzione.

L'applicazione di una qualsiasi tecnica di pianificazione e gestione scorte, associata ad una delle tre tecniche di assegnazione delle priorità, prelievo e movimentazione, determina un diverso processo decisionale nella fase di lancio in lavorazione; tale diversità può essere sintetizzata nei tre motti:

- Dispatching ('push'): pianifica il lavoro e lavora il pianificato;
- Kanban ('pull'): pianifica il lavoro, ma lavora solo ciò che è consumato;
- Synchro-MRP ('push-pull'): pianifica il lavoro, ma lavora solo ciò che è consumato e pianificato.

Nel paragrafo 4.6. abbiamo individuato nelle ripetitività delle operazioni la condizione generale di applicabilità di una tecnica rispetto ad un'altra.

Per quanto riguarda la procedura Kanban un'analisi più approfondita rivela che in realtà per l'applicazione di tale tecnica sono necessari una serie di prerequisiti che cercheremo brevemente di descrivere⁵⁶.

⁵⁵ L'importanza di definire le procedure di gestione e i limiti entro cui operano i sistemi di controllo computerizzati degli FMS è sottolineata da S.C. AGGARWAL, S. AGGARWAL, *The management of manufacturing operations: an appraisal of recent developments*, Int. J. of Operations and Production Management, n. 3, 1985, pg. 34.

⁵⁶ Shingo afferma che il Kanban è uno strumento applicativo che se utilizzato da solo non comporta alcuna razionalizzazione. Preliminare all'applicazione del Kanban è infatti l'adozione del 'sistema di fabbricazione' Toyota. Cfr. S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 344. I prerequisiti ed i fattori richiesti per l'applicazione di un sistema di produzione JIT sono discussi in S.M. LEE, M. EBRAHIMPOUR: *Just-in-Time production system: some requirements for implementation*, Int. J. of Operations and Production Management, n. 4, 1984.

Ripetitività delle operazioni

L'utilizzo del Kanban presuppone come già detto un tipo di produzione ripetitiva⁵⁷; il flusso dei particolari deve essere più o meno regolare, nel senso che le variazioni possono essere gestite, ma entro certi limiti.

Le fluttuazioni della domanda sono gestite entro un limite di circa il 10%⁵⁸.

Tale prerequisito è ovvio se consideriamo che la tecnica Kanban, all'interno del sottosistema assegnazione priorità di lavorazione, prelievo e movimentazione, può anche essere considerata come una tecnica di riapprovvigionamento a punto di riordino dei semilavorati intermedi⁵⁹, per la cui applicabilità valgono le medesime condizioni della tecnica di gestione scorte ROP.

Una delle condizioni dell'applicabilità di tale tecnica è stata indicata nel paragrafo 4.6. nell'alta frequenza del consumo. Una tale condizione si verifica appunto solo in presenza di consumi continui cioè in un contesto di produzione ripetitiva⁶⁰.

Quando la ripetitività della produzione non è realizzabile a causa di un elevato numero di modelli e varianti, il Kanban non può essere utilizzato. La produzione di vari modelli e la conseguente richiesta di componenti specifici è discontinua e il Kanban porterebbe all'accumulo di scorte eccessive⁶¹.

Considerare il Kanban come una tecnica di riapprovvigionamento dei semilavorati intermedi è perfettamente consono alla filosofia JIT la cui applicazione, come detto nel paragrafo 4.7., implica di considerare come codici fantasma tutti i codici intermedi. I codici non sono appunto gestiti nel senso classico del termine (tecniche di gestione scorte MRP o ROP), ma sono lasciate al governo del Kanban.

⁵⁷ Cfr. S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 307 e 345.

⁵⁸ Cfr. Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 33.

⁵⁹ Abbiamo volutamente usato il termine tecnica di riapprovvigionamento di semilavorati e non tecnica di gestione scorte per evitare confusioni: il Kanban è una tecnica di assegnazione delle priorità, prelievo e movimentazione e non una tecnica di gestione scorte (le scorte sono qui intese come materie prime, componenti e prodotti finiti). Il Kanban, all'interno del sottosistema assegnazione delle priorità, prelievo e movimentazione, può essere considerato una tecnica di riapprovvigionamento di semilavorati intesi come materiali che lungo il flusso produttivo si trasformano da codici di materia prima a codici di componenti o prodotti finiti. Il Kanban governa il prelievo dei materiali di monte, il lancio in lavorazione e la movimentazione di valle.

⁶⁰ Cfr. G. BALBIANO, *Verso una nuova produttività*, Etas Libri, 1985, pg. 121.

⁶¹ Se la produzione avviene a periodi alterni, come nel caso della Yamaka (produzione semiripetitiva) la tecnica utilizzabile di assegnazione priorità di lavorazione, prelievo e movimentazione è il Synchro-MRP. Cfr. G. BALBIANO, 1985, *op. cit.*, pg. 122-123.

La differenza fondamentale tra tecniche di gestione scorte ROP e Kanban inteso (all'interno del sottosistema di assegnazione delle priorità, prelievo e movimentazione) come una tecnica di approvvigionamento dei semilavorati intermedi, è nel diverso contesto in cui le tecniche vengono utilizzate⁶²:

- ROP: lotti economici e tempi lunghi di approvvigionamento;
- Kanban: piccoli lotti e brevi lead times di produzione.

In tale ottica si spiega perché abbiamo individuato come condizione di applicabilità del ROP un basso numero di livelli gestiti di distinta base e come viceversa il Kanban possa governare l'approvvigionamento (inteso come prelievo, produzione e movimentazione) di semilavorati lungo l'intero flusso produttivo delle materie prime fino ai prodotti finiti.

Se l'applicazione del Kanban richiede una produzione ripetitiva, a sua volta una produzione ripetitiva richiede una configurazione per linee di produzione ovvero a flusso⁶³.

Il grande sforzo compiuto presso la Toyota è stato appunto quello di estendere la produzione a flusso continuo, tipica dei processi di assemblaggio, anche alle lavorazioni di monte come lo stampaggio, le lavorazioni dei componenti, ecc.⁶⁴.

Riduzione dei tempi di attrezzaggio

Un secondo prerequisito per l'applicazione del Kanban è la riduzione dei tempi di attrezzaggio.

Se i tempi di attrezzaggio sono vicini a zero è possibile mettere tempestivamente in produzione la parte richiesta per far fronte alle variazioni della domanda⁶⁵. Si realizza così l'approccio JIT che vuole la produzione di un componente solo quando se ne manifesta l'esigenza.

Alla Toyota il tempo di attrezzaggio presso il reparto di stampaggio si è ridotto dalle 2-3 ore del '54, ai 15 minuti del '64, fino a 3 primi nel 1970⁶⁶.

La riduzione dei tempi di attrezzaggio consente inoltre di lavorare piccoli lotti di produzione, il che si traduce in lead times più brevi. In ultima analisi è possibile passare da produzioni su previsione di vendita a produzioni su ordine⁶⁷.

⁶² Cfr. G. BALBIANO, 1985, *op. cit.*, pg. 120-121.

⁶³ Cfr. S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 196, e G. BALBIANO, 1985, *op. cit.*, pg. 124.

⁶⁴ Cfr. Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 83-84, e S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 323, 337, 350.

⁶⁵ Cfr. S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 212.

⁶⁶ Cfr. Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 9.

⁶⁷ Cfr. S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 245 e Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 81-83.

Come afferma Shingo: «per raggiungere l'obiettivo della produzione su commessa e con zero scorte è necessario eseguire una produzione a piccoli lotti, per cui è indispensabile ridurre drasticamente il tempo di sostituzione degli stampi e degli utensili⁶⁸».

Prevenzione dei difetti

Una delle regole di funzionamento del Kanban è che i pezzi difettosi non devono essere mai fatti avanzare verso le fasi di valle. Se ciò avviene il responsabile del centro di valle deve fermare la sua produzione perché non ha altre unità di riserva e deve mandare indietro alla fase di monte i pezzi difettosi ricevuti⁶⁹.

Per impedire in modo sistematico che i pezzi difettosi arrivino ai centri di valle, alla Toyota ci si è posti l'ambizioso obiettivo di realizzare una produzione senza difetti.

La sigla ZD (Zero Defects) è comunemente usata per indicare le azioni intraprese in tal senso.

I principi applicati sono:

- controllo di qualità sul 100% della produzione e non campionaria⁷⁰;
- rilevazione automatica dei difetti (Jidoka⁷¹);
- sistemi sicuri 'a prova di stupido' ('pokayoke o 'foolproof') volti a eliminare difetti dovuti a distrazione degli operatori⁷²;
- controlli visivi atti a segnalare anomalie lungo le linee: Andon⁷³, luce di segnalazione, pannelli con indicatori digitali, ecc.⁷⁴.

⁶⁸ S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 204.

⁶⁹ Cfr. Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 31 e S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 312. Shingo afferma che un tale evento disturba profondamente il flusso produttivo (cfr. pg. 95).

⁷⁰ Cfr. S. SHINGO, *op. cit.*, pg. 95.

⁷¹ Il jidoka consiste nella fermata automatica della macchina non solo quando si rileva un difetto, ma in generale quando si rileva una varianza (ad esempio quando si finiscono le quantità desiderate di pezzi). Cfr. M. MORI, 1982, *op. cit.*, pg. 195-196 e Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 171-173.

⁷² «Un sistema sicuro consiste in uno strumento di rilevazione, in un attrezzo limitativo e in un dispositivo di segnalazione. Il dispositivo di rilevamento avverte anomalie o deviazioni che si verificano nel processo o nel pezzo lavorato, l'attrezzo limitativo ferma la linea e il dispositivo di segnalazione fa suonare un cicalino o accende una lampadina per attrarre l'attenzione dell'operaio». Cfr. Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 176.

⁷³ L'Andon è un pannello con segnali luminosi che viene appeso al soffitto del capannone dell'impianto produttivo, osservando il quale ogni persona che vi lavora può rendersi conto dello «stato» della linea. Cfr. M. MORI, *Il Kanban della Toyota: un programma per aumentare la produttività*, Logistica d'Impresa n. 3, 1982.

⁷⁴ Cfr. Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 179-184.

Surplus di capacità produttiva

Un ultimo prerequisito per poter applicare il Kanban è la disponibilità di un surplus di capacità produttiva. Se gli *n* centri di valle richiedono contemporaneamente dei particolari ad un centro di monte, quest'ultimo per evadere le richieste in tempi ragionevoli deve possedere un surplus di capacità produttiva.

Alla Toyota esiste un'esuberanza di macchinari⁷⁵: il numero è da due a tre volte più alto rispetto ad altre aziende simili⁷⁶. La Toyota non considera necessaria la saturazione degli impianti, anzi basa la propria capacità di adattarsi alle variazioni della domanda proprio sul surplus di capacità⁷⁷.

Secondo Shingo saturare le macchine non è necessario: «le macchine, una volta comprate, devono essere ammortizzate indipendentemente dall'uso. Per cui anche se una macchina è costosa può essere conveniente tenerla ferma..... Il vero obiettivo è la riduzione dei costi e non necessariamente il miglioramento del rapporto di utilizzazione⁷⁸».

Allargando il discorso anche alla saturazione della manodopera le considerazioni sono analoghe: «Invece che produrre scorte non necessarie è meglio che gli operai stiano inoperosi⁷⁹». E ancora: «È meglio che gli operai in eccesso siano messi in vacanza piuttosto che produrre prodotti non richiesti⁸⁰».

Il surplus di capacità produttiva è stata volutamente lasciata per ultimo nel descrivere i prerequisiti applicativi della procedura Kanban.

L'aver individuato la necessità di un surplus di capacità produttiva è infatti fondamentale per rispondere al quesito: quali tecniche di gestione per gli FMS all'interno del sottosistema assegnazione priorità di lavorazione, prelievo e movimentazione?

Il Kanban ed in generale le tecniche con logica 'pull' (e cioè anche il Synchro-MRP) richiedono che gli impianti siano flessibili al volume di produzione. Richiedono cioè che i costi unitari varino poco al variare del volume produttivo.

Nel paragrafo 2.2.5., dedicato alle flessibilità degli FMS, abbiamo d'altra parte già osservato come la flessibilità al volume sia uno dei punti deboli di sistemi flessibili di produzione.

⁷⁵ Cfr. Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 71.

⁷⁶ Cfr. S. SHINGO, *op. cit.*, pg. 147.

⁷⁷ Cfr. S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 172, 214-215.

⁷⁸ S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 149-150.

⁷⁹ S. SHINGO, 1985, *op. cit.*, pg. 216.

⁸⁰ Y. MONDEN, 1986, *op. cit.*, pg. 71.

Gli elevati investimenti richiesti per gli FMS comportano che per gli addetti alla gestione di tali impianti l'obiettivo primario da raggiungere è la loro saturazione⁸¹.

Gli FMS sono dunque incompatibili con tecniche a logica 'pull' come Kanban e Synchro-MRP?

La risposta è:

- sì, se non si vuole rinunciare alla saturazione dell'impianto;
- no, se l'azienda ritiene di poter accettare una insaturazione più o meno alta, ma sistematica del sistema flessibile di produzione.

L'utilizzo contemporaneo di:

- sistemi flessibili di produzione,
- tecniche di assegnazione priorità di lavorazione, prelievo e movimentazione con logica 'pull',

senza rinunciare alla saturazione degli impianti, potrebbe essere possibile, in linea teorica, nel caso in cui i centri a valle dell'FMS garantiscano un carico medio di lavoro pari alla capacità produttiva dell'impianto. I cartellini di produzione (Kanban o Synchro 2) in tal caso assolverebbero alla funzione di orientare il mix produttivo.

Nell'azienda dove è stato sviluppato il case-study sulla programmazione della produzione di un FMS, la tecnica utilizzata all'interno del sottosistema assegnazione priorità di lavorazione, prelievo e movimentazione è il Dispatching, cioè una tecnica con logica 'push'.

Anche in tale azienda l'obiettivo primario da raggiungere nella gestione dell'FMS è la saturazione dell'impianto.

⁸¹ Cfr. S.C. SARIN, *Techniques for flexible manufacturing systems design and scheduling*, Execution and Control Systems, Auerbach, 1985, pg. 2.

CAPITOLO 5

LA PROGRAMMAZIONE DELLA PRODUZIONE NEI SISTEMI FLESSIBILI DI PRODUZIONE

5.1. Caratteristiche dei sistemi flessibili di produzione e complessità della programmazione.

La complessità della programmazione in un sistema flessibile di produzione è funzione delle caratteristiche del sistema stesso. Nello sviluppo di tale argomento è quindi opportuno distinguere tra sistemi flessibili non in linea e transfer flessibili.

Sistemi flessibili non in linea

Nel paragrafo 2.2.4. sugli elementi strutturali di un FMS, abbiamo visto come il tipo di stazioni di lavoro (macchine specializzate o centri di lavoro) determinino in larga misura le caratteristiche del sistema flessibile.

In fig. 5.1. sono riportate le diverse caratteristiche degli FMS non in linea con presenza prevalente di macchine specializzate o centri di lavoro già discusse nel paragrafo succitato.

<i>Caratteristiche degli FMS</i>	<i>FMS con macchine specializzate</i>	<i>FMS con centri di lavoro</i>
— produttività	alta (tempi ciclo minori)	bassa (tempi ciclo maggiori)
— trasferimento dei pezzi	grande	piccolo
— gestione dei modi degradati	difficile (macchine complementari)	facile (macchine interscamb.)
— flessibilità	scarsa	elevata
— saturazione tramite programmazione	difficile (macchine colli di bottiglia)	facile/difficile (eventuali vincoli di attrezzature ed utensili)

Fig. 5.1. — Caratteristiche degli FMS non in linea in funzione del tipo di stazioni di lavoro.

La caratteristica che desideriamo qui approfondire è la complessità della programmazione negli FMS. Come abbiamo già detto nel paragrafo 4.9. l'obiettivo primario da realizzare nella gestione di un FMS è la saturazione della capacità produttiva. In fig. 5.1. abbiamo individuato il livello di complessità della programmazione negli FMS non in linea con macchine specializzate o centri di lavoro quando l'obiettivo da raggiungere è appunto la saturazione della capacità produttiva del sistema.

La complessità della programmazione è legata anche ad un altro elemento strutturale descritto nel paragrafo 2.2.4.: il sistema di movimentazione dei pezzi.

Nella misura in cui quest'ultimo rappresenta un vincolo, crescono le difficoltà della programmazione nel garantire la saturazione delle macchine.

In genere nei sistemi flessibili non in linea il sistema di trasporto dei pezzi viene sovradimensionato proprio per evitare l'instaurazione delle stazioni di lavoro dovuta ad una mancata disponibilità dello stesso sistema di trasporto¹.

In pratica i problemi legati alla saturazione della capacità produttiva negli FMS non in linea sono strettamente connessi con le caratteristiche delle stazioni di lavoro.

In un FMS dove sono presenti delle macchine specializzate i vincoli per la programmazione della produzione sono le macchine stesse, le quali rappresentano dei colli di bottiglia che possono impedire la completa saturazione delle altre stazioni.

In un FMS dove le stazioni produttive sono dei centri di lavoro, i vincoli per la programmazione possono nascere dalla disponibilità delle attrezzature e degli utensili. Se il loro numero è troppo limitato può risultare inevitabile l'instaurazione del sistema.

Una limitata disponibilità di attrezzature ed utensili riduce infatti la flessibilità del sistema, intesa come possibilità di lavorare in un qualsiasi istante un qualsiasi mix di particolari in lotti di numerosità qualsiasi (nel rispetto del vincolo della saturazione della capacità produttiva)².

Il caso limite è rappresentato dal dover produrre un solo particolare in un lotto di numerosità tale da impegnare tutta la capacità produttiva per molti giorni.

Supponiamo ad esempio che l'FMS sia costituito da 4 centri di lavoro e che il mix di particolari da lavorare sia composto da 20 particolari.

¹ Nel sottoparagrafo successivo vedremo invece come il sistema di trasporto costituisca un vincolo per le transfer flessibili.

² Un tale modo di concepire la flessibilità è per certi versi simile alla 'mix flexibility' di Gershwin (cfr. paragrafo 2.2.5.). Da questo momento in poi in tale paragrafo la flessibilità sarà intesa secondo la definizione sopra data.

Ognuno di essi necessita inoltre di una attrezzatura specifica per lo staggaggio sul pallet e 10 utensili specifici per la lavorazione.

Al sistema può essere conferito un livello di flessibilità (nel significato appena detto) compreso entro due limiti estremi che possono essere così definiti:

- flessibilità massima, quando quattro particolari di un qualsiasi tipo possono essere lavorati simultaneamente presso i quattro centri di lavoro;
- flessibilità minima, quando particolari di un qualsiasi tipo possono essere lavorati solamente uno alla volta presso un centro di lavoro.

Il numero di attrezzature ed utensili richiesto è molto diverso nei due casi. Il calcolo delle rispettive quantità nelle due condizioni limite di flessibilità è riportato nella sottostante fig. 5.2³.

	<i>Numero di attrezzature (att.) e utensili (ut.)</i>		<i>Numero di particolari</i>		<i>Numero di centri di lavoro</i>		<i>Totali</i>
Flessibilità massima	2 att.	×	20	×	4	=	160 att.
	10 ut.	×	20	×	4	=	800 ut.
Flessibilità minima	1 att.	×	20	×	1	=	20 att.
	10 ut.	×	20	×	1	=	200 ut.

Fig. 5.2. — Esempio del numero di attrezzature ed utensili richiesti in un FMS con centri di lavoro.

Come si può notare il numero di utensili nel caso di flessibilità massima è maggiore di un fattore 4 (il numero dei centri) rispetto a quanto richiesto nel caso di flessibilità minima.

Per quanto riguarda le attrezzature, la soluzione della flessibilità massima ne richiede un numero maggiore addirittura di un fattore 8 (due volte il numero dei centri) rispetto a quanto necessario nella soluzione di flessibilità minima.

Se un elevato numero di attrezzature ed utensili semplifica il compito della programmazione ed evita i costi di mancata saturazione del sistema, d'altra parte gli investimenti necessari per dotare l'impianto di un tale numero di attrezzature ed utensili diventano insostenibili⁴.

³ Il calcolo delle attrezzature nel caso di flessibilità massima richiede la presenza di almeno 2 attrezzature per ciascun particolare: una che supporta il particolare in lavorazione, ed un'altra utilizzata per il supporto del particolare in attesa di lavorazione o in fase di pallettizzazione/spallettizzazione presso le stazioni di carico/scarico.

⁴ Alla data attuale il costo di un utensile arriva fino a 2 milioni, mentre quello di una attrezzatura fino a 20 milioni.

In molti casi i costi complessivi di attrezzature ed utensili possono essere dello stesso ordine di grandezza dei costi di acquisto di altre stazioni di lavoro. Da un punto di vista economico, difficilmente il maggior utilizzo dell'impianto dovuto all'elevata flessibilità equivale all'aggiunta di altre macchine operatrici⁵.

In particolare il problema maggiore sembra essere rappresentato dalle attrezzature: Holz⁶ afferma che le attrezzature possono costare di più che tutto il resto dell'FMS, e Hundy⁷ sottolinea come in fase di progettazione sia necessario definire il livello di flessibilità richiesto per determinare numero e tipo di attrezzature al fine di ottenere la soluzione più economica.

Ritornando all'esempio precedente, richiedere ad un impianto flessibile di poter effettuare intere 'campagne' produttive di un solo tipo di particolare equivale a richiedere che un solo FMS possa svolgere le funzioni di 20 impianti dedicati. Significa richiedere in ultima analisi che il sistema flessibile di produzione sia flessibile a tal punto da riassumere in sé le potenzialità produttive di 20 impianti specifici: i costi vanno ovviamente alle stelle.

Quanto appena detto è tanto più valido quanto più alto è il numero di particolari del mix e tanto più alto è il numero di attrezzature ed utensili specifici. In tale ottica si comprende perché si cerchi di utilizzare attrezzature il più possibile modulari (che siano cioè utilizzabili da più particolari) e di ridurre al massimo la necessità di utensili specifici per la lavorazione di ciascun particolare.

La numerosità del mix rimane comunque la variabile chiave. In fig. 5.3. abbiamo riportato l'andamento qualitativo dei costi legati alla flessibilità in un FMS con centri di lavoro nei casi di un mix piccolo e di un mix grande.

Se il mix è piccolo (ad esempio 10 particolari) gli investimenti per garantire la flessibilità massima sono limitati; in tale condizione inoltre si annullano i costi per mancata saturazione.

Se il mix è grande (ad esempio 500 particolari) l'investimento in attrezzature ed utensili per consentire la flessibilità minima è elevato; comunque proprio per il fatto che il mix è grande è possibile ottenere la saturazione del sistema anche in condizioni di flessibilità minima.

Le conclusioni che si possono trarre sono quindi le seguenti:

⁵ Cfr. L. TORRI, *Sottosistema AFS - Un approccio strutturato alla fabbrica automatica*, Rassegna di Meccanica, n. 9, Settembre 1984, pg. 633.

⁶ B.F. HOLZ, *Economic evaluation of FMS - a new approach*, Proc. 3rd Int. Conference on FMS, Boebligen, 1984, pg. 24.

⁷ B.B. HUNDY, 1984, *op. cit.*, pg. 112.

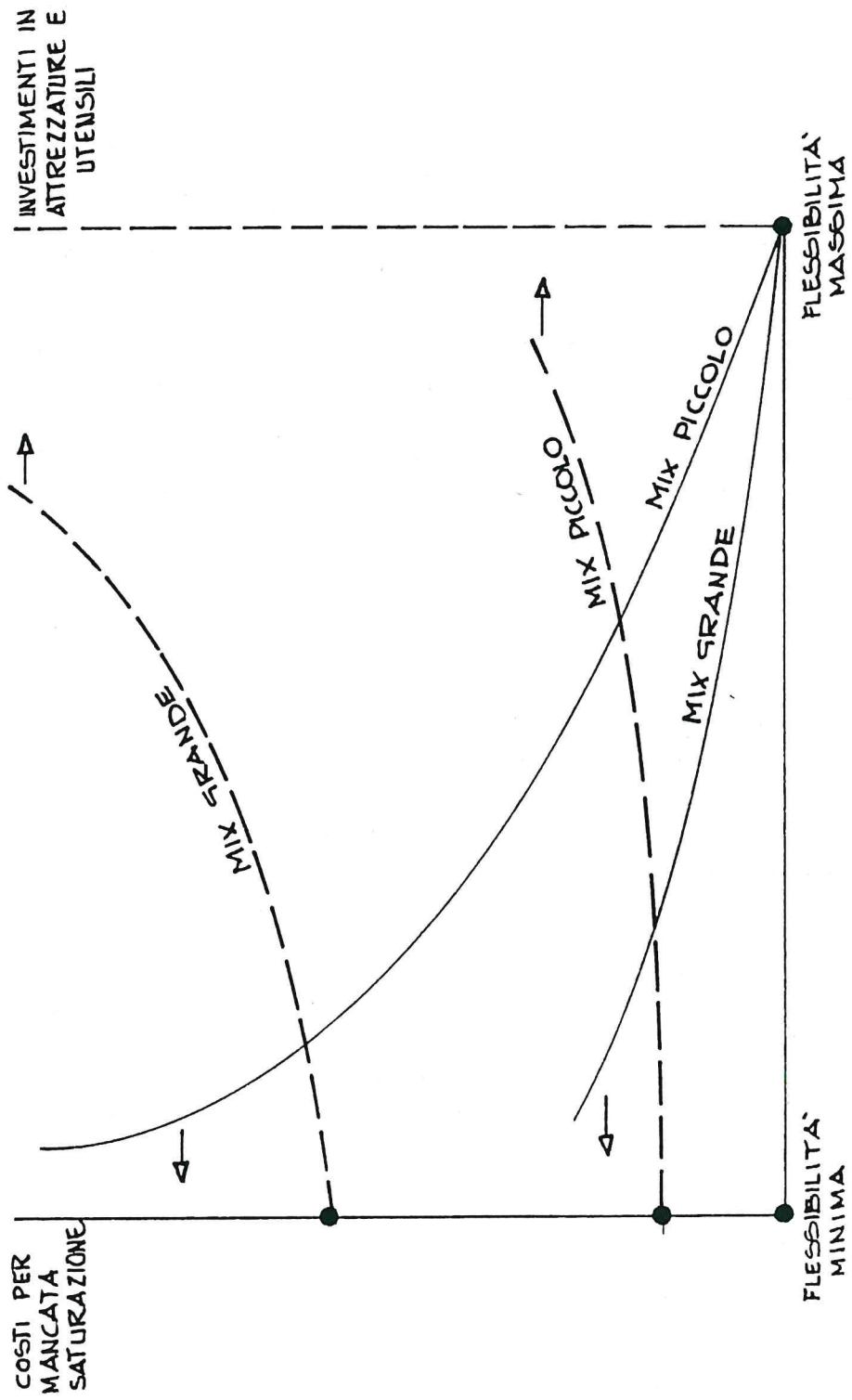


Fig. 5.3 - Costi legati alla flessibilità in un FMS con centri di lavoro -

- se il mix è piccolo è conveniente porsi nella condizione di flessibilità massima;
- se il mix è grande è conveniente porsi nella condizione di flessibilità minima.

Sono possibili ovviamente tutta una serie di scelte intermedie a seconda dei casi.

Se il mix è grande i vincoli di disponibilità di attrezzature ed utensili non sono comunque gli unici problemi che devono essere gestiti.

Un numero limitato di utensili impone in generale l'utilizzo di un sistema di movimentazione degli utensili che governa il loro trasporto tra il magazzino utensili centrale e i magazzini utensili a bordo macchina.

Il sistema di movimentazione degli utensili può costituire esso stesso un ulteriore vincolo per la gestione. Infatti poiché i tempi di movimentazione degli utensili non sono del tutto trascurabili, una elevata frequenza nel cambio dei particolari in lavorazione, con la richiesta di utensili sempre diversi, può comportare una insaturazione delle macchine.

La gestione dei sistemi flessibili di produzione che lavorano un ampio mix di particolari è quindi, in generale, complessa: la saturazione dell'impianto è possibile tramite la definizione di un opportuno mix che rispetti i vincoli di disponibilità delle attrezzature e degli utensili e gli eventuali vincoli derivanti del sistema di movimentazione degli utensili.

Transfer flessibili

Nelle transfer flessibili, dove in genere le stazioni di lavoro sono costituite in gran parte da macchine specializzate e in misura minore da centri di lavoro, la complessità della programmazione è legata soprattutto al vincolo della sequenza rigida di movimentazione dei pezzi che il sistema di trasporto impone^a.

La diversità dei cicli di produzione si esplica o in differenti lavorazioni presso gli eventuali centri di lavorazione presenti, o nel 'by-pass' di alcune macchine specializzate.

Il bilanciamento della linea è tanto più complesso tanto più:

- sono maggiori i vincoli del sistema di trasporto dei pezzi (la presenza di buffer o magazzini intraoperazionali presso le stazioni di lavoro può diminuire di molto la complessità della programmazione);
- sono presenti macchine specializzate con capacità produttive che rappresentano dei colli di bottiglia;
- è dinamico il mix di produzione.

^a Si veda anche il paragrafo 2.2.1. dove si descrivono le transfer flessibili.

In genere nelle transfer flessibili:

- il dimensionamento della capacità produttiva delle macchine specializzate che possono rivelarsi dei colli di bottiglia è effettuato in modo tale da evitare che tale situazione non si verifichi, o quantomeno non si verifichi in modo sistematico;
- il mix dei particolari lavorati è limitato e molte volte anche fisso (almeno per un periodo di tempo significativo ai fini della programmazione); vincoli di attrezzature ed utensili sono praticamente inesistenti a causa del mix limitato.

Da ciò consegue che il vincolo determinante per il bilanciamento della linea è rappresentato dalla sequenza rigida del sistema di trasporto dei pezzi.

La complessità della programmazione nelle transfer flessibili comunque non raggiunge mai i livelli di complessità tipici dei sistemi flessibili non in linea i cui vincoli, come abbiamo visto, sono di natura diversa.

Impianti flessibili e complessità della programmazione

Dopo quanto detto sulle transfer flessibili e sui sistemi flessibili non in linea, siamo in grado di individuare le relazioni esistenti tra tipi di impianti flessibili e complessità della programmazione. Esse sono riportate in fig. 5.4.

<i>Impianti flessibili</i>	<i>Complessità della programmazione</i>	<i>Natura prevalente dei vinc. di gestione</i>
1) <i>Transfer flessibili</i>	Media	Sistema di trasporto dei pezzi
2) <i>FMS non in linea con macchine specializzate</i>	Alta	Macchine colli di bottiglia
3) <i>FMS non in linea con centri di lavoro (mix piccolo)</i>	Bassa	/
4) <i>FMS non in linea con centri di lavoro (mix grande)</i>	Alta	– Numero di attrezzature ed utensili – Sistema di trasporto degli utensili

Fig. 5.4. – Tipi di impianti flessibili e complessità della programmazione.

La complessità della programmazione per le categorie di impianti 1 e 2 è già stata motivata precedentemente. Per quanto riguarda le categorie 3 e 4 la complessità della programmazione è legata ai costi della flessibilità rappresentati in fig. 5.3.

La categoria 3 è caratterizzata da una bassa complessità della programmazione perché il mix è piccolo. In tal caso è possibile con un investimento limitato, conferire all'impianto il livello di flessibilità massima, dotandolo del numero necessario di attrezzature ed utensili, e ridurre in tal modo la complessità della gestione per la saturazione dell'impianto.

Viceversa la categoria 4 è caratterizzata da una complessità alta della programmazione della produzione perché il mix è grande.

Dotare l'impianto della flessibilità massima è impensabile per l'altissimo costo di attrezzature ed utensili; la saturazione dell'impianto può essere comunque raggiunta giocando sulla composizione del mix dei particolari da lavorare simultaneamente presso i centri di lavoro.

Deve essere comunque gestita anche la frequenza con cui variano il tipo dei particolari in lavorazione. Infatti, come abbiamo già detto, i tempi di trasporto degli utensili non sono in generale trascurabili. Una frequenza troppo elevata di movimentazione degli utensili può impedire una piena saturazione delle stazioni di lavoro.

Il rispetto dei vincoli, rappresentati dalla limitata disponibilità di attrezzature ed utensili e dal sistema di trasporto degli utensili, configura una notevole complessità della programmazione e richiede pertanto sofisticati sistemi di gestione dell'impianto.

5.2. Natura prevalente dei vincoli di gestione di alcuni FMS in esercizio.

Riteniamo opportuno riportare alcune caratteristiche di vari sistemi flessibili di produzione, descritti in letteratura, operanti presso aziende o gruppi industriali.

Le caratteristiche riportate sono quelle importanti ai fini della programmazione. Per una descrizione dettagliata degli impianti rimandiamo alla letteratura citata. L'obiettivo che ci proponiamo di raggiungere è quello di ricondurre i problemi della programmazione della produzione di alcuni FMS in esercizio ad una delle categorie individuate dallo schema interpretativo di fig. 5.4.

Linea flessibile di produzione TR 95

La linea TR 95 è una transfer flessibile realizzata nel 1979 dalla CO-

MAU presso lo stabilimento dell'IVECO di Brescia⁹. La linea è preposta alla lavorazione di coperchi motori e scatole cambio per autocarri, trattori e macchine movimento terra.

I diversi lavorati sono 6¹⁰. La lavorazione dei particolari richiede mediamente due piazzamenti e la visita da 6 a 10 stazioni. La produttività media è di 220 pezzi in 15 ore. Le lavorazioni eseguite sono fresature, alesature, forature e maschiature.

Le 12 stazioni di lavoro sono tutte macchine specializzate:

- 1 stazione di fresatura;
- 4 stazioni di fresatura e maschiatura;
- 2 stazioni di maschiatura;
- 1 stazioni a teste multiple interscambiabili;
- 4 stazioni di alesatura.

Il sistema può essere configurato in due modi a seconda che lavori coperchi o scatole cambio¹¹.

La lavorazione è quindi per sessioni e la schedulazione, non molto complessa, è risolta mediante simulazione.

La linea TR 95 appartiene per le sue caratteristiche alla categoria 1 di fig. 5.4.

Sistema flessibile di lavorazione OLIVETTI OCN

È un sistema flessibile non in linea costituito da 10 stazioni di lavoro realizzato dalla Olivetti OCN per conto della Maserati Auto¹². L'impianto è entrato in funzione presso lo stabilimento di Modena alla fine del 1981. Vengono lavorati testa cilindri, basamento e castelletto del motore a 6 cilindri della vettura da turismo Maserati 2000 biturbo.

I piazzamenti complessivi sono 8: castelletto (2), testa cilindri (2), basamento inferiore (2), basamento superiore (1) e basamento inferiore + superiore (1). Le 10 stazioni di lavoro sono tutte dei centri di lavoro. La lavorazione di ciascun pezzo è completata sulla medesima macchina. I tempi medi di lavorazione per ciascun piazzamento sono di poco inferiori ai 40 minuti. Poiché il mix è estremamente limitato, il livello di flessibilità conferito al sistema è massimo: in ogni momento possono essere lavorati simultaneamente presso tutte le stazioni particolari dello stesso tipo.

⁹ La descrizione dettagliata dell'impianto si trova in COMAU, *op. cit.*, pg. 49-56.

¹⁰ È previsto l'inserimento di altri due tipi di pezzi.

¹¹ Cfr. COMAU, *op. cit.*, pg. 53.

¹² L'impianto è descritto in S. DI PADOVA, *Ricerca e sviluppo nel settore dell'automazione*, IMU, Aprile 1983.

I problemi per la programmazione dell'impianto sono estremamente limitati: è sufficiente garantire un carico di lavoro pari alla capacità produttiva del sistema.

Per le sue caratteristiche il sistema Olivetti OCN può essere associato alla categoria 3 di fig. 5.4.

Sistema flessibile di produzione MAX

Il sistema Max è un FMS non in linea realizzato dalla Makino Milling Machine Co. Ltd ed installato nello stabilimento di Astugi; nei pressi di Tokyo¹³. L'impianto in funzione dai primi mesi del 1984 è costituito da 10 centri di lavoro orizzontali di dimensioni tra loro diverse. Il mix dei pezzi lavorati è ampio e variabile (550 particolari prismatici).

L'entità media dei lotti di produzione è di circa 10 pezzi/mese ed il tempo medio di produzione è di circa 47 min./pezzo. La capacità produttiva media è di 270 pezzi/24 ore.

L'FMS è dotato di un sistema automatico per il cambio degli utensili delle macchine. Gli utensili sono trasportati dal magazzino utensili centrali (capace di circa 1200 utensili) ai magazzini utensili a bordo macchina (capaci di circa 70 utensili), tramite due carrelli a guida magnetica (AGV).

Poiché i tempi per eseguire tali operazioni non sono trascurabili, se i pezzi che devono essere lavorati presso le macchine variano molto, le stazioni rischiano di non essere saturate.

I problemi di schedulazione sono quindi molto complessi perché deve essere realizzata:

- la gestione di frequenti cambi degli utensili;
- la gestione di un grande numero di attrezzature;
- la gestione di situazioni particolari (ad esempio la lavorazione di un singolo pezzo urgente).

Il software, sviluppato dalla stessa Makino, è molto sofisticato soprattutto per quanto riguarda il modulo di gestione integrata degli utensili e il modulo di schedulazione dinamica.

Il sistema Max per le caratteristiche sopra descritte rientra nella categoria 4 di fig. 5.4.

¹³ L'impianto è descritto da M. GARETTI, *FMS: il sistema MAX*, Pixel, n. 5, 1984. Si veda anche C. SELLA, *Le strategie delle imprese giapponesi, Sviluppo e Organizzazione*, n. 90, 1985, pg. 12 e 13.

Sistema flessibile di produzione SCAMP

L'impianto flessibile di produzione SCAMP¹⁴ è un sistema flessibile non in linea per pezzi rotazionali realizzato nel 1983 dal gruppo industriale 600 Group presso una delle aziende affiliate: la Colchester Lathe Co. (UK).

I pezzi lavorati sono circa 50 (alberi, alberi scanalati, pulegge, ingranaggi, dischi, ecc.). I lotti variano da 25 a 150 unità. I tempi di lavorazione vanno da 20 a 40 minuti per pezzo.

Il sistema è composto da 6 stazioni con macchine specializzate e da 2 stazioni dove vengono svolte operazioni di tornitura, fresatura e foratura. La configurazione del sistema è la seguente:

- 2 stazioni di tornitura;
- 2 stazioni dove sono eseguite operazioni di tornitura, fresatura e foratura;
- 1 stazione di dentatura e smussatura (costituita da 2 macchine utensili);
- 1 stazione di rettificazione;
- 1 stazione di dentatura con fresa a vite;
- 1 stazione di brocciatura.

Le stazioni di lavoro sono tra loro collegate da un convogliatore centrale ad anello a rulli frizionati. I pezzi vengono semplicemente appoggiati sui pallet, rivestiti sul piano superiore da materiale antifrizione. Una volta che il pallet ha raggiunto il buffer della stazione, i pezzi vengono prelevati dal robot di servizio della stazione e caricati sulla macchina. Terminata l'operazione i pezzi o vengono passati alla seconda macchina della stazione o vengono depositati sul pallet vuoto in attesa nel buffer.

Il sistema flessibile opera per sessioni di lavoro caratterizzate da diverse disponibilità di utensili a bordo macchina, la cui sostituzione (manuale), è suggerita dal sistema di controllo dell'impianto.

Quest'ultimo è finalizzato alla gestione del sistema nel suo complesso e del sistema di trasporto dei pezzi in particolare.

L'obiettivo perseguito è quello di mantenere nei buffer, davanti ad ogni stazione, il maggior numero di pezzi in attesa per saturare il più possibile le macchine.

La schedulazione della produzione è basata su una generazione largamente interattiva del carico di lavoro sulle varie macchine.

Relativamente alle categorie di fig. 5.4., le caratteristiche del sistema SCAMP sono tali per cui esso rientra nella categoria 2 per quanto riguarda la saturazione delle macchine specializzate, e nella categoria 4 per

¹⁴ Il sistema flessibile SCAMP è descritto da M. GARETTI, *Il sistema SCAMP*, Pixel n. 3, 1983.

quanto riguarda la gestione degli utensili. Non mancano comunque problemi di gestione del sistema di trasporto dei pezzi tipici delle transfer flessibili (categoria 1).

La difficoltà di associare univocamente il sistema SCAMP ad una delle quattro categorie di fig. 5.4. nasce dal fatto che, in generale, nella gestione di un FMS sono presenti, in misura maggiore o minore, tutti i vincoli citati: sistema di trasporto dei pezzi, macchine specializzate, disponibilità di attrezzature ed utensili, sistema di trasporto degli utensili. Nell'individuare i vincoli di gestione degli FMS è pertanto corretto parlare di natura 'prevalente' dei vincoli.

Le categorie di fig. 5.4. non devono essere quindi considerate come il risultato di una rigida classificazione, bensì come il tentativo di fornire una chiave di lettura dei problemi di gestione degli FMS.

Nel case-study che sarà sviluppato successivamente, l'FMS è un sistema flessibile non in linea con centri di lavoro che produce un mix di circa 50 particolari. Possiamo sin d'ora anticipare che la natura dei vincoli è la limitata disponibilità delle attrezzature. Pertanto i problemi di gestione affrontati rientrano in generale in quelli della categoria 4 di fig. 5.4.

5.3. Approcci per la soluzione dei problemi di gestione degli FMS.

I vincoli che rendono complessa la gestione di un FMS sono stati individuati nei due paragrafi precedenti:

- il sistema di trasporto dei pezzi, che rappresenta un problema tanto più grande quanto più è rigida la sequenza di movimentazione e quanto più è basso il numero di buffer o magazzini intraoperazionali che svolgono funzioni di disaccoppiamento tra le stazioni di lavoro;
 - le macchine specializzate, le quali a fronte di un mix variabile comportano grossi problemi di sovraccarico o di sottocarico;
 - la limitata disponibilità di attrezzature ed utensili presso i centri di lavoro, che impedisce la lavorazione simultanea di particolari dello stesso tipo;
 - il sistema di trasporto degli utensili, che rischia di causare l'instaurazione delle stazioni qualora il numero degli utensili sia limitato e particolari diversi si alternino con frequenza elevata nelle lavorazioni¹⁵.
- A rendere ancora più complessa la gestione degli FMS vi sono:
- l'opportunità di poter lavorare molti particolari secondo cicli alternativi;

¹⁵ Cfr. il caso del sistema flessibile MAX MAKINO presentato nel paragrafo 5.2.

— la necessità di gestire in tempo reale eventuali rotture delle macchine cioè di gestire i modi degradati¹⁶.

I problemi di programmazione della produzione negli FMS vengono risolti suddividendo i problemi in sottoproblemi e affrontandoli in fasi successive.

In letteratura sono reperibili diverse proposte di scomposizione in fasi o livelli dei problemi di programmazione della produzione negli FMS.

In questo paragrafo vogliamo riportare alcuni tra i più importanti modelli che prevedono una soluzione articolata dei problemi di gestione degli FMS. Essi verranno individuati con il nome degli stessi autori che li hanno proposti¹⁷.

Stecke e Solberg

Questi due autori¹⁸ suddividono i problemi di pianificazione della produzione negli FMS in 5 sottoproblemi che possono essere risolti sequenzialmente o iterativamente:

- 1) Selezione del tipo di particolari: quali particolari devono essere simultaneamente prodotti dal sistema.
- 2) Raggruppamento delle macchine: ripartire le macchine in gruppi in modo tale che ciascuna macchina nel gruppo possa realizzare le medesime operazioni. Ciò può essere raggiunto in pratica dotando dei medesimi utensili ciascuna macchina del gruppo.
- 3) Rapporto di produzione: determinare i rapporti relativi nei quali i particolari selezionati devono essere prodotti.
- 4) Allocazione delle risorse: allocare pallet e attrezzature ai differenti particolari.
- 5) Caricamento: allocare operazioni ed utensili dei particolari selezionati ai gruppi di macchine.

¹⁶ Cfr. paragrafo 2.2.2.

¹⁷ La presentazione dei vari modelli è ripresa da un significativo articolo di J.A. BUZACOTT, D.D. YAO, *Flexible Manufacturing Systems: a review of analytical models*, Management Science, n. 7, 1986. Molti riferimenti bibliografici di tale paragrafo sono di tale fonte.

¹⁸ K. STECKE, J.J. SOLBERG, *The CMS Loading Problem*, The Optimal Planning of Computerized Manufacturing Systems Report N. 20, School of Industrial Engineering, Purdue University, West Lafayette, Ind., 1981.

Hildebrant

L'autore¹⁹ propone la seguente struttura per la soluzione del problema di gestione degli FMS:

- 1) Individuare il mix di jobs da inserire nell'impianto ed individuare la macchina per ciascuna operazione in ogni possibile configurazione del sistema (comprese le condizioni di rottura delle macchine), al fine di minimizzare il tempo necessario per realizzare i piani di produzione.
- 2) Individuare la sequenza con cui inserire i jobs nel sistema in ciascuna configurazione per massimizzare il tasso medio produttivo.
- 3) Individuare l'istante di ingresso di ciascun job nel sistema e l'operazione successiva di ciascun job in ciascuna configurazione per minimizzare i ritardi.

Suri e Whitney

La formulazione delle decisioni per il governo dell'FMS deve essere strutturata secondo tali autori²⁰ su tre livelli:

- 1) Decisioni di lungo termine: configurazione del sistema, selezione dell'hardware e selezione del mix di particolari.
- 2) Decisioni di medio termine: raggruppamento dei particolari e bilanciamento della produzione per ciascun raggruppamento.
- 3) Decisioni di breve termine/tempo reale: definizione della sequenza dei lavori da introdurre nel sistema, definizione della sequenza delle operazioni e gestione dei disturbi (rotture delle macchine e modifiche nella schedulazione).

Kimemia

Diversamente da quanto proposto da Hildebrant dove il collegamento tra FMS ed ambiente esterno è rappresentato dal solo piano di produzione, Kimemia²¹ presuppone:

¹⁹ R.R. HILDEBRANT, *Scheduling Flexible Machining Systems When Machines Are Prone to Failure*, Ph. D. Dissertation, Dept. of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1980.

²⁰ R. SURI, C.K. WHITNEY, *Decision Support Requirements in Flexible Manufacturing*, J. Manufacturing Sys., n. 3, 1984, pg. 61-69.

²¹ J.G. KIMEMIA, *Hierarchical Control of Production in Flexible Manufacturing Systems*, Ph. D. Dissertation, Report N. LIDS-TH-1215, Laboratory for Information and Decision Systems, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1982.

- un sistema di controllo che governa l'input dell'FMS sulla base di quanto definito dal Master Production Schedule;
- un magazzino di componenti a valle dell'FMS che disaccoppia l'impianto flessibile dagli stadi produttivi successivi.

Lo schema di controllo proposto ha la seguente struttura gerarchica:

- 1) Controllo di flusso: regola il tasso di produzione di ciascun tipo di job, tenendo presente le eventuali modifiche dei fabbisogni produttivi, il livello di scorte nel magazzino di valle e la disponibilità delle macchine.
- 2) Controllo dei cicli: determina il ciclo ottimale dei jobs nell'FMS (o in modo equivalente il carico ottimo delle macchine). L'obiettivo è di raggiungere il 'throughput' definito dal controllo di flusso e minimizzare la congestione del sistema.
- 3) Controllo delle sequenze: determina la sequenza e l'istante di rilascio di un job esterno nel sistema, come pure determina l'operazione successiva dei jobs interni. L'obiettivo è realizzare il 'throughput' e le decisioni relative ai cicli (o al carico) derivanti rispettivamente dai due livelli superiori²².

Buzacott

La struttura gerarchica di controllo proposta da tale autore²³ individua tre livelli:

- 1) Pianificazione del rilascio: decidere quali jobs devono essere prodotti ed individuare i vincoli delle sequenze delle operazioni.
- 2) Controllo dell'input: determinare la sequenza e l'istante di rilascio di jobs nel sistema.
- 3) Controllo delle operazioni: assicurare la movimentazione tra le macchine e decidere quale job deve essere lavorato successivamente presso una macchina.

²² Una versione modificata del modello di Kimemia, soprattutto per quanto riguarda le metodologie di risoluzione utilizzate ai vari livelli, è stata proposta da S.B. GERSHWIN, R. AKELLA, Y.F. CHOONG, *Short-Term Production Scheduling of an Automated Manufacturing Facility*, IBM J. Res. Develop., n. 29, 1985, pg. 392-400, e da R. AKELLA, Y. CHOONG, S.B. GERSHWIN, *Performance of Hierarchical Production Scheduling Policy*, IEEE Trans. Components, Hybrids and Manufacturing Technology, CHMT-7, 1984, pg. 225-240.

²³ J.A. BUZACOTT, *Optimal Operating Rules for Automated Manufacturing Systems*, IEEE Trans. Automatic Control, AC-27, 1982, pg. 80-86.

Un approccio esteso all'intero sistema produttivo

Maxwell ed altri autori²⁴, affrontando il problema della programmazione della produzione, mettono l'accento sulla necessità di affrontare i problemi legati al processo in atto di riorganizzazione per celle dell'intero sistema produttivo: celle di formatura dei metalli, celle di produzione, celle di sagomatura dei materiali plastici, celle di assemblaggio.

Lo sviluppo del sistema produttivo verso un'organizzazione per linee produttive costituite da celle²⁵, oltrech  richiedere una revisione radicale del layout di fabbrica, ha un grande impatto sui sistemi di pianificazione e controllo della produzione.

Gli autori propongono un approccio articolato in tre fasi per la modellazione della pianificazione ed il controllo dei sistemi di produzione organizzati per linee produttive:

- Fase 1) Stabilire la dimensione di lotti ed i tempi di produzione di tutti i componenti; stabilire i fabbisogni di capacit .
- Fase 2) Stabilire se ci devono essere scorte di sicurezza, le loro entit  e tra quali stadi devono esistere.
- Fase 3) Rilasciare gli ordini in produzione e raccogliere i dati di feedback.

Cercando, per quanto possibile, di ricondurre alle fasi di tale approccio generalizzato²⁶ i livelli individuati dagli altri autori si pu  notare che:

- la fase 3 corrisponde ai livelli 2 e 3 individuati rispettivamente da Hildebrant e Buzacott, e ai livelli 4 e 5 individuati da Stecke e Solberg;
- le decisioni relative alle fasi 2 e 3 sono trattate nel modello di controllo di Kimemia e nelle sue successive versioni sviluppate da Gershwin;
- il livello 1, inerente la selezione del mix, individuato rispettivamente da Stecke e Solberg, Hildebrant e Buzacott non trova una chiara collaborazione nello schema proposto.

²⁴ W.L. MAXWELL, J.A. MUCKSTADT, L.J. THOMAS, J. VANDEREEDKEN, *A Modeling Framework for Planning and Control of Production in Discrete Parts Manufacturing and Assembly Systems*, School of Operations Research and Industrial Engineering, Cornell University, Ithaca, NY, 1982.

²⁵ I vantaggi derivanti dall'evoluzione di un sistema produttivo tradizionale verso una organizzazione per linee di produzione   stata discussa nel paragrafo 4.9. affrontando il tema della ripetitivit  delle operazioni.

²⁶ Cfr. J.A. BUZACOTT, D.D. YAO, 1986, *op. cit.*, pg. 902.

Il problema cruciale nella gestione degli FMS: la definizione del mix di produzione

La definizione del mix di produzione non trova spazio nello schema proposto da Maxwell, perché è un problema specifico della gestione degli FMS. Il modello di Maxwell è del tutto generale ed è rivolto a formalizzare i problemi di gestione derivanti da una organizzazione della produzione per linee di fabbricazione e montaggio articolate in celle.

Nella programmazione della produzione degli FMS la definizione del mix è invece il problema cruciale.

Nello schema di Maxwell la definizione del mix potrebbe rientrare nella fase 1, andando logicamente ad affiancarsi al problema di dimensionamento dei lotti.

Consideriamo il caso di un sistema flessibile non in linea con centri di lavoro che produce un grande mix di particolari. È un sistema che appartiene alla categoria 4 di fig. 5.4., i cui vincoli per la gestione sono rappresentati sostanzialmente dalla disponibilità di attrezzature ed utensili. Se il mix è molto ampio è verosimile ipotizzare che il sistema sia configurato col minor numero possibile di attrezzature ed utensili, possedendo in tal modo il livello di flessibilità minimo (vedi fig. 5.3.).

In tale contesto l'unico modo per garantire la saturazione dell'impianto è lavorare presso i vari centri di lavoro particolari diversi che richiedono appunto attrezzature ed utensili diversi. Devono essere diversi inoltre anche i pezzi già pallettizzati in coda presso i centri perché impegnano attrezzature diverse, come diversi devono essere, per lo stesso motivo, i particolari in fase di pallettizzazione/spallettizzazione presso le stazioni di carico/scarico.

Se inoltre sono presenti delle macchine specializzate (categoria 2 di fig. 5.4.) la diversità dei particolari deve essere anche relativa ai cicli di produzione: se qualche particolare impegna pesantemente una certa macchina specializzata, dovranno essere contemporaneamente presenti altri particolari che non necessitano di essere lavorati presso quella macchina specializzata.

In generale, se si desidera realizzare la saturazione di un sistema flessibile che produce un ampio mix di particolari, è necessario garantire la presenza simultanea di particolari diversi dal punto di vista dei fabbisogni di attrezzature, utensili e macchine specializzate.

Come brillantemente osservano alcuni autori²⁷: «Nel selezionare i particolari che devono essere prodotti assieme, la 'compatibilità' del

²⁷ S.Y. NOF, M.M. BARASH, J.J. SOLBERG, *Operational control of item flow in versatile manufacturing systems*, Int. J. of Production Research, n. 5, 1979, pg. 482.

gruppo è determinata dalle loro diversità nei fabbisogni, piuttosto che dalla loro similarità. È interessante notare i differenti obiettivi nelle fasi di progettazione e di gestione di un FMS: durante la progettazione del sistema si cercano le similarità dei particolari, ma durante la gestione se ne cercano le differenze».

Esiste in generale un set ottimo (o più sets ottimi) di particolari i cui fabbisogni produttivi sono complementari. Tale set consente il rispetto dei vincoli delle risorse, intese nel loro senso più ampio (attrezzature, utensili, macchine specializzate, sistema di trasporto degli utensili, ecc.), e realizza contemporaneamente la saturazione della capacità produttiva²⁸.

La definizione del mix non comprende solo la selezione di quali tipi di particolari lavorare assieme, ma anche l'individuazione dei rapporti ottimali di produzione tra i particolari selezionati²⁹.

In questo senso la formazione del mix (selezione dei particolari e definizione dei rapporti ottimali) può essere associata alla fase 1 dello schema di Maxwell dove, oltre ad affrontare il problema del dimensionamento dei lotti, si considera anche il problema della selezione dei particolari.

Nel case-study sulla programmazione della produzione di un FMS sviluppato nel successivo capitolo 6, vedremo come la definizione del mix sia l'effettivo problema da risolvere. Come avremo modo di descrivere più dettagliatamente nel seguito, essendo le attrezzature in numero limitato, è necessario prevedere la lavorazione simultanea di particolari che insistono su attrezzature diverse, pena l'inevitabile insaturazione dell'impianto.

Sulla definizione del mix di produzione e sulla verifica della incompatibilità produttiva dei particolari verterà l'intero case-study.

5.4. Livelli di programmazione della produzione negli FMS

Nei paragrafi 5.1. e 5.2. abbiamo evidenziato la natura dei vincoli che devono essere affrontati nella programmazione della produzione degli FMS. Nel paragrafo 5.3. abbiamo visto come la soluzione dei problemi richiede un'articolazione in fasi.

In questo paragrafo vogliamo inquadrare le varie fasi proposte in let-

²⁸ Il diverso approccio da utilizzare in progettazione e gestione di un FMS è ribadito da S.C. SARIN, 1985, *op. cit.*, pg. 5. L'autore ribadisce anche l'esistenza teorica di un ottimo numero e assortimento di particolari diversi da lavorare sulle macchine.

²⁹ Cfr. S.Y. NOF et al., 1979, *op. cit.*, pg. 483.

teratura all'interno dei vari livelli gerarchici dei computers che governano il funzionamento dell'intero sistema produttivo.

La segmentazione in fasi temporali proposte da Suri e Whitney³⁰ individua:

- decisioni di lungo periodo;
- decisioni di medio periodo;
- decisioni di breve periodo;
- decisioni in tempo reale.

È possibile associare a ciascuna di queste fasi, caratterizzate da diversi orizzonti temporali, una diversa funzione nell'ambito della programmazione della produzione degli FMS ed un corrispondente livello gerarchico di computer dove tale funzione viene svolta.

Come rappresentato in fig. 2.18., Groover³¹ individua 4 livelli di computers per il controllo della produzione in impresa ed un ulteriore livello rappresentato dalle macchine che realizzano il processo produttivo:

- livello 4: calcolatore di impresa (corporate computer);
- livello 3: calcolatore di stabilimento (plant computer);
- livello 2: calcolatore di linea (satellite computer);
- livello 1: calcolatore di macchina (mini o micro computer);
- livello 0: macchina operatrice

In fig. 3.20. abbiamo indicativamente riportato alcune funzioni svolte ai vari livelli gerarchici. La suddivisione è esemplificativa e non pretende di associare in modo rigido livelli e funzioni. Sono possibili ovviamente soluzioni diverse a seconda delle esigenze e delle dimensioni dell'impresa.

Comunque in linea generale e con specifico riferimento al problema della programmazione della produzione degli FMS possiamo individuare le seguenti corrispondenze (vedi fig. 5.5.):

- *Livello 4:* è necessario a questo livello distinguere 2 sottolivelli logici che corrispondono a due precise funzioni svolte nei sistemi MPCS³²:
 - *Livello 4.2.:* è la cosiddetta 'Rough Cut Capacity Plan' ovvero la pianificazione aggregata dei fabbisogni di capacità produttiva³³. A questo livello vengono analizzati in modalità simulativa 'what if' gli ordini 'trial' o di tentativo proposti dal Master Production Schedule. La verifica è basata ovviamente sulle disponibilità e sugli impegni aggregati di capacità. L'output di tale fase sono degli ordini di produzione 'rilasciati', cioè ordini di produzione di cui ne è autorizzata l'esecuzione. L'orizzonte temporale è il lungo periodo (ad esempio 4-12 mesi).

³⁰ R. SURI, C.K. WHITNEY, 1984, *op.cit.*

³¹ Cfr. P. GROOVER, 1980, *op.cit.*, pg. 324-328.

³² Cfr. paragrafo 3.5. sui Manufacturing Planning and Control Systems (MPCS).

³³ Si veda quanto detto sulla Resource Requirements Planning (RRP) e sulle 'Rough Cut Capacity Plan' nel paragrafo 3.5., quando viene sviluppato l'argomento MRP II.

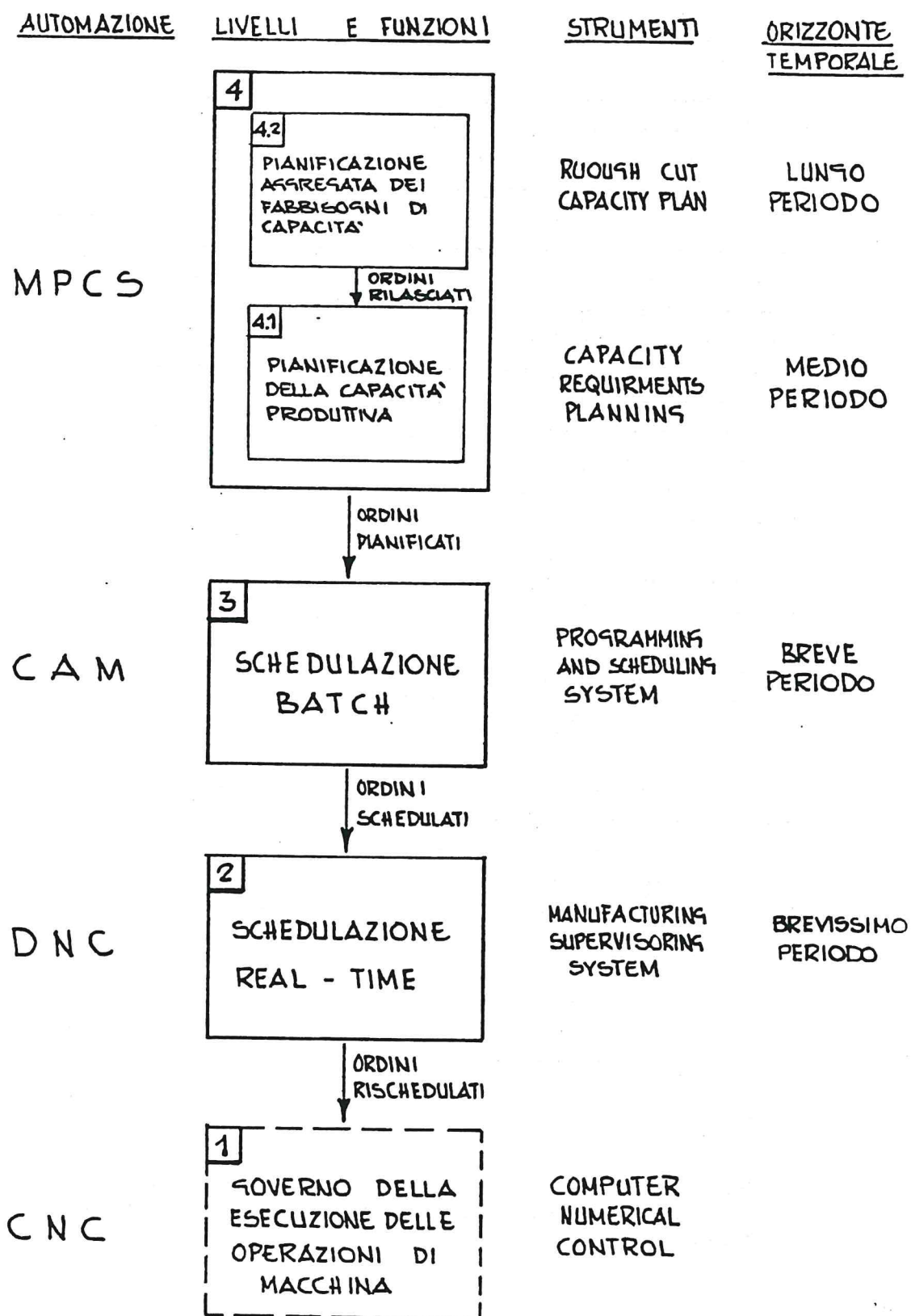


Fig. 5.5 - Livelli di programmazione negli FMS.

- **Livello 4.1.:** rappresenta la pianificazione vera e propria della capacità produttiva (Capacity Requirements Planning). Gli ordini rilasciati vengono pianificati sulla base degli impegni e della disponibilità di capacità produttiva dei vari centri produttivi interessati. Viene precisata la data di consegna degli ordini, sia dei prodotti finiti che dei vari componenti. L'orizzonte temporale è il medio periodo (ad esempio 1-3 mesi).

— **Livello 3:** tale livello corrisponde alla funzione batch di schedulazione della produzione del sistema flessibile di produzione. In fig. 3.7. è stato indicato con 'Programming and Scheduling System' l'insieme dei programmi software che svolgono tale funzione. In fig. 3.8. abbiamo indicato con CAM il tipo di automazione di tale livello riferendoci alla terminologia adottata in Elsag³⁴. L'output di tale fase sono degli ordini di produzione schedulati, ovvero ordini la cui sequenza di produzione, nel rispetto della data di consegna e dei vincoli di gestione dell'impianto, ottimizzano l'utilizzo del sistema flessibile. L'orizzonte temporale è il breve periodo (ad esempio 5-30 giorni).

— **Livello 2:** a questo livello è eseguita la schedulazione real-time del sistema flessibile che tiene conto di eventuali rotture di utensili, indisponibilità di stazioni di lavoro, ecc. In fig. 2.22. abbiamo indicato con 'Manufacturing Supervising System' il sistema software di supervisione dell'impianto. La funzione del supervisore è quella di rischedulare gli ordini già schedulati sulla base della situazione di effettiva disponibilità del sistema. Sia in fig. 2.22. che in fig. 3.8. è stata indicata con 'Direct Numerical Control' il tipo di automazione di tale livello. L'orizzonte temporale è il brevissimo termine (ad esempio poche ore).

— **Livello 1:** questo livello non svolge funzioni di programmazione della produzione, bensì di governo della esecuzione delle operazioni di macchina. In fig. 2.20 è stata indicata con 'controllo dell'unità' le funzioni svolte a tale livello. In fig. 2.22. e in fig. 3.7. sono stati indicati i vari moduli software che realizzano le diverse funzioni svolte da una macchina operatrice. Più in generale i sistemi Computer Numerical Control³⁵ governano tutte le operazioni di lavorazione, movimentazione e assemblaggio (vedi fig. 3.8.).

Associando tipologie di automazione a funzioni svolte ai diversi livelli, abbiamo indirettamente associato i sistemi software che realizzano l'automazione delle diverse funzioni alle dimensioni di computers che operano ai diversi livelli.

³⁴ Si veda il paragrafo 3.4. sul CAM dove vengono proposte 4 definizioni e il paragrafo 3.6 sul CIM dove viene proposta una quinta definizione di CAM.

³⁵ Vedi paragrafo 2.1.1.

Le corrispondenze che ne sono scaturite³⁶ sono le seguenti^{36a}:

— i moduli degli MPCS che svolgono funzioni di pianificazione e più in generale di gestione d'azienda risiedono nei mainframe d'impresa³⁷;

— i sistemi CAM, per quanto riguarda le funzioni di schedulazione batch dell'FMS, risiedono nel computer di stabilimento insieme a tutti i moduli degli MPCS (vedi ad esempio lo Shop Floor Control-SFC) che governano il funzionamento di fabbrica;

— il sistema DNC di schedulazione in real-time dell'impianto flessibile risiede nel calcolatore di linea;

— i sistemi CNC per il governo della esecuzione delle operazioni risiedono nel minicomputer o microcomputer di macchina.

Le caratteristiche generali dei sistemi di schedulazione della produzione degli FMS 'Programming and Scheduling system' (livello 3) sono riportate in fig. 5.6. al fine di evidenziarne le differenze.

	<i>Batch</i> (Livello 3)	<i>Real-time</i> (Livello 2)
— Scopo	Pianificazione	Controllo
— Orizzonte	Settimane/giorni	Ore
— Frequenza	Giornaliera	Pochi minuti
— Disponibilità di grezzi	Input dalla programmazione di monte	Input dall'impianto
— Disponibilità di macchine, attrezzature ed utensili	Input previsto	Input dall'impianto
— Destinatari delle informazioni	Molti	Operatore di sistema

Fig. 5.6. — Caratteristiche dei sistemi di scheduling degli FMS.
Fonte: elaborazione da COMAU, dispense interne.

³⁶ Vedi anche fig. 2.19.

^{36a} Tali corrispondenze devono ritenersi valide a livello generale essendo possibili, in realtà, soluzioni diverse a seconda delle dimensioni e delle esigenze dell'azienda.

³⁷ Tale affermazione deve ritenersi valida almeno per quanto riguarda, ad esempio, moduli quali DRP, O/E, MPS, RRP (cfr. paragrafo 3.5.). Moduli quali MRP e CRP possono anche trovarsi ai livelli inferiori quando le dimensioni aziendali sono grandi (programmazione 'multiplant').

In pratica il sistema di schedulazione batch determina un piano di produzione ottimizzato che serve anche da riferimento per le valutazioni delle prestazioni dell'impianto flessibile. Viene anche previsto il fabbisogno di grezzi, attrezzature ed utensili nell'orizzonte di pianificazione.

Il sistema real-time varia il programma di produzione interagendo con l'operatore, in funzione degli imprevisti che si verificano.

Un esempio di schedulazione batch della produzione, integrata a monte con i sistemi informativi di stabilimento e a valle con il sistema di controllo real-time dell'FMS, è rappresentata dall'architettura software sviluppata dalla Comau³⁸.

I moduli software che compongono l'architettura Comau per il controllo della produzione degli FMS sono 8³⁹: pianificazione, controllo delle operazioni, reporting, part programming⁴⁰, controllo qualità, gestione utensili, movimentazione dei materiali e interfaccia con il sistema informativo di stabilimento.

Nel modulo di pianificazione è compreso il sottomodulo Job Scheduling System che è articolato in ulteriori sottomoduli tra cui i sistemi di schedulazione della produzione batch e real-time. Il Job Scheduling System può anche essere usato fuori linea per effettuare analisi del tipo 'what if' e prevedere con la massima accuratezza ed affidabilità il comportamento dell'impianto⁴¹.

Il programma che realizza la schedulazione batch e real-time è lo stesso, ma i dati sono diversi (cfr. fig. 5.6.)⁴².

È possibile definire di volta in volta funzioni obiettivo diverse che alternativamente pongono l'accento sulla saturazione dell'impianto, sul rispetto delle date di consegna e sulla minimizzazione dei tempi di attrezzaggio (o cambio di produzione).

³⁸ I 'layers' o strati gerarchici di controllo previsti dall'architettura Comau sono 7. Gli oggetti del controllo sono ancora 4: società, officina, cella e macchina. I 'layers' individuati sono: business e master (società), plant (officina), transport e network (cella), data link e physical (macchina). Cfr. COMAU, *Architettura Comau per il controllo della produzione*, Dispense interne, Febbraio 1985.

³⁹ Per una descrizione dettagliata dei moduli si veda M. ACTIS DATO, F. CIAFFI, P. CIGNA, *A generalized job scheduling system for FMS*, Proc. 3rd Int. Conference on FMS, Boebligen 1984.

⁴⁰ È il modulo per la definizione dei machining program (NCPP).

⁴¹ Cfr. M. ACTIS DATO, F. CIAFFI, P. CIGNA, *L'Automazione dei processi produttivi di piccola e media serie*, Anima, Convegno sull'Elettronica applicata alle macchine, Milano, Aprile, 1983, pg. 13.

⁴² Ciò non è vero in linea generale. Normalmente le tecniche di schedulazione adottate ai livelli batch e real-time sono diverse. Cfr. A. POZZETTI, *Modellizzazione concettuale degli impianti ad automazione flessibile e relative tecniche per la programmazione della produzione*, Associazione MIP, Programmazione della produzione in presenza di automazione flessibile, Milano, Maggio 1986.

È opportuno a tale riguardo ricordare che il tipo di obiettivo è uno dei modi rispetto a cui si possono classificare le soluzioni di schedulazione degli FMS. Tali soluzioni sono infatti classificate⁴³:

— per tecnica di approccio: tecniche analitiche (equazioni o disequazioni lineari e non lineari, equazioni o disequazioni differenziali) e non analitiche (metodi enumerativi o esaustivi, branch and bound, euristici)⁴⁴;

— per tipo di obiettivo: massimizzazione del coefficiente di utilizzazione delle macchine (che è quasi sempre sinonimo di minimizzazione del tempo globale di completamento di un certo portafoglio lavori o 'makespan'), minimizzazione di una funzione dei ritardi rispetto ai termini di consegna, minimizzazione dei tempi di attrezzaggio, ottimizzazione di un obiettivo che tenga conto dei tre precedenti.

I quattro livelli di programmazione degli FMS individuati in questo paragrafo e le corrispondenti funzioni svolte non esauriscono, in linea generale, l'articolazione e le funzioni necessarie per la gestione degli FMS.

Nel paragrafo successivo vedremo come la fase di schedulazione batch degli FMS possa essere ulteriormente articolata in sottofasi.

5.5. Articolazione del livello di schedulazione batch degli FMS

In questo paragrafo descriveremo brevemente:

- le linee generali di un modello di schedulazione batch proposto per la soluzione di problemi di gestione dei sistemi flessibili costituiti da una elevato numero di celle;
- le caratteristiche essenziali di uno schedulatore batch sviluppato per la programmazione di sistemi flessibili operanti in ambienti produttivi caratterizzati da un mix di particolari ampio e variabile nel tempo.

L'obiettivo è di evidenziare come la soluzione dei problemi di programmazione degli FMS richieda strumenti ancora più articolati di quanto visto nel paragrafo 5.4.

⁴³ Cfr. A. BRANDOLESE, *La programmazione della produzione nei sistemi flessibili di lavorazione*, Pixel, n. 3, 1982, e A. POZZETTI, 1986, *op. cit.* Non esiste in generale una classificazione univoca. Si veda ad esempio H. HONARY e H. KOBAYASHI, *Fast scheduling scheme for on-line production control*, *Toward the Factory of the Future*, Proceedings of the 8th International Conference on Production Research, Springer-Verlag, 1985, e S.C. SARIN, 1985, *op. cit.*

⁴⁴ È opportuno citare, soprattutto per quanto riguarda gli sviluppi futuri, anche le tecniche di schedulazione basate su applicazioni di intelligenza artificiale. Si veda al riguardo: S.F. SMITH, M.S. FOX, P.S. OW, *Constructing and maintaining detailed production plans: investigations into the development of knowledge-based factory scheduling systems*, *AI Magazine*, Fall 1986, e G. CHRYSOLOURIS, S. CHAN, *Decision making for an advanced factory management system*, CAM-i Publication R-85-FM-01, March 1985.

Per una descrizione dettagliata sia del modello che dello schedulatore rimandiamo alla letteratura citata.

Modello Falster-Rolstadas

I due autori presuppongono che siano già stati eseguiti:

- il Piano Principale di Produzione (MPS) e le eventuali verifiche di 'Rough Cut Capacity Plan' per tutti i reparti produttivi;
- la Pianificazione dei Fabbisogni dei Materiali (MRP) con aggregazione in periodi (settimane) dei fabbisogni dei componenti;
- la Pianificazione dei Fabbisogni di Capacità Produttiva (CRP) per tutti i centri produttivi, FMS compreso.

In particolare nella fase di CRP, l'FMS viene considerato come un unico centro produttivo. Il carico attribuito è approssimativamente uguale alla sua capacità produttiva⁴⁵.

Il modello sviluppato si basa sulle seguenti ipotesi:

- il sistema flessibile è costituito da celle;
- una famiglia di particolari è lavorata in una sola cella;
- la lavorazione di ciascun particolare viene eseguita completamente nella cella;
- un particolare può appartenere a più famiglie;
- in ogni cella è presente una 'macchina chiave' rappresentata dalla work-station con il carico di lavoro più elevato nel periodo (per vincoli di disponibilità di utensili). Il carico di lavoro della 'macchina chiave' determina il 'throughput time', ovvero il tempo di completamento del portafoglio ordini assegnato alla cella. La determinazione della 'macchina chiave' varia di volta in volta in funzione del mix di particolari da lavorare sulla cella.

L'obiettivo del modello è di evadere i fabbisogni richiesti. Il problema viene affrontato in due fasi distinte⁴⁶:

- fase 3.2.: raggruppamento dei particolari in famiglie e pianificazione di tutte le celle;
- fase 3.1.: individuazione per ogni cella delle sessioni di lavoro e del

⁴⁵ Gli autori sottolineano come il mix casuale dei particolari possa comportare insaturazioni di alcune work-stations del sistema e ipotizzano anche la possibilità di ridurre la capacità dell'impianto di un fattore empirico. Cfr. P. FALSTER, A. ROLSTADAS, *Interactive planning of lot-sizes for product mix in manufacturing cells*, System Structure in Engineering, Tapir, 1978, pg. 538, e A. ROLSTADAS, *Scheduling batch production by means of an on-line minicomputer*, Sintef-Rapport, STF17-A77064, November 1977, pg. 11.

⁴⁶ Il numero 3 precede la numerazione delle due fasi in quanto il modello in esame può essere logicamente incluso nel livello 3 di fig. 5.5.

mix di lavorazione al fine di rispettare i vincoli delle workstation.

Lo scopo della fase 3.2. è di raggruppare i fabbisogni dei componenti in famiglie e allocarli sulle celle al fine di uniformarne il carico. L'assegnazione dei particolari alle famiglie/celle ha come obiettivo la minimizzazione del 'throughput time' di ciascuna cella⁴⁷, determinato dal carico di lavoro più elevato tra le stazioni di lavoro ('macchina chiave')⁴⁸.

Il problema affrontato nella fase 3.1. può essere formulato come segue: dato un fabbisogno complessivo di particolari nel periodo (la settimana), i tempi di lavorazione, i fabbisogni di utensili, la capacità dei magazzini utensili a bordo macchina, e la capacità della cella, individuare numero ed ampiezza di sessioni e mix per ciascuna sessione, in modo tale che il tempo complessivo richiesto per evadere i fabbisogni sia minimo⁴⁹. Il tempo complessivo è dato dalla somma dei tempi di sessione, a loro volta somma dei tempi di set-up di cella e di lavorazione sulla 'macchina chiave'.

Il sistema Production Planning System (PPS)

Il sistema PPS è uno schedatore batch per FMS sviluppato recentemente nell'ambito di un contratto di ricerca tra Politecnico di Milano e IBM Italia⁵⁰.

La funzione svolta è quella di schedare l'esecuzione degli ordini di lavoro (job orders) assegnati dalla programmazione di monte (livello 4 di fig. 5.5.) e di comunicare il risultato della schedulazione al sistema di controllo in tempo reale dell'FMS (livello 2 di fig. 5.5.)⁵¹.

L'obiettivo della schedulazione è di ottenere la massima saturazione dell'impianto flessibile nel rispetto delle date di consegna degli ordini.

⁴⁷ Per tali autori l'obiettivo di rendere minimo il 'throughput time' coincide con la massima saturazione della cella. Cfr. A. ROLSTADAS, 1977, *op. cit.*, pg. 11.

⁴⁸ L'algoritmo utilizzato nella fase 3.2. è descritto in P. FALSTER, A. ROLSTADAS, *The integration of production management and flexible manufacturing*, Advances in CAD/CAM, North-Holland Publishing Company, 1983, pg. 308-310.

⁴⁹ L'algoritmo utilizzato nella fase 3.1. è descritto in A. ROLSTADAS, 1977, *op. cit.* I risultati applicativi dell'algoritmo si trovano in P. FALSTER, A. ROLSTADAS, 1978, *op. cit.*, pg. 571 e seg.

⁵⁰ Cfr. M. BONFIOLI, A. BRANDOLESE, M. GARETTI, A. POZZETTI, *Un approccio decentrato e multilivello alla programmazione della produzione degli FMS*, Atti del Convegno Anipla, 1985.

⁵¹ La comunicazione dei consuntivi di produzione avviene viceversa dal sistema di controllo in tempo reale al sistema PPS per la ridefinizione dei piani di produzione.

La filosofia secondo cui è stato realizzato il sistema è quella di suddividere i problemi della programmazione in sottoproblemi e affrontarli in fasi successive, caratterizzate da un diverso orizzonte temporale.

I problemi sono stati affrontati secondo un approccio che distingue i seguenti sottoproblemi⁵²:

- formazione del mix da produrre, suddiviso in
 - selezione dei particolari da produrre: quali particolari devono essere simultaneamente prodotti dal sistema;
 - individuazione dei rapporti ottimali tra le parti selezionate: quanti pezzi di ciascun particolare devono essere prodotti;
- caricamento del sistema, suddiviso logicamente in caricamento del sistema vuoto ed in attività;
- caricamento delle singole macchine e gestione della conflittualità tra i pezzi che devono utilizzare le stesse risorse (operation sequencing: in che sequenza i particolari devono essere lavorati sulle work-stations);
- selezione dei cicli alternativi di lavorazione per massimizzare la saturazione delle macchine e gestire i modi degradati di funzionamento.

I problemi sono risolti in più fasi a dettaglio crescente man mano che l'orizzonte temporale delle fasi si abbrevia.

Le caratteristiche delle tre fasi secondo cui è articolato il sistema sono riportate in fig. 5.7.⁵³

Ogni fase genera un piano per un periodo che è rispettivamente mensile (fase 3.3.), quindicinale (fase 3.2.) e pari alla durata di una sessione di lavoro (fase 3.1.). L'ampiezza della sessione di lavoro può andare da alcune ore o più giorni.

Ogni fase opera con un orizzonte temporale pari al periodo della fase gerarchicamente superiore. Quindi la fase 3.1. opera con un orizzonte quindicinale, la fase 3.2. con orizzonte mensile e la fase 3.3. con un orizzonte pari al periodo che la programmazione di monte (livello 4) considera 'congelato'⁵⁴, ad esempio due mesi⁵⁵.

⁵² Cfr. S.Y. NOF, et al., 1979, *op. cit.*, pg. 480.

⁵³ La numerazione delle tre fasi in fig. 5.7. è preceduta dal numero 3 poiché il sistema PPS è associabile al livello 3 di fig. 5.5.

⁵⁴ Con il termine congelato o 'frozen' si intende un periodo di tempo nel quale il piano di produzione si considera, in linea di principio, non modificabile. Cfr. J. ORLICHY, 1975, *op. cit.*, pg. 232-234. Si veda anche il paragrafo 6.1. (cfr. fig. 6.3.).

⁵⁵ Cfr. M. BONFIOLI, M. GARETTI, A. POZZETTI, *Programmazione e controllo di 'flexible manufacturing cells': linee di progetto ed esperienze realizzative*, Memoria n. 25, Politecnico di Milano, Dipartimento di Meccanica, Sezione Tecnologica, Impianti e Produzione, 1984.

VINCOLI

OBIETTIVI

Fase 3.3.

Date di inizio
produzione dei job orders

Date di consegna
dei job orders

Capacità produttiva
del sistema

Verificare la possibilità di evadere
i job orders assegnati all'FMS
dalla programmazione aziendale,
generando un piano mensile.

Uniformare e stimare i carichi
di lavoro sulle work-stations
del sistema, evidenziando gli
eventuali sovraccarichi

Calcolare, per l'approvvigionamento,
fixture e grezzi necessari
per ogni job order

Fase 3.2.

Disponibilità di
grezzi e di fixtures

Date di inizio
produzione dei job orders

Date di consegna
dei job orders

Capacità produttiva
del sistema

Selezionare dal piano mensile
un insieme di pezzi con
un carico di lavoro
complessivo di 2 settimane

Uniformare il tasso di
saturazione delle
work-stations del sistema

Stampare, per
l'approvvigionamento,
la lista degli utensili
necessari

Fase 3.1.

Capacità dei magazzini
utensili a bordo
macchina

Numero di pallets
che possono circolare nelle
singole celle

Disponibilità di
utensili e fixtures

Priorità dei
job orders

Lotti economici
di produzione

Selezionare dal piano
bisettimanale i pezzi
da produrre nella
sessione di lavoro

Massimizzare il tasso
di saturazione delle
macchine

Configurare il sistema
per la sessione
di lavoro

Calcolare la durata
ottimistica e pessimistica
della sessione di lavoro

Calcolare i carichi di
lavoro e la saturazione
delle singole macchine

Stampare le liste dei
grezzi, delle fixtures e
degli utensili necessari

Fig. 5.7. – Vincoli ed obiettivi delle tre fasi del sistema PPS. Fonte: M. BONFIOLI et al., 1985, *op. cit.*

Le ampiezze citate di periodi ed orizzonti delle fasi devono ritenersi indicative e dipendono dalle caratteristiche del contesto produttivo.

È ovvio che tanto più lungo è l'orizzonte di programmazione congelato determinato dal livello 4 di monte, tanto maggiori sono le possibilità dello schedatore di pervenire ad una soluzione ottimizzata⁵⁶.

Nelle fasi 3.2. e 3.1. al fine di realizzare gli obiettivi di saturazione dell'impianto nel rispetto delle date di consegna degli ordini, viene utilizzato lo job-splitting, e cioè la suddivisione della quantità del particolare da lavorare prevista dall'ordine di produzione. Secondo tale logica un ordine di produzione, ad esempio di 100 pezzi, con data di consegna in avanti di due mesi rispetto alla data odierna potrebbe essere così pianificato: 60 pezzi nel primo mese, di cui 45 nella prima quindicina, dei quali 10 nella prima sessione di lavoro. Il sistema garantisce la ricongiunzione del lotto di 100 pezzi entro la data di consegna. Negli istanti di pianificazione successivi, che sono definiti dalla frequenza di programmazione, vengono stabiliti i nuovi piani di produzione riconsiderando le quantità residue ancora da produrre ai diversi livelli, rispettivamente 40, 15 e 35 nell'esempio citato.

⁵⁶ Cfr. M. GARETTI, *Programmazione della produzione per gli impianti ad automazione flessibile*, Associazione MIP, *Programmazione della produzione in presenza di automazione flessibile*, Milano, Maggio, 1986.

CAPITOLO 6

LA PROGRAMMAZIONE DELLA PRODUZIONE NEGLI FMS: UN CASE-STUDY

In questo capitolo viene sviluppato un case-study sulla programmazione della produzione nei sistemi flessibili di produzione. L'obiettivo è di fornire una descrizione qualitativa dell'approccio utilizzato per la soluzione del problema senza disperdersi nei dettagli operativi.

Descriveremo preliminarmente le caratteristiche essenziali:

- dell'azienda dove è stato realizzato lo studio;
- del sistema flessibile di produzione operante presso l'azienda;
- del sistema informatico per la gestione della produzione utilizzato per simulare lo sviluppo del piano di produzione e verificare l'approccio proposto.

6.1. L'Azienda: la Rossi Motoriduttori

Aspetti generali

La Rossi Motoriduttori S.p.A. è una azienda di Modena che è stata fondata nel 1975. Il fatturato previsto per il 1987 è di circa 40 miliardi. Le esportazioni costituiscono circa il 20% del fatturato. I dipendenti sono circa 290. Le famiglie dei prodotti sono 9:

- riduttori e motoriduttori a vite;
- riduttori ad assi paralleli e ortogonali;
- riduttori pendolari;
- motovariatori a cinghia larga;
- riduttori e motoriduttori coassiali;
- motoriduttori ad assi ortogonali;
- motoriduttori ad assi paralleli;
- motoriduttori a corrente continua;
- motoriduttori per vie a rulli.

I codici di prodotti finiti a catalogo sono circa 30.000; la gamma dei prodotti finiti è talmente ampia che è possibile quasi sempre soddisfare le esigenze più particolari dei clienti senza dover realizzare prodotti su specifica. La modularità è molto spinta ed è estesa a livello di componente, di prodotto finito della stessa famiglia e di prodotto finito di famiglie diverse. I 30.000 codici di prodotti finiti sono ottenuti a partire da circa 4.000 componenti di produzione e da circa 1.500 componenti di acquisto.

Ciò si traduce per i clienti in vantaggi tangibili in termini di maggiore affidabilità, minori pezzi, minori tempi di consegna e di interscambiabilità di prodotto nella stessa applicazione.

Il concetto di modularità è stato rappresentato graficamente con l'imbutto di fig.6.1.

La Rossi Motoriduttori è una azienda 'assemble-to-order': il piano principale di produzione dei componenti è definito su previsione delle vendite e il piano finale di assemblaggio in base agli ordini dei clienti. Il tempo medio di consegna al cliente è di circa 4 settimane.

Vengono in realtà prodotti codici di prodotti finiti anche su previsione delle vendite. Si tratta però di un aspetto marginale relativo a soli 200 codici su 30.000. I 200 codici realizzati su previsione sono i prodotti di dimensioni minori e con caratteristiche standard la cui richiesta è sostanzialmente costante.

Fino a non molto tempo fa il sistema produttivo della Rossi Motoriduttori era un classico job-shop. La decisione di adottare un sistema flessibile di produzione è maturata sulla spinta di tre ordini di fattori:

- l'aumento del costo del denaro che imponeva una riduzione delle scorte;
- l'aumento del costo del lavoro che imponeva una maggiore automazione;
- il mutamento delle condizioni di mercato che imponeva tempi di consegna minori.

La riduzione dei tempi di consegna richiedeva in generale la riduzione del materiale in corso di lavorazione.

Ciò è stato ottenuto tramite:

- l'adozione di un FMS capace di lavorare un ampio mix di particolari specifici e richiesti, proprio per tale motivo, in lotti piccoli;
- la riorganizzazione parziale del job-shop in celle¹;
- la concentrazione sul job-shop della produzione di componenti comuni caratterizzati da volumi produttivi complessivi annui elevati. In tale modo una frequenza più elevata di produzione degli stessi componenti non si è trasformata in costi di attrezzaggio insostenibili per la dimensione troppo esigua dei lotti.

Il flusso logistico

Il flusso logistico della Rossi Motoriduttori è rappresentato in fig. 6.2. Sono stati indicati due magazzini di materie prime per evidenziare i

¹ Cfr. paragrafo 1.2.3. sulle celle di produzione e sui loro vantaggi rispetto al job-shop.

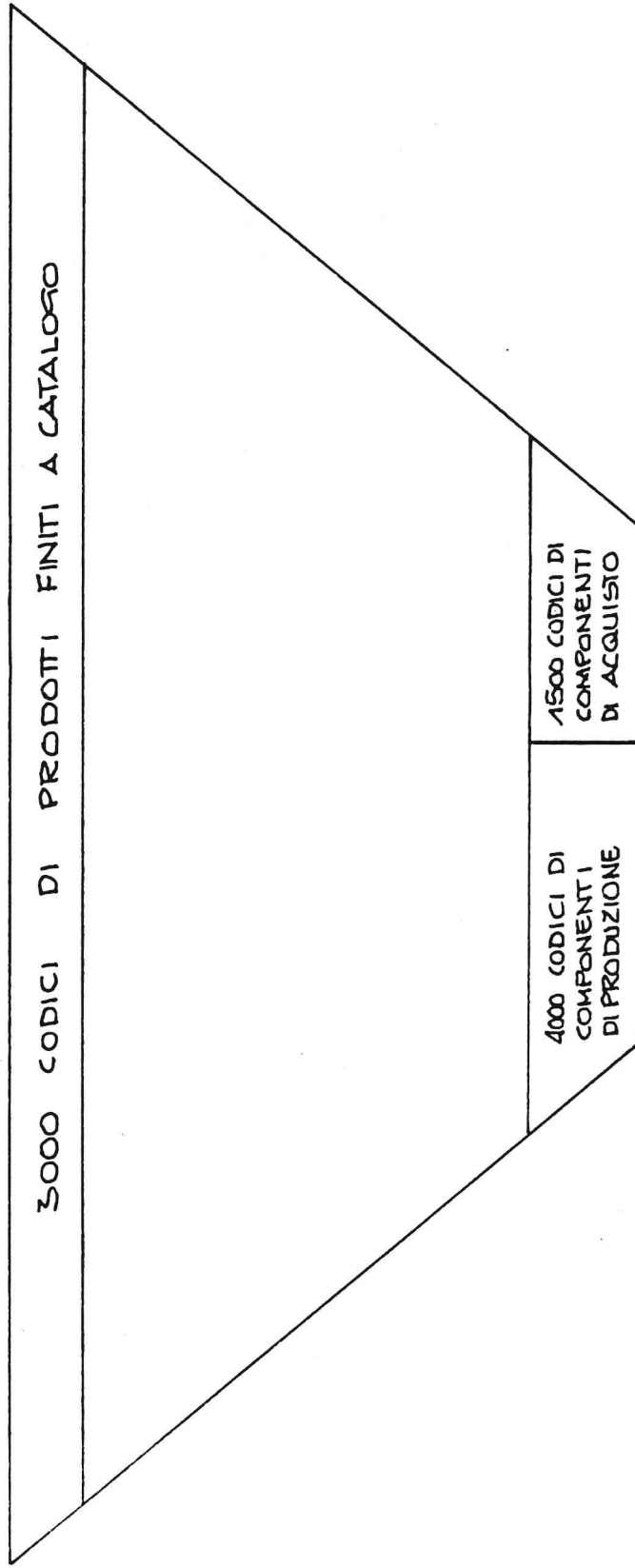
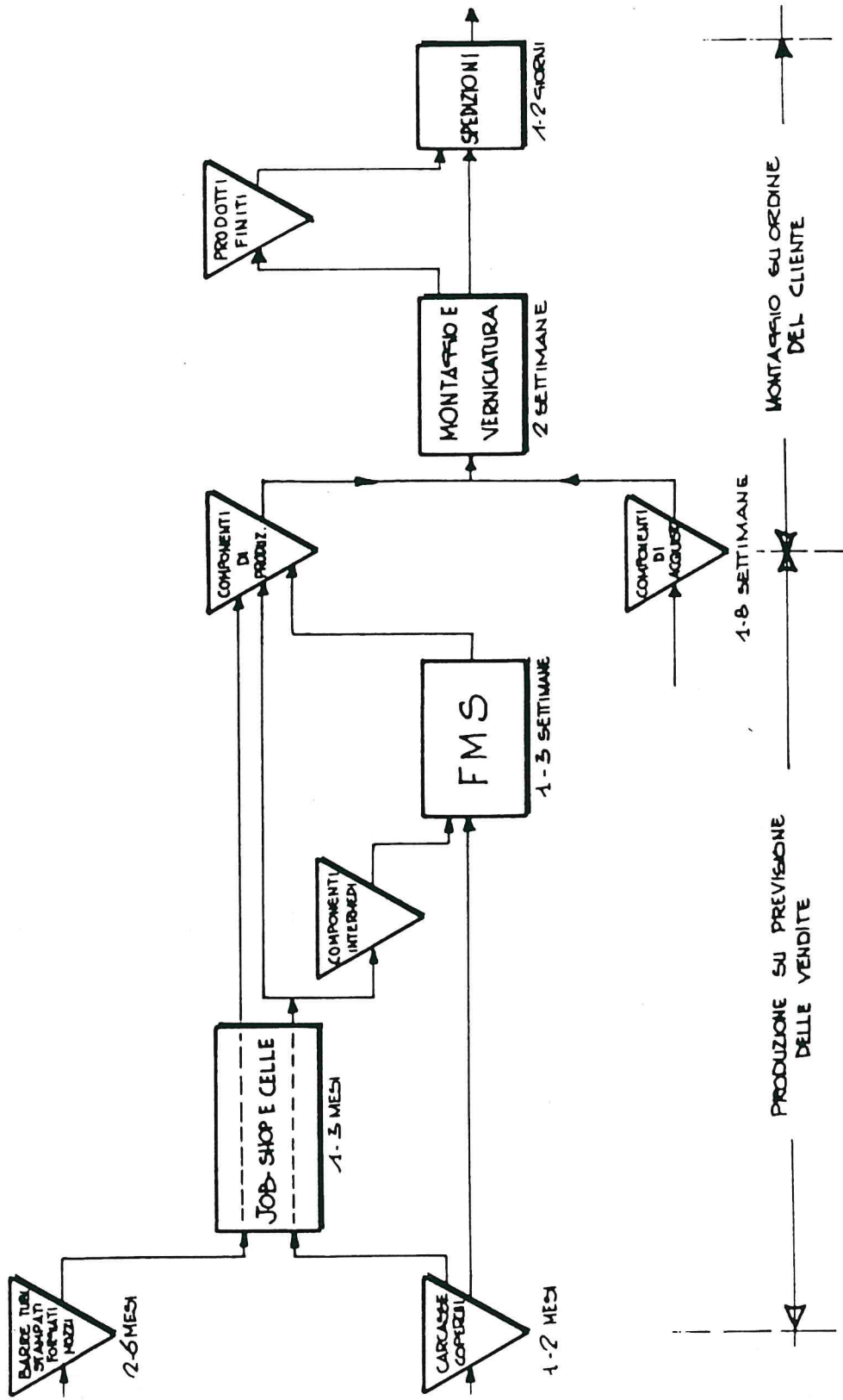


Fig. 6.1 - Modularità dei prodotti alla Rossi Motoriduttori.



6.2 - Flussi logistici alla Rossi Motoriduttori.

tipi di particolari lavorati sull'FMS: carcasse e coperchi. Come abbiamo detto, fino a non molto tempo fa il sistema produttivo era un classico job-shop. Le recenti riorganizzazioni hanno portato alla creazione di celle di produzione per la lavorazione di famiglie particolari. La riorganizzazione per celle è stata anche la necessaria premessa per l'introduzione dell'FMS². Attualmente quindi la produzione è articolata su celle, reparti produttivi riconducibili ad un job-shop e sul sistema flessibile di produzione.

È importante sin d'ora notare come a monte e a valle dell'FMS siano presenti dei magazzini di componenti per disaccoppiare il funzionamento dell'impianto sia dalle fasi produttive di monte (job-shop e celle) che da quelle di valle (montaggio, verniciatura e spedizioni).

In fig. 6.2. è presente anche un magazzino di prodotti finiti. Esso è costituito dalle giacenze dei 200 codici realizzati su previsione di vendita. La consistenza di tali giacenze rientra nei valori di una corretta gestione operativa.

In fig. 6.2. sono anche indicati i tempi medi di approvvigionamento di materie prime e componenti di acquisto e i lead times medi di fabbricazione e montaggio.

La definizione dei piani di produzione

La logica della programmazione di tutto il flusso produttivo prevede la formulazione di tre distinti piani di produzione e approvvigionamento³:

- definizione del piano finale di assemblaggio (FAS) dei prodotti finiti in base agli ordini dei clienti;
- definizione del piano principale di produzione (MPS) dei componenti di produzione e del piano di approvvigionamento dei componenti di acquisto sulla base di previsioni;
- definizione, su previsione, di un piano di approvvigionamento delle materie prime caratterizzate da tempi di consegna particolarmente lunghi (ad esempio le barre hanno tempi di consegna di 4-6 mesi). Tali materie prime non possono essere ordinate una volta definito il piano di produzione dei componenti, altrimenti il lead time cumulato di questi ultimi (somma del tempo di consegna dei fornitori e del lead time di produzione) diventerebbe troppo lungo.

² Cfr. paragrafo 1.2.3. sulle celle di produzione.

³ Si vedano le considerazioni espresse nel paragrafo 4.3. sulla gestione delle scorte quando si individuano le relazioni tra i lead times in gioco e i tempi di programmazione: sono tali relazioni a determinare l'articolazione su tre livelli del piano di produzione.

A partire dai fabbisogni di componenti che devono essere lavorati sull'FMS viene definito un ulteriore piano relativo alla schedulazione dell'impianto flessibile.

Per la descrizione delle caratteristiche dei piani sopra detti ci atterremo alle seguenti definizioni⁴ (vedi fig. 6.3.):

- Orizzonte di pianificazione: numero di periodi complessivi considerati nella definizione del piano di produzione.
- Orizzonte congelato: numero di periodi per i quali i piani di produzione sono già stati definiti nel passato. Tali piani si considerano non modificabili, o modificabili solo previo accertamento della possibile rimozione di vincoli interni ed esterni⁵.
- Periodo confermato: intervallo di tempo per il quale viene deciso in via definitiva il piano di produzione^{5a}.
- Orizzonte di tentativo: numero di periodi oltre l'orizzonte congelato fino a coprire l'intero orizzonte di pianificazione. Le quantità definite per questi periodi (escluso il periodo confermato) devono ritenersi ipotesi indicative e modificabili negli istanti successivi di pianificazione.
- Frequenza: intervallo di tempo tra l'istante di definizione di un piano e l'istante successivo.

Utilizzando la terminologia appena esposta possiamo così descrivere i piani di produzione formulati alla Rossi Motoriduttori:

- Il piano finale di assemblaggio è caratterizzato da un orizzonte di pianificazione di 4 settimane (pari al tempo medio di consegna), un orizzonte congelato pari ad una settimana, un periodo confermato di definizione delle operazioni di montaggio pari ad una settimana, ed una frequenza di definizione dei piani di montaggio settimanale.
- Il piano principale di produzione dei componenti ha un orizzonte di pianificazione di 12 mesi, un orizzonte congelato di 2 mesi⁶, un perio-

⁴ Cfr. anche J. ORLICKY, 1975, *op. cit.*, pg. 232-237.

⁵ Si veda quanto detto nel paragrafo 4.2. sulla pianificazione della produzione, circa le condizioni che devono essere verificate per la modifica dei piani di produzione. Dal punto di vista informatico il periodo congelato è gestito mediante gli ordini confermati. Cfr. paragrafo 3.5. sugli MPCS.

^{5a} Le modalità di funzionamento dei sistemi di gestione della produzione 'bucketless' prevedono l'autorizzazione o rilascio degli ordini tramite una apposita procedura di autorizzazione ('commit') che, nella pratica operativa, è relativa ad un periodo (quello che abbiamo definito confermato), ma può essere addirittura anche relativa al singolo ordine. La effettiva conferma dell'ordine (passaggio dello stato 'planned' cioè pianificato e autorizzato allo stato 'firm planned', cioè confermato) viene gestita automaticamente dal sistema con scansione giornaliera. Cfr. paragrafo 6.3.

⁶ L'orizzonte congelato di 2 mesi è relativo ai componenti di produzione lavorati sugli FMS che è l'oggetto del nostro studio. I componenti lavorati sul job-shop con lead ti-

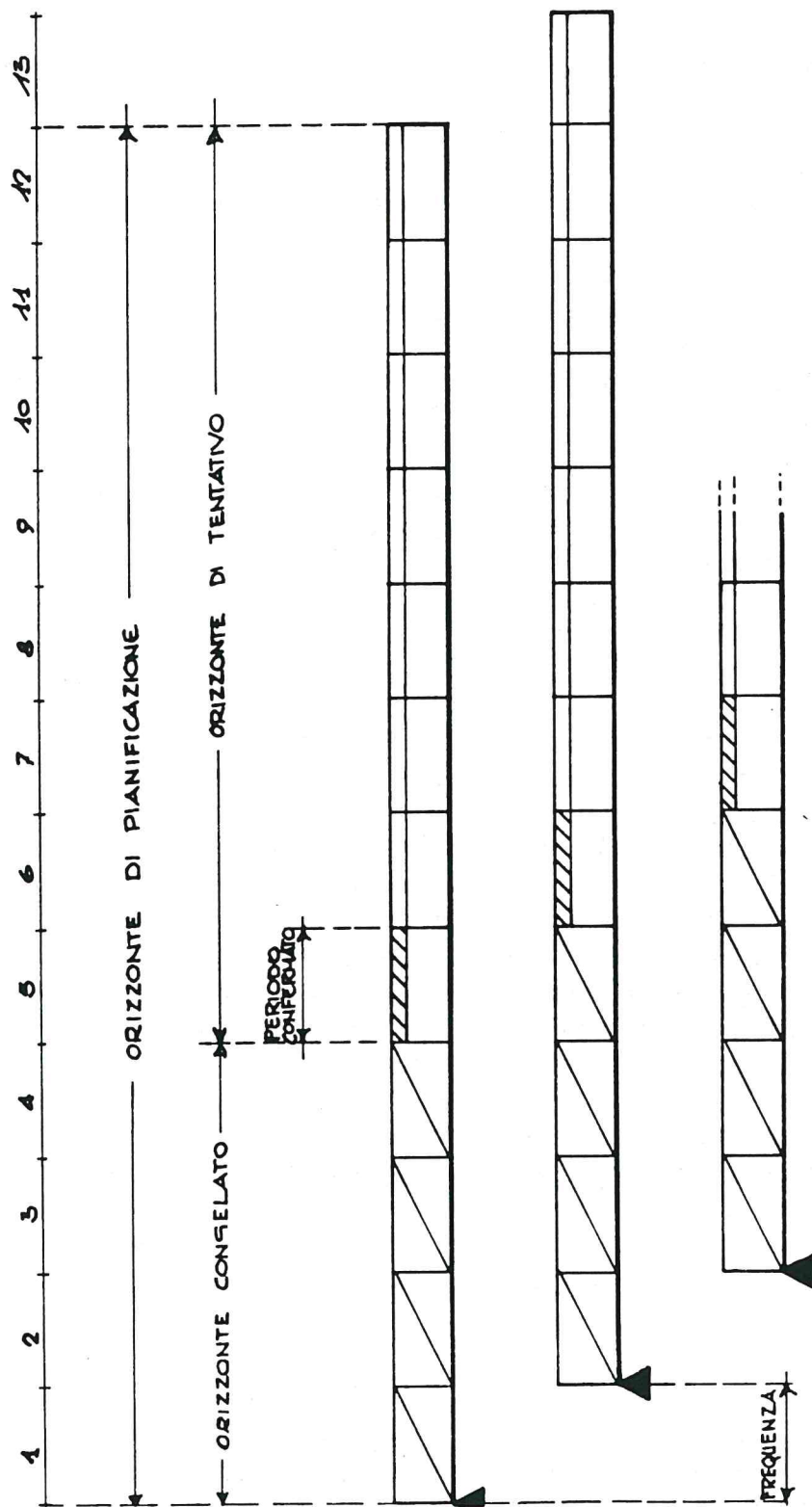


Fig. 6.3. Terminologia adottata nella descrizione delle modalità di pianificazione.

do confermato di 1 mese ed una frequenza di pianificazione mensile. Il corrispondente piano di approvvigionamento dei componenti di acquisto ha il medesimo orizzonte temporale ed il medesimo periodo, ma i minori lead times medi di approvvigionamento (1-8 settimane) consentono in generale una riduzione dell'orizzonte congelato (mediamente un mese) ed un'aumento della frequenza (mediamente due settimane).

- Il piano principale di approvvigionamento delle materie prime caratterizzate da lunghi tempi di consegna (6 mesi), ha un orizzonte di pianificazione di 9 mesi, un periodo confermato ed una frequenza trimestrale. L'orizzonte congelato deve ritenersi pari a 6 mesi, a meno che il fornitore non accetti modifiche degli ordini già ricevuti.
- Il piano di fabbricazione dei componenti che devono essere lavorati sull'FMS ha un orizzonte di pianificazione di 5 settimane, un orizzonte congelato di una settimana, un periodo confermato ed una frequenza di 2 settimane.

Le relazioni temporali fra i tre piani connessi con la gestione dell'FMS, e cioè il piano principale di produzione dei componenti, il piano di schedulazione dell'FMS e il piano finale di assemblaggio, sono riportate in fig. 6.4.

Ad inizio Gennaio, e successivamente con scansione mensile, sulla base delle previsioni annuali di vendita di ciascuna famiglia di prodotti finiti e sulla base di fattori storici di ripartizione della richiesta dei prodotti finiti all'interno della famiglia, si stimano le richieste medie mensili dei codici di prodotti finiti a catalogo. Da questi si calcolano le richieste medie mensili dei componenti di produzione e di acquisto.

Gli errori di stima delle vendite dei codici di prodotti finiti sono ovviamente mitigati dall'elevato livello di modularità: i componenti realizzati per certi codici di prodotto finito potranno essere montati su altri, a patto che i volumi complessivi di vendita vengano rispettati e a patto che gli ordini dei clienti non si discostino pesantemente dalle previsioni.

Le stime delle richieste medie mensili dei componenti, effettuate ad inizio Gennaio, costituiscono la base per la definizione del piano principale di produzione dei componenti per il mese di Marzo. Tramite una procedura MRP vengono calcolati i fabbisogni netti di componenti intermedi e di materie prime e vengono proposti i corrispondenti ordini di produzione e di acquisto.

mes fino a 3 mesi richiedono ovviamente periodi congelati più ampi, comprensivi anche dei tempi di approvvigionamento delle materie prime. Per quanto riguarda l'FMS, il tempo massimo di riapprovvigionamento delle materie prime o dei componenti intermedi è di 2 mesi (vedi fig. 6.2.).

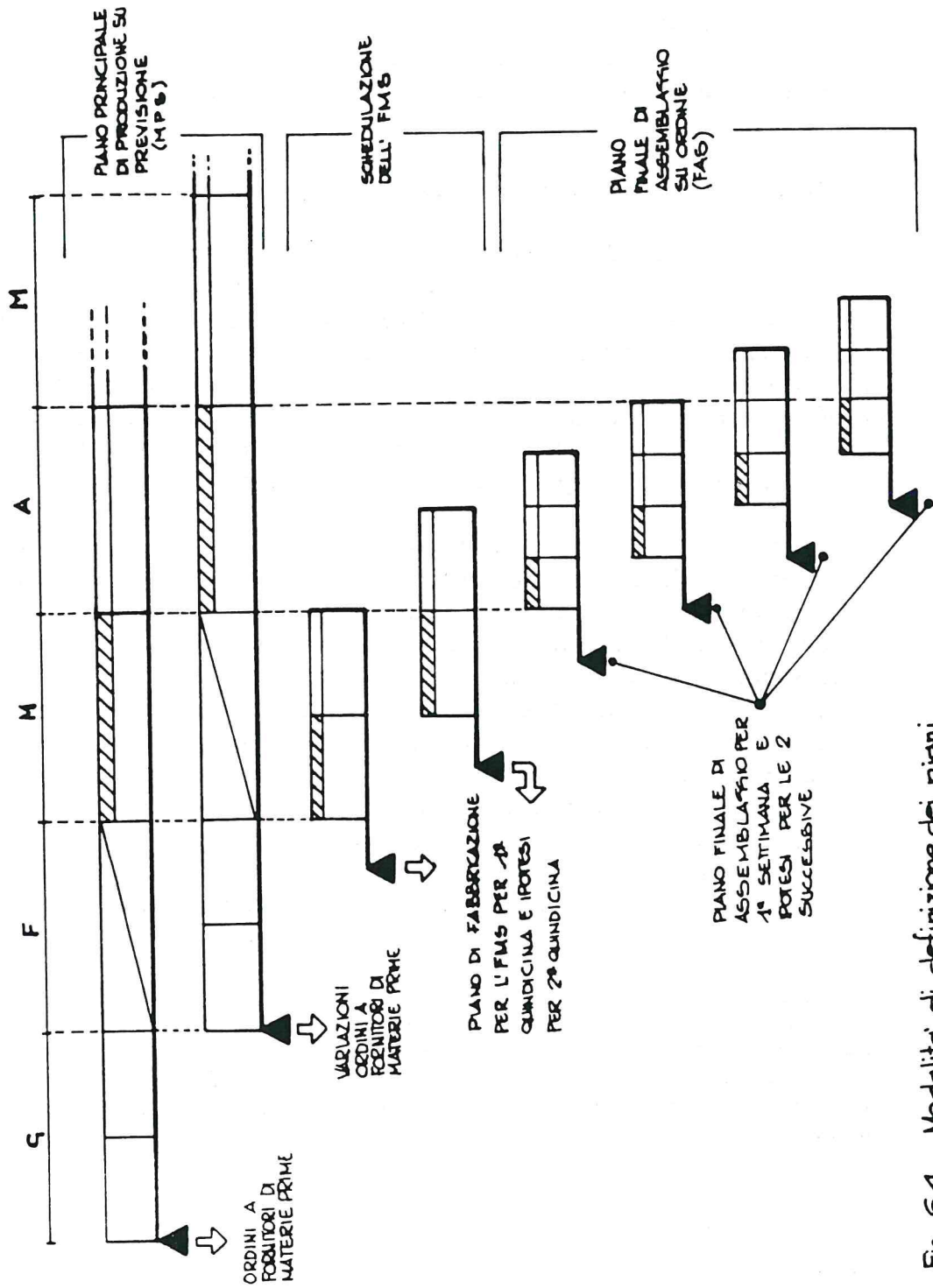


Fig. 6.4 - Modalità di definizione dei piani di produzione alla Robesi Motoriduttori

Ad inizio Febbraio, con riferimento al piano di Marzo e sulla base delle nuove previsioni, vengono eseguite, quando possibile, le variazioni agli ordini già emessi.

All'inizio della quarta settimana di Febbraio viene eseguita la schedulazione dell'FMS per la prima quindicina di Marzo ed un'ipotesi per la seconda. All'inizio della seconda settimana di Marzo viene eseguita la schedulazione dell'FMS per la seconda quindicina di Marzo ed un'ipotesi per la prima di Aprile, e così via.

Sulla base degli ordini dei clienti e sulla disponibilità dei componenti, il piano di montaggio viene definito per le diverse settimane di Aprile secondo le modalità esemplificate in fig. 6.4.

6.2. L'FMS: l'Automated Factory Subsystem (AFS) della Saimp

Il sistema flessibile di produzione in esercizio presso la Rossi Motoriduttori è l'Automated Factory Subsystem (AFS) della Saimp S.p.A. di Padova. Nella logica progettuale della ditta costruttrice l'impianto costituisce una cella o sottosistema appunto, che può essere integrato in sistemi più complessi. Tramite la composizione di più sottosistemi AFS si può automatizzare un intero ciclo produttivo, con grandi vantaggi in termini di produttività, flessibilità e riconvertibilità della linea.

I sottosistemi AFS proposti dalla SAIMP sono riconducibili a tre categorie⁷:

- Sistema AFS ad alta produttività, costituito da 3 stazioni di lavoro a teste multiple per operazioni di foratura, barenatura, maschiatura e alesatura. Tale sottosistema è stato approntato ed installato per la lavorazione di basamenti motore mono e pluricilindri con una produttività media di 20 pezzi/ora.
- Sistema AFS a due stazioni composte. Ognuna delle stazioni è 'composta', cioè è formata da un centro di lavoro e da una unità a teste multiple a cui vengono delegate operazioni di foratura, alesatura e maschiatura per aumentare la produttività del sistema. Questa soluzione, più flessibile rispetto alla precedente, è stata approntata ed installata per la lavorazione di diversi tipi di testate di motori per auto con una produttività di 160 pezzi al giorno in due turni⁸.

⁷ Una descrizione delle tre categorie di sottosistemi si trova in G. ESPOSITO, *Mectra-sys*, Tecnologie Meccaniche, Dicembre 1984.

⁸ L'AFS a due stazioni composte della Saimp è in esercizio presso la Maserati Auto di Modena. Per una descrizione dell'applicazione si veda L. TORRI, *A structured approach to factory automation*, The FMS Magazine, October, 1984.

— Sistema AFS a 4 stazioni. Ogni stazione è un centro di lavoro. Questa soluzione è stata realizzata per la lavorazione di particolari diversi ed è caratterizzata da una grande flessibilità produttiva.

Il sistema flessibile operante presso la Rossi Motoriduttori è l'AFS a 4 stazioni (vedi fig. 6.5.). I centri di lavoro sono unità della linea Mectra (sistema di macchina ad elettronica e meccanica integrate). La linea Mectra è una famiglia di centri di lavoro modulari, componibili in diverse configurazioni progettati specificatamente per applicazioni 'stand alone' e/o per l'inserimento in qualunque cella flessibile o FMS.

I centri Mectra sono a mandrino orizzontale o a mandrino orientabile, in modo continuo, dalla posizione orizzontale a quella verticale per la massima flessibilità. Il magazzino utensili è costituito da un tamburo rotante nel quale sono inseriti 4 racks (ognuno capace di portare 15-20 utensili per un totale di 60-80 utensili a bordo macchina). I racks sono codificati, estraibili ed intercambiabili permettendo una rapida sostituzione dell'utensileria. Essi sono immagazzinati centralmente in un deposito dal quale possono essere estratti e cambiati automaticamente con altri racks contenuti nei tamburi rotanti del magazzino di utensili delle stazioni. Ogni unità Mectra è quindi in grado, in ogni momento e in tempi trascurabili, di ricevere un set di utensili necessari ad eseguire nuove operazioni sui pezzi. Una tale modularità di ricezione di intere sezioni di utensili permette la riconfigurazione praticamente istantanea di una qualsiasi unità operativa della cella.

Le 4 stazioni del sottosistema AFS sono alimentate, tramite un doppio scambiatore di pallet frontale o laterale⁹, da un sistema comune¹⁰ ad anello chiuso (carosello multipallet) che svolge la doppia funzione di sistema di trasporto dei pallet e di magazzino locale di attrezzature¹¹.

Le capacità del multipallet di fig. 6.5. è di 18 pallet. Il dimensionamento della capacità del multipallet è funzione del numero di macchine servite (1, 2, 3, 4 o più) e delle esigenze produttive legate all'ampiezza del mix e alla disponibilità di attrezzature.

Il multipallet è alimentato automaticamente da un transelevatore che collega la stazione di carico/scarico al magazzino di grezzi, finiti ed attrezzature.

In fig. 6.6. è rappresentata una stazione di lavoro dotata di un magaz-

⁹ Lo scambiatore frontale o laterale è in relazione alla disposizione dell'unità rispetto al sistema di trasporto dei pezzi.

¹⁰ Un sistema comune centrale in alternativa a sistemi locali consente prestazioni superiori. Cfr. S.C. SARIN, 1985, *op. cit.*, pg. 3.

¹¹ Interessanti sono le motivazioni progettuali che hanno portato al conferimento della doppia funzione al multipallet. Cfr. L. TORRI, *Sottosistema AFS. Un approccio strutturato alla fabbrica automatica*, 1984, *op. cit.*

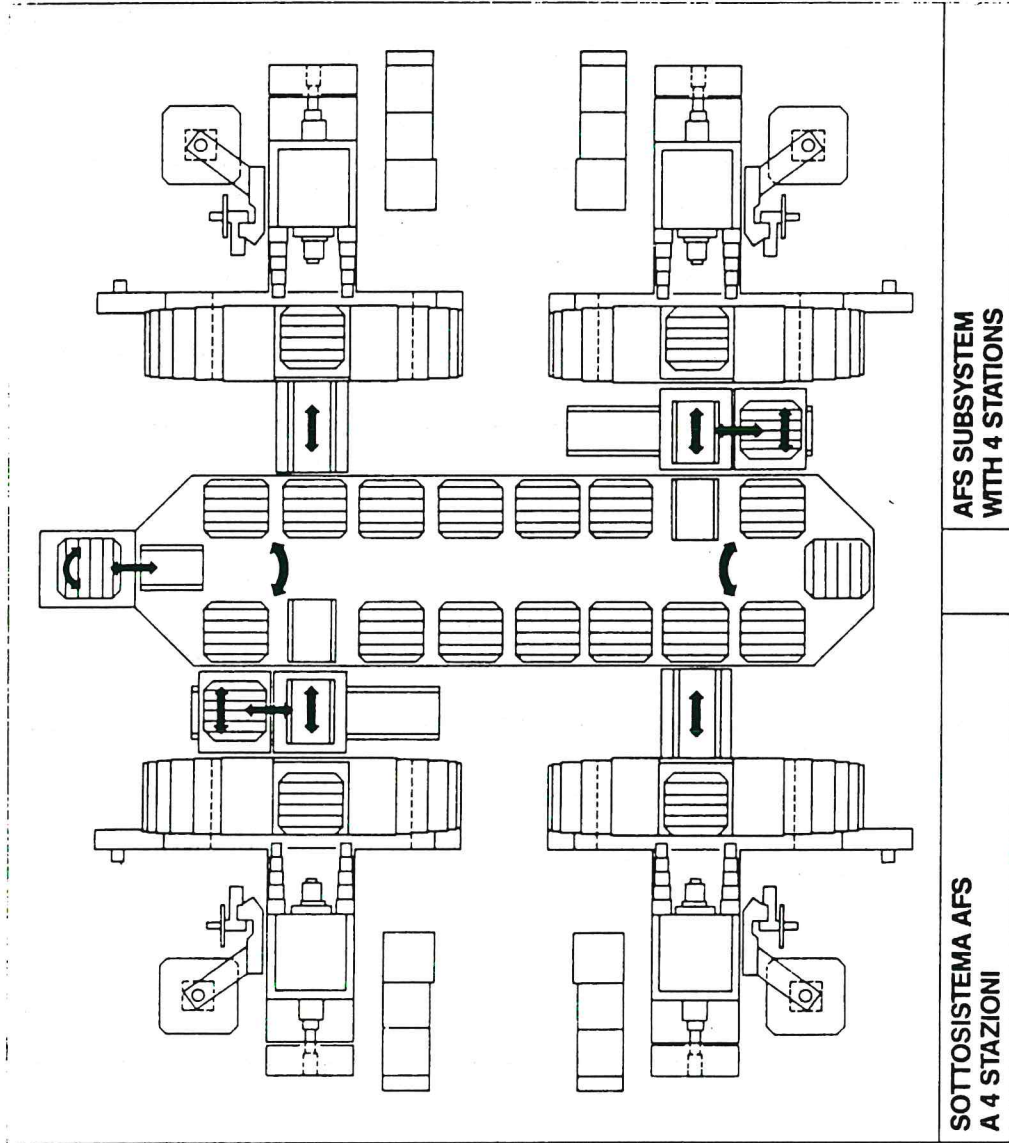


Fig. 6.5- Automated Factory Subsystem (A F S)
 Fonte : Scimp

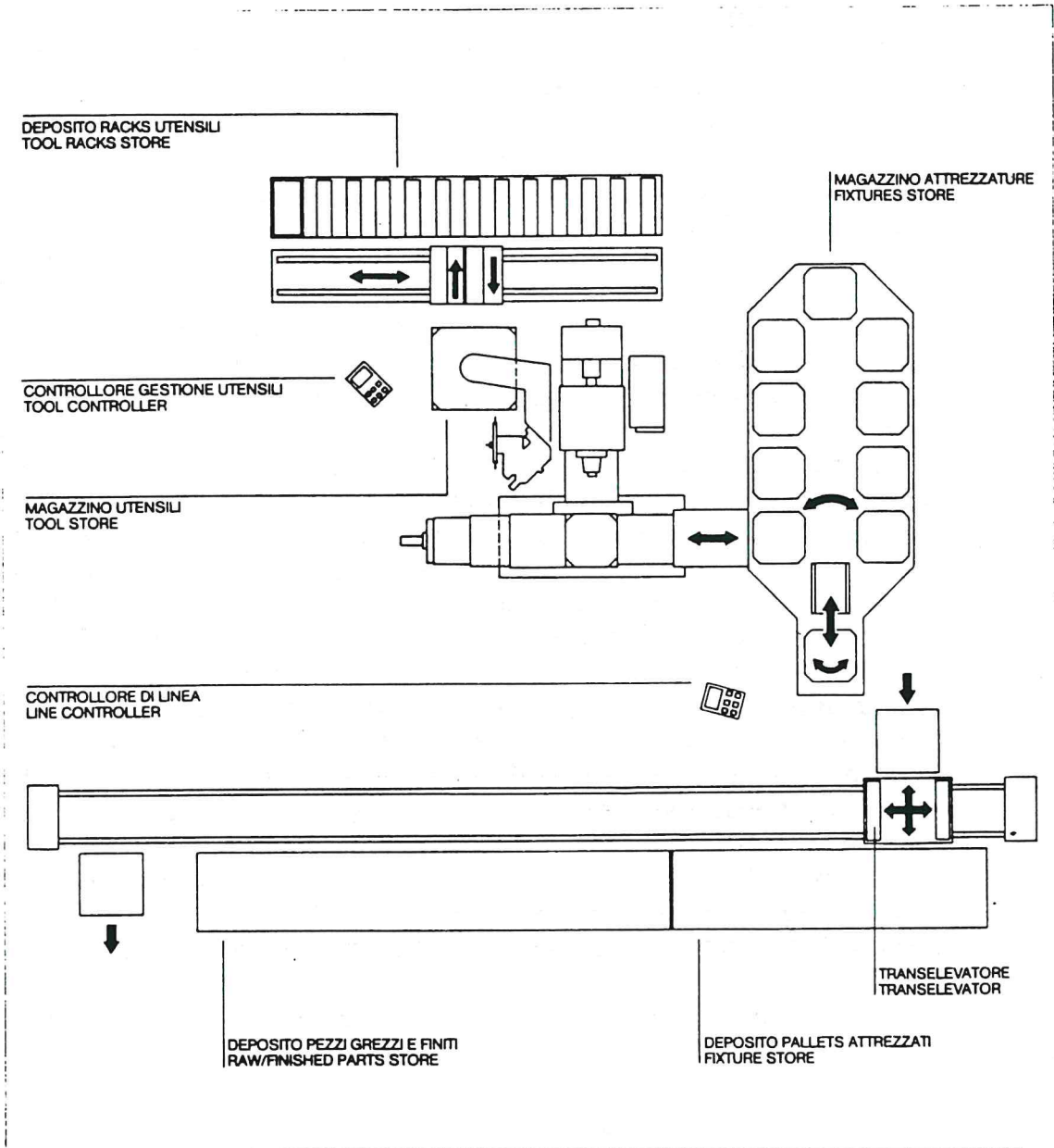


Fig.6.6— Cellula flessibile di base con magazzino utensili e pallet porta-pezzi su giostre locali, con depositi centrali di racks d'utensili, di pezzi e di attrezzature.

Fonte: Saimp

zino utensili collegato al deposito racks utensili ed alimentata da un multipallet che oltre a trasportare i pezzi funge da magazzino locale di attrezzature.

Il multipallet è collegato al magazzino centrale di grezzi, finiti ad attrezzature tramite un transelevatore.

Tale configurazione costituisce una microcella flessibile la cui capacità produttiva può essere aumentata modularmente con l'aggiunta di altre stazioni di lavoro.

Il sistema di controllo dell'impianto è caratterizzato da una architettura aperta che permette il 'dialogo' con il mondo esterno e l'integrazione con il resto della fabbrica.

Se confrontiamo la fig. 6.6. con la fig. 2.11. notiamo come il sottosistema AFS sia stato progettato secondo le logiche di una architettura generalizzata, con il magazzino centralizzato degli utensili, il sistema di trasporto degli utensili, il sistema di trasporto dei pezzi con funzioni anche di magazzino locale di attrezzature, il magazzino centralizzato di grezzi, finiti ed attrezzature.

Il sottosistema AFS realizza pienamente il concetto di flessibilità conferita al sistema e non alla singola stazione di lavoro. Ad ogni istante ciascuna delle 4 stazioni MECTRA può ricevere in carico solo certi pezzi ed eseguire solo alcune fasi della lavorazione¹²; deve considerarsi pertanto 'rigida'. Tali vincoli derivano ovviamente dalla limitata disponibilità delle attrezzature e degli utensili. Conferire a ciascun centro di lavoro la capacità di eseguire tutte le fasi di lavorazione di tutti i pezzi, indipendentemente anche dai particolari lavorati presso le altre stazioni, porterebbe ad investimenti insostenibili in attrezzature ed utensili.

I magazzini centralizzati di attrezzature ed utensili consentono viceversa, con bassi investimenti, di attribuire flessibilità all'intero sistema: l'impianto è in grado di eseguire tutta la gamma delle operazioni richieste; la lavorazione simultanea di un opportuno mix di particolari ne consente la piena saturazione; in caso di guasti e rotture di una qualsiasi stazione, il sistema si riconfigura immediatamente consentendo il funzionamento delle altre stazioni e assicurando il completamento dei cicli di lavorazione dei pezzi. In tal modo il guasto di una stazione si traduce solo in una perdita di capacità produttiva¹³.

¹² Le fasi di lavorazione dei pezzi prismatici possono essere ad esempio 3, cioè tante quanti i piazzamenti necessari per lavorare le 6 facce del cubo.

¹³ Il concetto di flessibilità degli impianti Saimp è strettamente connessa con la 'job flexibility' di BUZACOTT, 1982, *op. cit.* (Cfr. paragrafo 2.2.5.). Gli FMS Saimp realizzano la 'job flexibility' distribuendo la capacità tecnologica sulle varie stazioni, salvo poi ridistribuirle in caso di guasti. Per un approfondimento sul sistema si veda L. TORRI, *Produzione automatica: visione economica della flessibilità*, Machines Production, 22-29 Mai, 1984.

Per quanto riguarda il sistema di controllo, esso è articolato in un sistema di Gestione Integrata degli utensili (GIU) ed in un Controllore di Linea (DNC locale).

Il sistema di Gestione Integrata degli utensili governa il cambio automatico degli utensili sulle macchine ed il cambio automatico dei racks (completi di 15-20 utensili) tra il deposito centrale e i magazzini locali di macchina. Oltre al cambio automatico degli utensili, il sistema GIU ne gestisce vita, rotture, usure, ecc.

Il Controllore di Linea:

- governa il multipallet per l'invio dei pezzi pallettizzati alle stazioni di lavoro;
- controlla gli scambiatori di pallet;
- agisce da supervisore dello stato diagnostico del sistema;
- gestisce le code in prossimità delle macchine in funzione di una schedulazione di produzione che tiene conto delle disponibilità dei pezzi e delle diverse priorità attribuite.

La schedulazione della produzione realizzata dal DNC avviene su basi interattive. L'operatore comunica i dati della produzione da fare alla consolle di sistema. La sequenza delle lavorazioni sulle macchine per saturare il sistema è decisa sulla base di algoritmi ottimizzanti¹⁴. Il sistema provvede a suggerire il carico/scarico dei pezzi richiedendo pezzi alternativi qualora i pezzi richiesti non siano disponibili. Durante la lavorazione appare sul video la situazione in atto dell'impianto, gli eventuali messaggi, la produzione eseguita pezzo per pezzo, ecc.

In generale, le funzioni relative alla gestione del sistema svolte dal Controllore di Linea del sottosistema AFS sono¹⁵:

- distribuzione automatica alle macchine dei pezzi da lavorare;
- riduzione al minimo dei tempi di attesa;
- bilanciamento della produzione mediante guida alle operazioni di scarico e carico;
- monitoraggio dello stato di avanzamento della produzione e di altri aspetti riguardanti la qualità della produzione, come ad esempio preallarmi o allarmi per fuori tolleranza;
- adattabilità rapida a produzioni diverse mediante riaggiornamento dei dati di produzione tramite nuova introduzione di dati alla tastiera della consolle; questo aspetto è strettamente legato alle possibilità offerte dal magazzino utensili rispetto alle produzioni da fare;

¹⁴ Tra questi viene utilizzato l'algoritmo di Johnson. Una sua descrizione si trova in A. BRANDOLESE, *La programmazione della produzione nei sistemi flessibili di lavorazione*, 1982, op. cit..

¹⁵ Saimp, *Controllo di linea per FMS*, Documentazione interna, Novembre 1983.

— monitorizzazione della situazione dell'impianto con indicazione immediata delle eventuali disfunzioni e localizzazione delle stesse;

Possibilità di soluzioni alternative, prestudiate, nella distribuzione dei lavori alle macchine, possono essere previste in caso di fuori servizio di una macchina della linea, allo scopo di intervenire con rapidità per non penalizzare il bilanciamento della produzione.

6.3. Il sistema informatico di gestione della produzione: CONTROL: Manufacturing della Cincom Systems

Il sistema informatico utilizzato per simulare e verificare l'approccio proposto per la gestione della produzione dell'FMS Saimp, presso la Rossi Motoriduttori, è il CONTROL: Manufacturing (C:M) della Cincom Systems di Cincinnati Ohio (USA)¹⁶. Il package C:M possiede tutte le caratteristiche importanti ai fini gestionali che abbiamo descritto nel precedente paragrafo 3.5. sugli MPCs¹⁷: è un sistema MRP II, 'bucketless', operante in modalità sia 'regenerative' che 'net-change', capace di realizzare il 'multilevel pegging' e gestire gli ordini confermati.

È un sistema modulare inserito in una architettura software avanzata che prevede l'utilizzo di un data base relazionale, di un 'query language' e di un linguaggio della quarta generazione.

L'architettura proposta dalla Cincom Systems è rappresentata in fig. 6.7. I dati sono immagazzinati in files standard, in altri data base e nel data base del package. Il 'physical data base manager' svolge funzioni di interfaccia con le 'primitive', ovvero con le applicazioni standard del package e con il data base relazionale. Quest'ultimo è la base su cui operano il 'query language' ed il linguaggio della quarta generazione per supportare le applicazioni dell'utente. Gli utenti possono utilizzare, a livello applicativo, le interfacce standard del package, oppure possono utilizzare le primitive del package per costruire nuove transazioni, più vicine alle loro esigenze, senza dover modificare i programmi.

È interessante notare come le primitive del package operino direttamente sul 'physical data manager' per la maggiore velocità di accesso ai

¹⁶ Tale prodotto è commercializzato in Italia dalla Formula di Torino. La Formula distribuisce, in esclusiva sul territorio nazionale, tutti i prodotti della Cincom Systems. Il package C:M è installato presso il VAX 8600 dell'Università di Padova ed è utilizzato per scopi didattici e di ricerca. Il medesimo package è anche installato presso l'Università del Maryland (USA).

¹⁷ Il package C:M è citato, insieme ad altri sette prodotti, in un recente articolo sui migliori packages di gestione della produzione a livello mondiale. Cfr. T. McCusker, *In search of CIM*, *Datamation*, January, 1987.

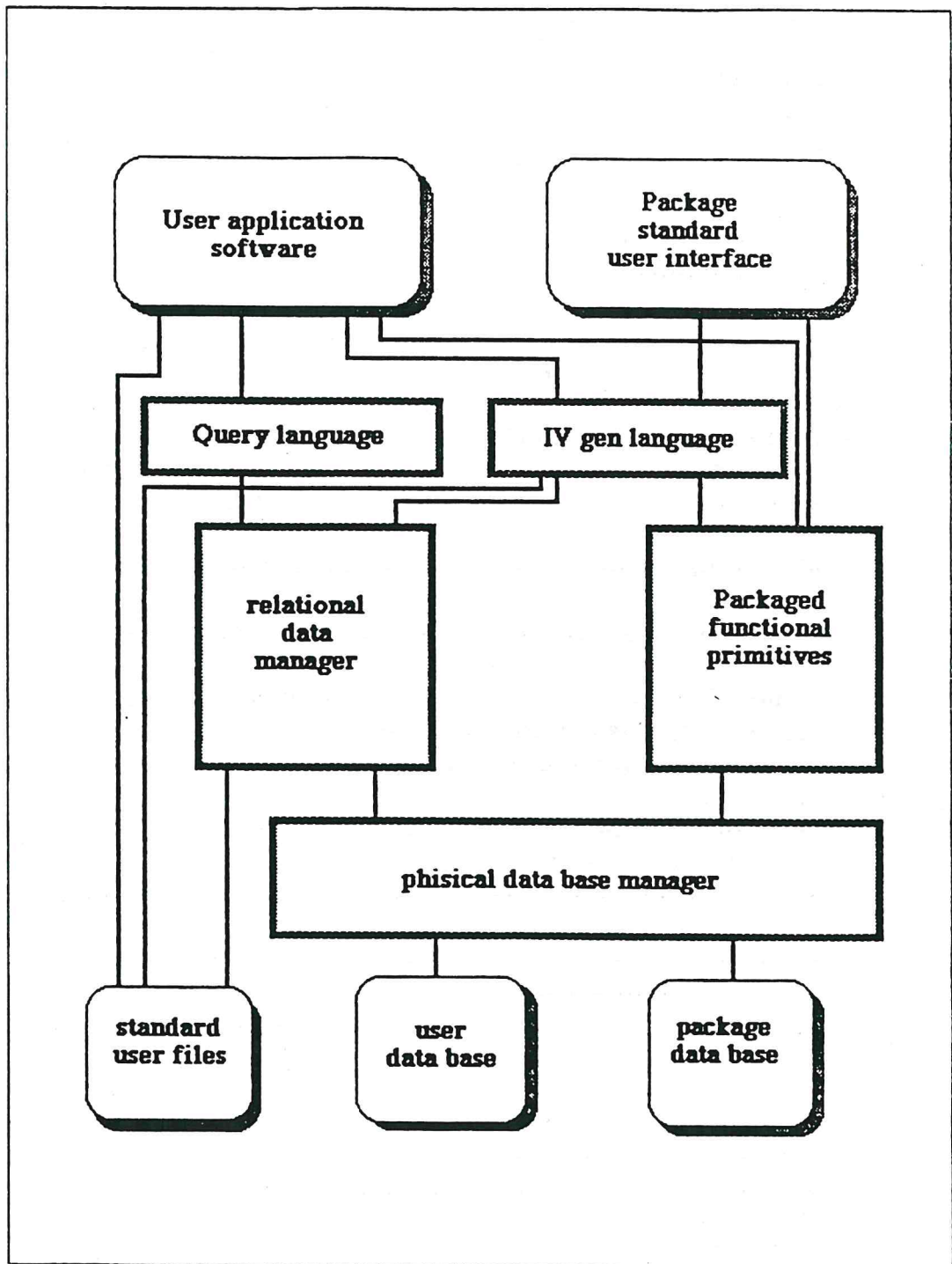


Fig. 6.7 - Architettura software della Cincom Systems

Fonte : Formula

dati che quest'ultimo consente. Viceversa il 'relational data manager' supporta lo sviluppo delle applicazioni e le interrogazioni dell'utente, per le quali la variabile critica non è la velocità di accesso, ma l'organizzazione e la gestione dei dati.

In fig. 6.8. sono rappresentati i prodotti proposti dalla Cincom Systems:

— il data base relazionale denominato Supra od Ultra a seconda dell'hardware in cui è installato (rispettivamente IBM e DEC¹⁸).

— Il 'query language' Spectra;

— il linguaggio di sviluppo della IV generazione Mantis.

L'articolazione in moduli del prodotto è riportata in fig. 6.9.¹⁹:

— Il data base contiene tutti i dati relativi ai prodotti, alle distinte base, ai cicli di produzione e ai centri di lavoro²⁰.

— Il modulo Material Control (MAT) supporta la gestione dei magazzini.

— Il modulo Master Production Schedule (MPS) supporta il processo di definizione del piano principale di produzione. Tale modulo è articolato in tre sottomoduli che realizzano rispettivamente:

● la previsione delle vendite (Forecast Control);

● la formulazione del piano di produzione (Master Schedule Planning);

● la pianificazione del fabbisogno delle risorse (Resource Requirements Planning – RRP).

— Il modulo Material Requirements Planning (MRP) realizza la pianificazione dei fabbisogni dei materiali.

— Il modulo Shop Floor Control (SFC) è articolato in tre sottomoduli che supportano:

● la pianificazione della capacità produttiva (Capacity Requirements Planning – CRP);

● il controllo dell'avanzamento tra centri di lavoro (Shop Floor Scheduling);

● il controllo dei tempi di attraversamento del sistema produttivo e dei tempi di attesa in coda presso i centri produttivi (Input/Output Control). Tale sottomodulo consente un confronto standard/con-

¹⁸ Tutti i prodotti della Cincom Systems operano indistintamente in hardware IBM e DEC. Per quanto riguarda il package C:M esistono attualmente implementazioni industriali nelle quali alcuni moduli operano nel mainframe centrale IBM ed altri nel DEC dipartimentale.

¹⁹ Ogni modulo è articolato in ulteriori sottomoduli che svolgono specifiche funzioni secondo quanto rappresentato in fig. 3.11. Qui verranno menzionati solamente alcuni sottomoduli parte dei quali sono stati utilizzati nella simulazione di studio.

²⁰ Tali funzioni sono svolte tramite un modulo base o 'foundation module' detto anche 'Bill of Material and Routings'.

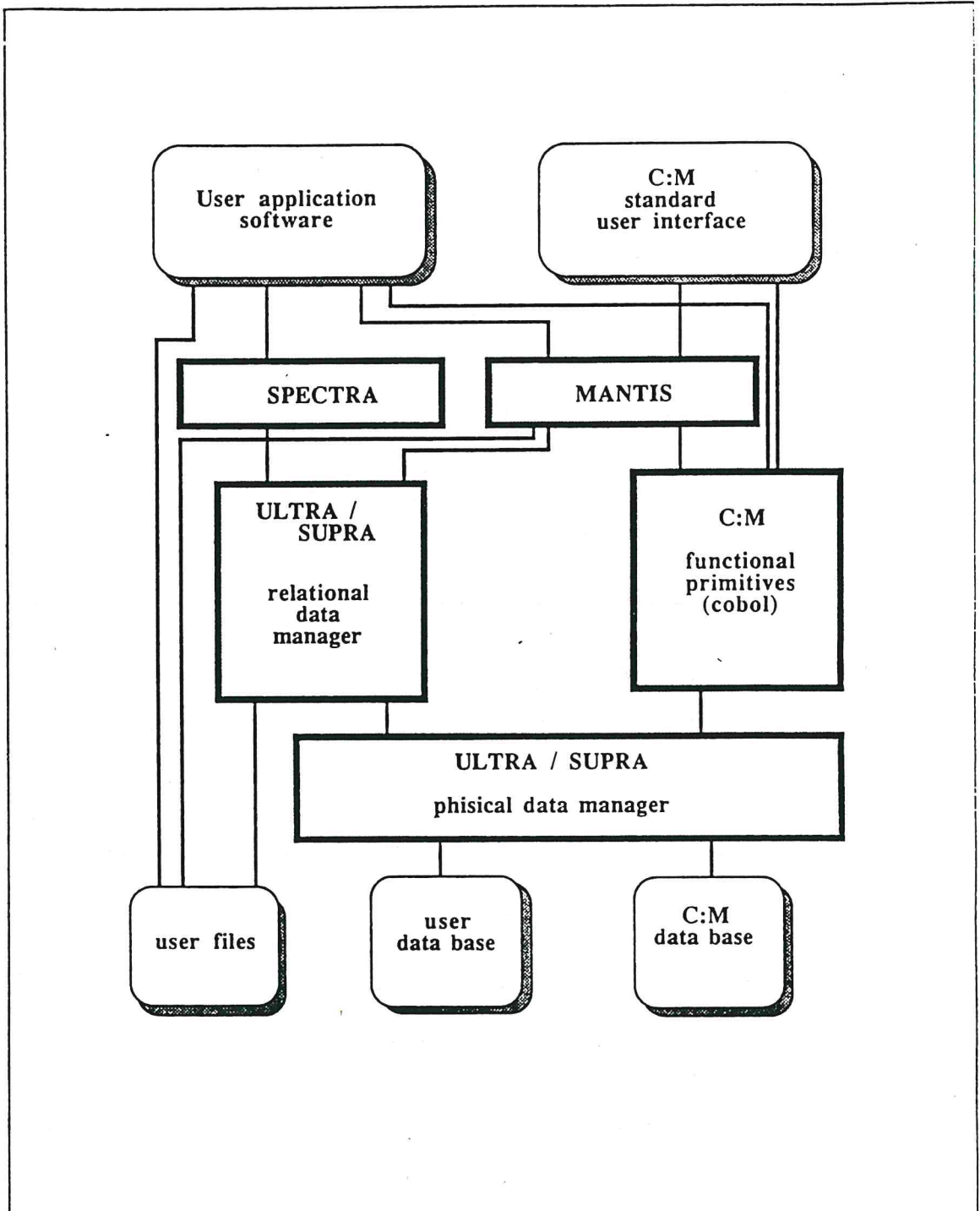


Fig. 6.8 - Prodotti software della Cincom Systems
 Fonte : Formula

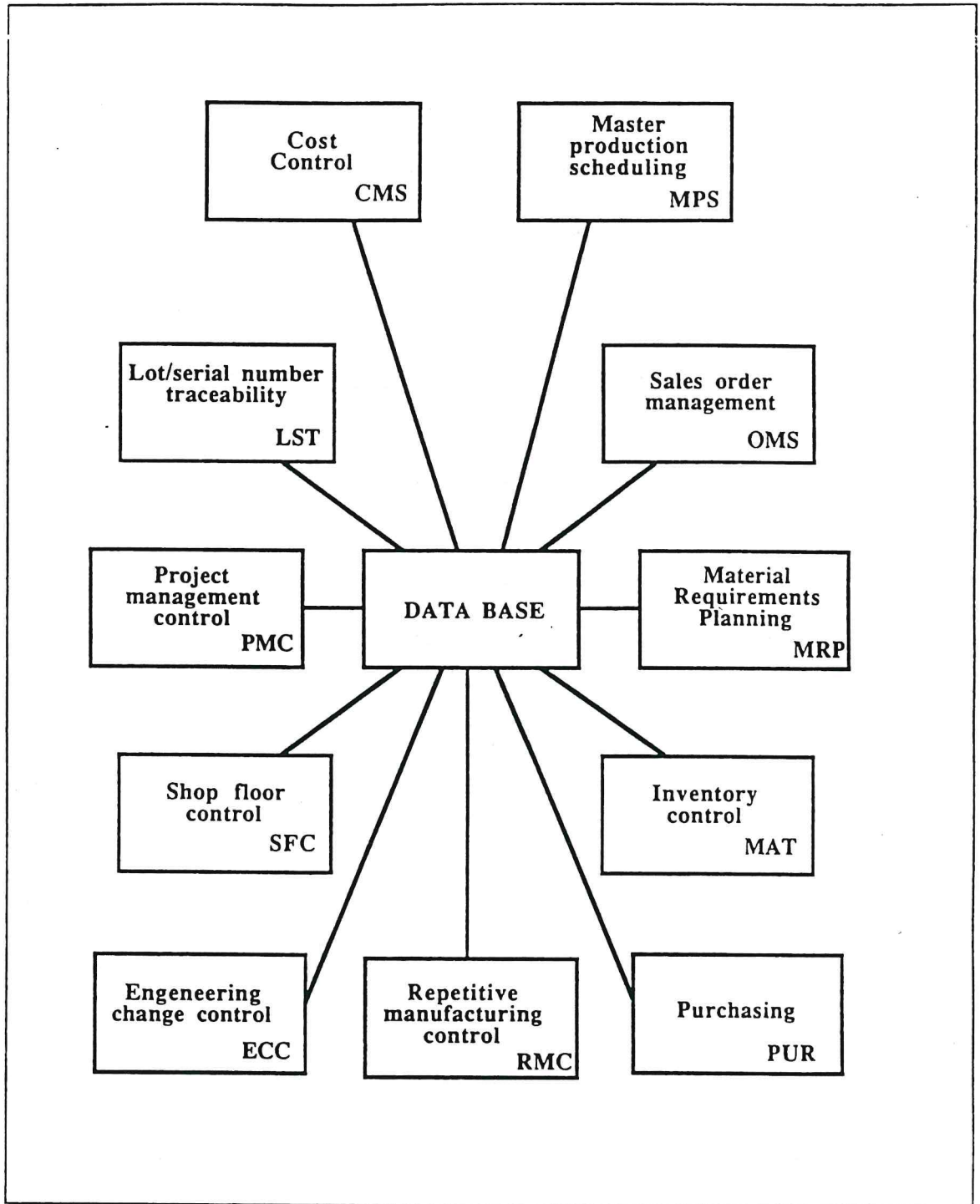


Fig. 6.9_ Moduli del prodotto CONTROL: Manufacturing della Cincom Systems

Fonte: Formula

suntivo dei valori dei lead times di codice e dei tempi standard di attesa presso i centri produttivi (residenti tutti come dati standard nel sistema). Il confronto suggerisce opportune revisioni al fine di una maggiore aderenza dei dati standard a quelli effettivi.

- Il modulo Purchasing (PUR) supporta tutta la gestione acquisti.
- Il modulo Cost Management System (CMS) gestisce tutta la problematica dei costi industriali.
- Il modulo Order Management System (OMS) consente l'acquisizione e la gestione degli ordini clienti.
- Il modulo Engineering Change Control (ECC) supporta tutto il processo che, in ambienti industriali complessi, porta alla definizione o alla modifica delle distinte base. Tale modulo permette di integrare, da un punto di vista informatico, le funzioni aziendali di progettazione, industrializzazione e produzione.
- Il modulo Project Management Control (PMC) supporta tutte le attività delle aziende che lavorano su commessa.
- Il modulo Repetitive Manufacturing Control (RMC) supporta il controllo di fabbrica in ambienti produttivi di tipo ripetitivo.
- Il modulo Lot/Serial Number Traceability²¹ consente di individuare il lotto di appartenenza o il numero di matricola di ogni singolo componente o materia prima del prodotto finito. Tale modulo è utilizzato in aziende dove è critica la conoscenza di tali informazioni (industrie aeronautiche, farmaceutiche, ecc.).

Per quanto riguarda la gestione degli ordini confermati²² gli intervalli temporali (o fences) che devono essere definiti per ciascun codice sono 3²³: Lead Time (LT), Ready for Release Fence (RRF) e Firm Planned Fence (FPF).

Il Lead Time (LT) è il tempo che intercorre tra l'emissione di un ordine di produzione o di acquisto ed il versamento a magazzino della merce.

La Ready for Release Fence (RRF) è un intervallo di tempo maggiore del Lead Time. La differenza tra i due è il tempo necessario per rendere esecutivo un ordine: attività tipiche sono la preparazione e la distribuzione della documentazione di lavoro, il prelievo, il raggruppamento e l'invio di materiali ai centri di lavoro. In genere questa differenza è standard, sebbene sia diversa tra materiali di acquisto e di produzione. La procedura MRP opera con le 'Ready for Release Fences', per cui la differenza ri-

²¹ Letteralmente 'Lot/Serial Number Traceability' significa 'capacità di tenere traccia del numero di lotto o di matricola'.

²² I vantaggi derivanti dalla gestione degli ordini confermati sono stati descritti nel paragrafo 3.5. sugli MPCS.

²³ CONTROL: *Manufacturing, User Implementation Guide*, Cincom Systems, November, 1984.

spetto al Lead Time è normalmente minima (da alcuni giorni fino ad una settimana), pena un maggior livello di scorte.

La 'Firm Planned Fence' è il lead time cumulato di produzione (compreso il tempo di consegna delle materie prime)²⁴. Essa individua la data oltre cui gli ordini emessi non possono essere modificati automaticamente dalla procedura di MRP. Per le materie prime e componenti di acquisto la FPF coincide con la RRF.

In fig. 6.10. sono riportate le relazioni tra gli intervalli temporali descritti.

La definizione per ciascun codice degli intervalli LT, RRF e FPT consente al package C:M di realizzare la gestione degli ordini confermati.

Il sistema definisce e riconosce i seguenti stati durante la vita di un ordine di produzione e i corrispondenti fabbisogni di materie prime, componenti di acquisto, o di produzione²⁵ (vedi fig. 6.11.):

<i>Ordine</i>		<i>Fabbisogno</i>
PL	Planned	PL
FP	Firm Planned	FP
RR	Ready for Release/Allocated	AL
W1	Overdue for Open/Overdue for Issue	AL Exception R01
OP	Open	OP
	Partially Issued	SH
	Fully Issued	IS
W2	Overdue for Close	
	Close	CL

La progressione dallo stato planned (PL) fino a quello W1 o AL Exception R01, per ordini e fabbisogni rispettivamente, è eseguita automaticamente dal sistema man mano che la data di consegna dell'ordine si avvicina. Gli altri stati sono raggiunti solo con l'intervento diretto degli addetti alla programmazione.

Quando un ordine viene generato dalla procedura MRP il suo stato è 'planned' (pianificato) come pure 'planned' è lo stato dei fabbisogni associati. Lo stato 'planned' rimane tale fino a quando non viene raggiunta la 'planned firm date', (data di conferma) oltrepassata la quale lo stato sia dell'ordine che del fabbisogno diventa 'firm planned' (confermato). Il riconoscimento di questa data e il passaggio di stato avvengono automaticamente poiché il sistema conosce sia la 'Firm Planned Fence', che la data pianificata di consegna dell'ordine. Quando, avanzando nel tempo, si raggiunge la 'planned release date' (data pianificata di rilascio), gli stati

²⁴ Cfr. J. ORLICKY, 1985, *op. cit.*, pg. 58 e 164.

²⁵ CONTROL: *Manufacturing, A sistem overview*, Cincom Systems, 1983.

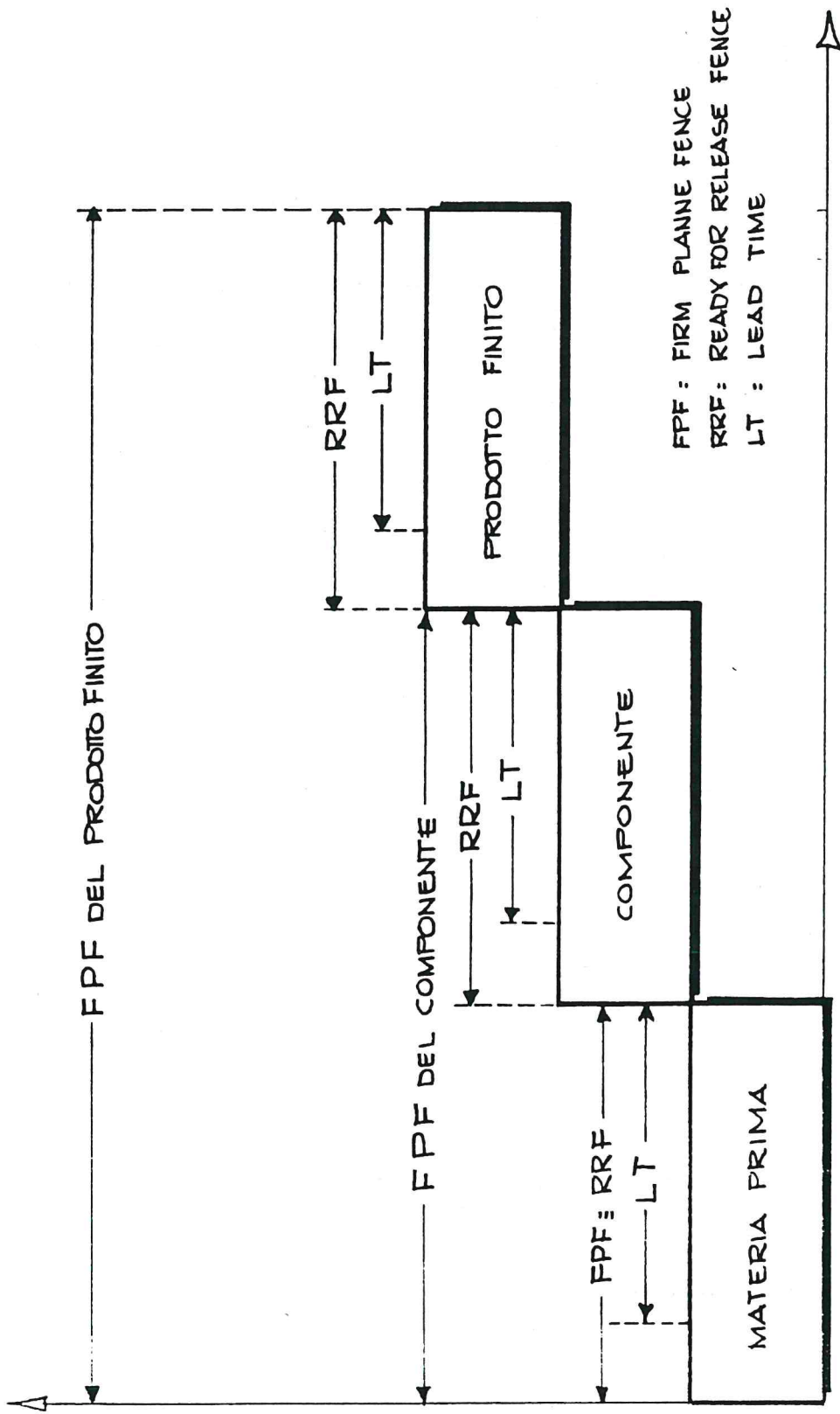


Fig. 6.10 - Intervalli temporali

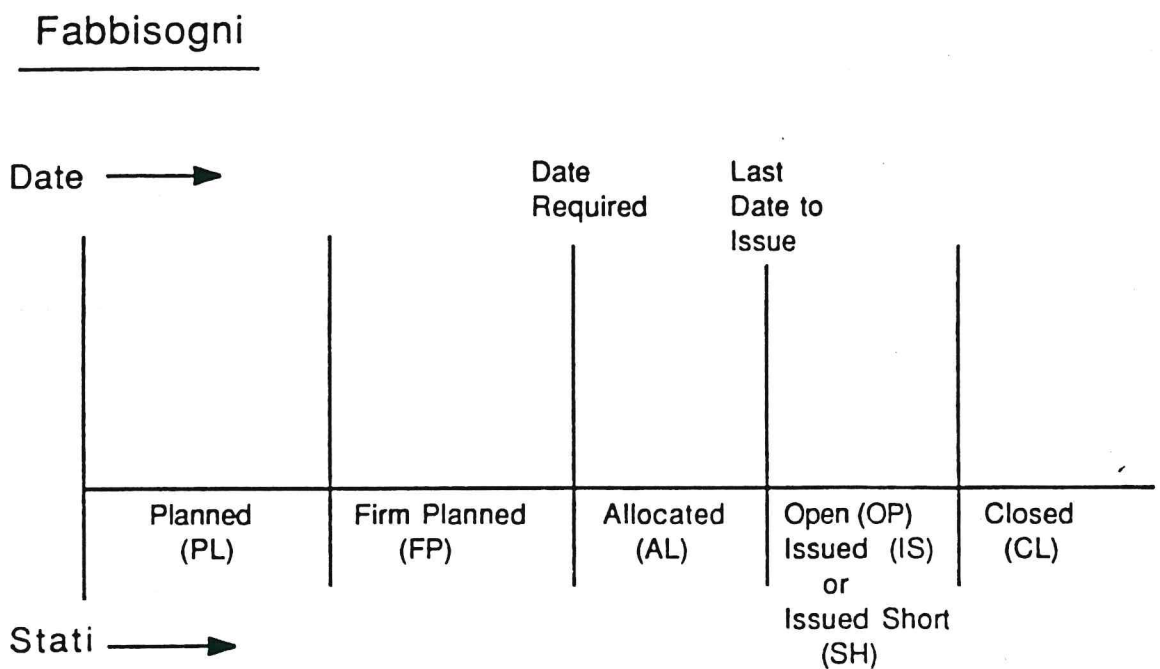
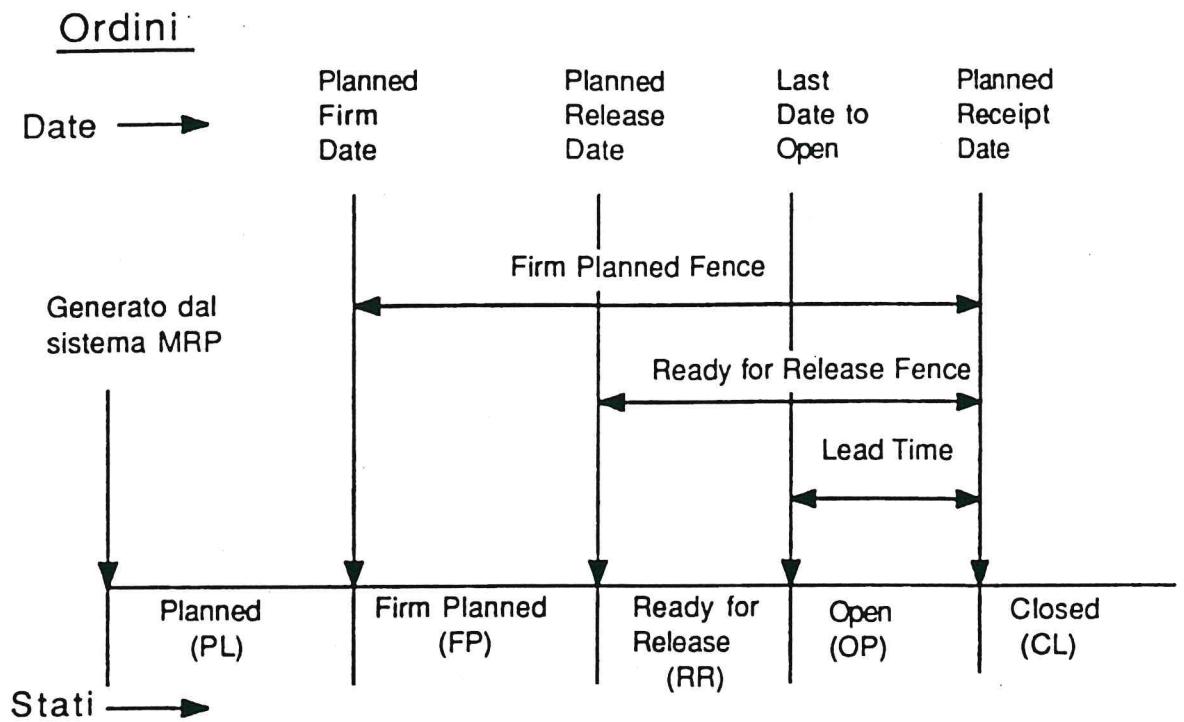


Fig. 6.11 - Stati degli ordini e dei fabbisogni

Fonte: Cincom Systems, 1983, op. cit.

cambiano ancora automaticamente: l'ordine assume lo stato 'ready for release' (pronto per il rilascio), mentre i fabbisogni assumono lo stato 'allocated' (allocato), il che significa che la quantità presente in magazzino viene impegnata per quell'ordine. Per i fabbisogni la data corrispondente alla 'planned release date' è la 'date required' (data richiesta).

Da questo momento in poi il cambiamento dello stato, sia degli ordini che dei fabbisogni, avviene in funzione o dell'intervento diretto degli addetti alla programmazione o in funzione del loro mancato intervento, entro determinate date, per generare eccezioni.

La 'last date to open' è l'ultima data utile per aprire l'ordine, cioè deciderne la effettiva esecuzione. Se la 'last date to open' viene superata senza che l'ordine venga aperto, lo stato dell'ordine diventa W1²⁶ e viene generato un messaggio di eccezione per segnalare il problema al personale addetto alla programmazione chiamato a decidere in merito.

Corrispondentemente, essendo stata superata la 'last date to issue', cioè l'ultima data utile per prelevare il materiale impegnato per l'ordine, e poiché non è stato effettuato alcun prelievo, viene generato un messaggio di eccezione RO1²⁷ per i fabbisogni.

Quando si è alla 'last date to open' per poter aprire l'ordine e trasformare il suo stato in 'open' è necessario che i corrispondenti fabbisogni siano già stati 'aperti' modificando il loro stato in 'open'.

Alla effettiva esecuzione del prelievo lo stato dei fabbisogni diventa alternativamente 'Fully Issued (IS)' o 'Short Issued (SH)', a seconda che il prelievo sia avvenuto nelle quantità previste o in quantità inferiori.

L'ordine rimane nello stato 'open' fintantoché l'addetto alla programmazione non lo chiude, portandolo allo stato 'closed'. Con tale azione viene simultaneamente portato in stato 'closed' il fabbisogno corrispondente.

Qualora la chiusura dell'ordine non venga eseguita entro la 'planned receipt date', cioè la data pianificata di consegna dell'ordine, lo stato dell'ordine viene posto in W2²⁸ e viene generato un corrispondente messaggio di eccezione.

La gestione degli ordini confermati, realizzata tramite gli intervalli di tempo e gli stati di ordine e fabbisogno sopra descritti, assicura una corretta gestione operativa della produzione.

Gli ordini 'planned' vengono generati, modificati e cancellati automaticamente dalla procedura di MRP per far fronte alle modifiche intro-

²⁶ W1 è una sigla che sta per Warning 1 (avviso relativo agli ordini di tipo 1). Significa che si è in ritardo per aprire l'ordine.

²⁷ RO1 è una sigla che sta per: Requirement, eccezione del tipo 1.

²⁸ W2 è una sigla che sta per Warning 2 (avviso relativo agli ordini di tipo 2). Significa che si è già superata la data di consegna dell'ordine entro cui l'ordine doveva essere chiuso.

dutte nel piano di produzione all'interno dell'intervallo che in fig. 6.3. abbiamo indicato come orizzonte di tentativo.

Gli ordini 'firm planned' sono ordini confermati che si trovano all'interno dell'orizzonte congelato di fig. 6.3.²⁹. In un qualsiasi istante del periodo congelato a fronte di un qualsiasi ordine confermato (ad esempio dal prodotto finito di fig. 6.10.) sono già stati emessi ordini di acquisto delle materie prime o ordini di produzione dei componenti.

È pertanto corretto, da un punto di vista gestionale, che il sistema non modifichi in modo automatico gli ordini confermati e richieda invece una decisione dei responsabili della programmazione affinché valutino, in un contesto generale, le possibili conseguenze della modifica.

6.4. Vincoli di programmazione e criteri di gestione dell'FMS Saimp alla Rossi Motoriduttori.

Dopo aver brevemente descritto le caratteristiche principali dell'azienda, del sistema flessibile di produzione, e del sistema informatico di gestione della produzione su cui è stato sviluppato il case-study, focalizziamo adesso l'attenzione sulla natura dei vincoli per la programmazione dell'FMS Saimp alla Rossi Motoriduttori e sui criteri di gestione dell'impianto seguiti dai responsabili della logistica della azienda.

Configurazione del sottosistema AFS Saimp alla Rossi Motoriduttori

Il sottosistema AFS installato presso la Rossi Motoriduttori è costituito da tre centri di lavoro del tipo Mectra a mandrino orizzontale, collegati da un multipallet capace di 16 pallet³⁰.

Il deposito centralizzato di racks degli utensili ed il magazzino centralizzato di grezzi, finiti ed attrezzature, indicati in fig. 6.6. non sono stati installati per i seguenti motivi:

- il deposito racks centralizzato non è, almeno per il momento, indispensabile perché presso ogni centro di lavoro si trovano tutti gli utensili necessari per la lavorazione di tutti i particolari prodotti sull'FMS;
- l'adozione del magazzino centralizzato di grezzi, utensili ed attrezzature pone problemi per il tipo di movimentazione interna che avviene

²⁹ In linea generale l'orizzonte congelato è pari alla 'firm planned fence' dei prodotti finiti. Cfr. fig. 6.3. e fig. 6.10.

³⁰ Secondo le definizioni date nel paragrafo 2.2.1. l'AFS della Rossi Motoriduttori, essendo costituito da tre stazioni di lavoro, deve considerarsi una cella flessibile.

tramite carrelli che contengono i pezzi componenti il lotto e che si muovono all'interno dell'intera fabbrica.

L'alimentazione alla stazione di carico/scarico è effettuata da una coppia di operatori che prelevano, con l'ausilio di un carroponete, i pezzi dai carrelli che si trovano a piè di linea e li fissano sulle attrezzature che sono o nello stesso multipallet solidali ad un pallet senza pezzo, o in un deposito locale di attrezzature, fisicamente a lato dell'impianto. Una volta fissato il pezzo sul pallet tramite l'attrezzatura, gli operatori comunicano alla consolle la disponibilità del pezzo per l'esecuzione delle operazioni. Gli operatori seguono a video tutta la produzione che il Controllore di Linea governa su basi largamente interattive come descritto nel paragrafo 6.2.

Poiché gli operatori lavorano su tre turni di 7 ore ciascuno, la capacità produttiva del sistema flessibile è:

Capacità Produttiva = 3 turni/giorno × 7 ore/turno × 3 centri = 63 ore/giorno.

Dati relativi al mix di produzione

Il numero complessivo dei particolari lavorati sull'FMS è 50. Essi appartengono a quattro famiglie di componenti: tre di carcasse ed una di coperchi. Più precisamente sono lavorati coperchi e carcasse dei riduttori e motoriduttori a vite (rispettivamente 20 e 2 particolari), carcasse di riduttori e motoriduttori coassiali (7 particolari) e carcasse di motoriduttori ad assi paralleli (21 particolari).

I tipi di lavorazione svolte sono fresature, forature, maschiature e alesature. I tempi di lavorazione sono compresi tra i 3 e i 70 minuti per pezzo. La dimensione dei lotti di produzione varia tra i 5 ed i 1000 pezzi.

Ogni particolare una volta entrato in una stazione di lavoro viene lavorato completamente, almeno per quella parte del ciclo che si è stabilito essere eseguita sull'FMS. In linea generale, essendo le medesime operazioni realizzate anche nel job-shop, si è scelto di eseguire sull'FMS le lavorazioni di alta qualità.

In certi casi quindi, a seconda del livello di qualità richiesto delle operazioni, il grezzo subisce una parziale lavorazione nel job-shop e completa il ciclo sull'FMS, mentre in altri casi il grezzo viene lavorato completamente sull'FMS (vedi fig. 6.2.).

Obiettivi di gestione

Gli obiettivi che i responsabili della logistica considerano prioritari nella gestione dell'FMS sono nell'ordine:

- soddisfare le richieste dei componenti da parte del montaggio;
- saturare la capacità produttiva dell'impianto;
- mantenere il livello di scorte di sicurezza dei componenti di produzione nel magazzino di valle;
- rispettare i piani quindicinali di fabbricazione dell'FMS.

Il rispetto del piano di produzione è considerato all'ultimo posto nella scala delle priorità degli obiettivi di gestione.

Le richieste del montaggio o la diminuzione delle scorte di sicurezza del magazzino di valle sono infatti funzioni delle effettive richieste da parte dei clienti, mentre i piani di produzione sono svolti su previsioni delle vendite.

Vincoli di gestione

L'AFS Saimp, con riferimento alle categorie introdotte in fig. 5.4., è un FMS non in linea con centri di lavoro che produce un mix ampio di particolari. In fig. 5.4. abbiamo indicato nel limitato numero di attrezzature ed utensili e nel sistema di trasporto degli utensili la natura prevalente dei vincoli di gestione per tali categorie di sistemi flessibili.

Per quanto riguarda l'AFS Saimp installato presso la Rossi Motoriduttori gli unici vincoli per la gestione dell'impianto sono costituiti dalla limitata disponibilità di attrezzature.

La limitazione nel numero di attrezzature è legata agli elevati investimenti che sarebbero necessari per conferire al sistema il grado di flessibilità massimo, inteso come la possibilità di lavorare simultaneamente particolari dello stesso tipo. Tali concetti sono stati rappresentati graficamente in fig. 5.3.

La scelta effettuata presso la Rossi Motoriduttori è stata quella di spingere al massimo l'adozione di attrezzature il più possibile modulari, in grado cioè di pallettizzare il maggior numero possibile di particolari diversi (vedi fig. 6.12.).

Ciò infatti consente di abbassare ulteriormente il livello degli investimenti a parità di livello di flessibilità, oppure, a parità di investimento in attrezzature, di aumentare il livello di flessibilità.

La curva degli investimenti in attrezzature può essere cioè considerata parametrica nel livello di modularità delle attrezzature.

Per quanto riguarda gli utensili, il medesimo risultato si ottiene puntando sull'utilizzo di utensili comuni a più particolari, cioè puntando sul-

A Modular Fixture

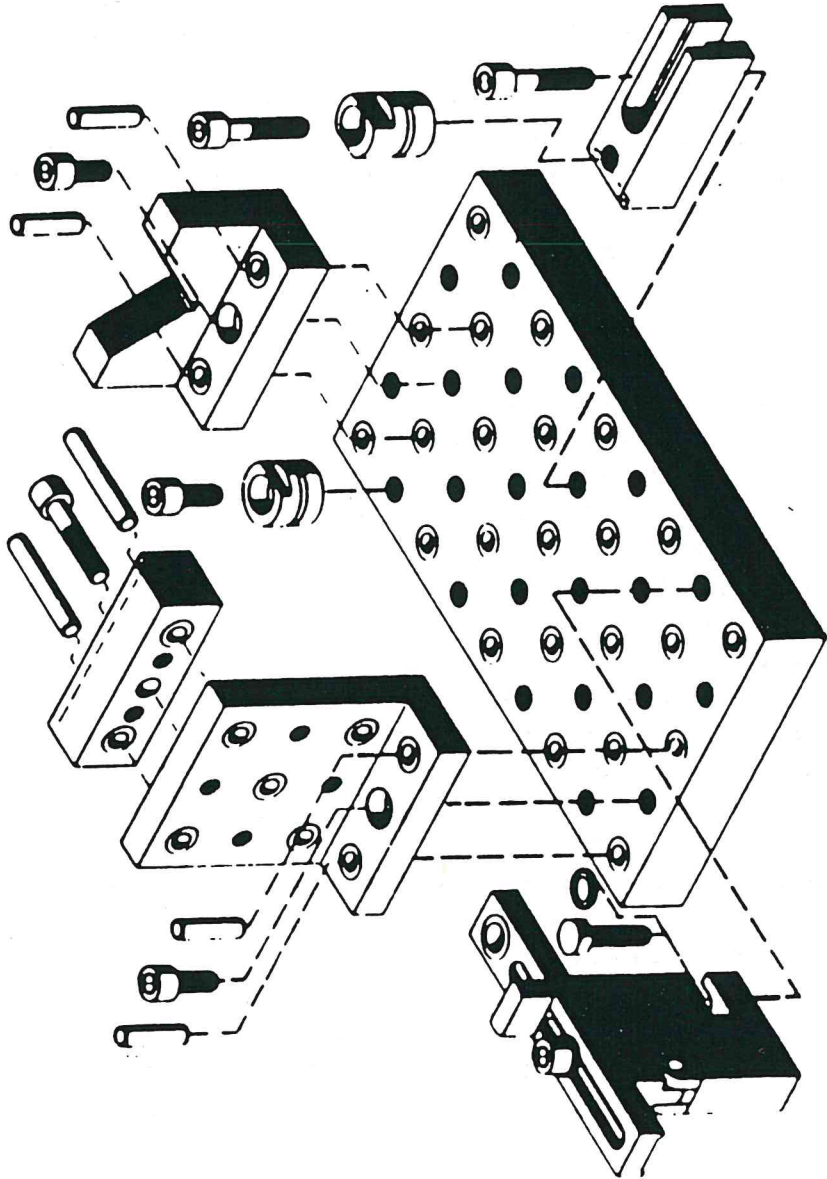


Fig. 6-12- Attrezzatura modulare.
Fonte : B.S. Thompson , M.V. Gandhi , 1986 , op.cit.

la loro 'comunanza'. Anche la curva degli investimenti può essere considerata parametrica. In questo caso la variabile è la comunanza degli utensili.

In fig. 6.13. la curva degli investimenti complessivi in attrezzature ed utensili è stata rappresentata parametrica nelle due variabili sopra individuate.

I vincoli legati alla disponibilità di attrezzature nel caso della Rossi Motoriduttori sono stati rappresentati in fig. 6.14.³¹ Il numero totale delle attrezzature disponibili è 15. I tipi di attrezzature sono invece 12, perché esistono 2 attrezzature per i tipi G, I, M. Come è possibile notare esistono solo 2 tipi di attrezzature dedicate (la G e la H). Molti particolari possono essere pallettizzati tramite attrezzature diverse: ad esempio i particolari 36, 37 e 38 possono utilizzare alternativamente le attrezzature M, N ed O.

Il particolare 28 possiede 2 attrezzature dedicate: ciò è dovuto al fatto che con una sola attrezzatura i particolari dello stesso tipo non possono che essere lavorati sequenzialmente presso una stazione di lavoro, con conseguente aumento dei tempi di completamento del lotto.

La disponibilità di 2 attrezzature permette in linea teorica, di lavorare due pezzi in parallelo presso 2 stazioni di lavoro, riducendo a metà il tempo di attraversamento del sistema.

Per quanto riguarda le attrezzature, rimane ancora da osservare che parte di esse sono state realizzate per pallettizzare più particolari dello stesso tipo sul medesimo pallet e costituire la cosiddetta 'carica'. Il vantaggio di lavorare per cariche anziché per singoli pezzi è evidente: si riducono i tempi complessivi di carico/scarico con diminuzione dell'impegno degli addetti a tali operazioni e con l'aumento della flessibilità dell'alimentazione dell'FMS in generale.

Se le attrezzature rappresentano un vincolo per la gestione che possiamo definire di natura endogena, esistono invece altri problemi e vincoli di natura esogena dovuti da un lato alle modalità produttive dei reparti di monte e valle, e da un altro alla mancata installazione del magazzino centrale di grezzi e finiti.

I reparti di monte (job-shop) e di valle (montaggio e verniciatura) lavorano per lotti e pertanto l'FMS, essendo inserito in un flusso produttivo, si trova molto spesso a dover rispondere alle richieste del montaggio di interi lotti di pezzi che devono ancora arrivare nel magazzino dei componenti intermedi dal job-shop (vedi fig. 6.2.).

Tali richieste impongono la lavorazione in tempi brevi di particolari tutti dello stesso tipo, il che, come abbiamo più volte sottolineato, è l'e-

³¹ In fig. 6.14. non compare l'attrezzatura F perché al momento dello sviluppo del case-study i corrispondenti codici di particolari non erano più prodotti sull'FMS.

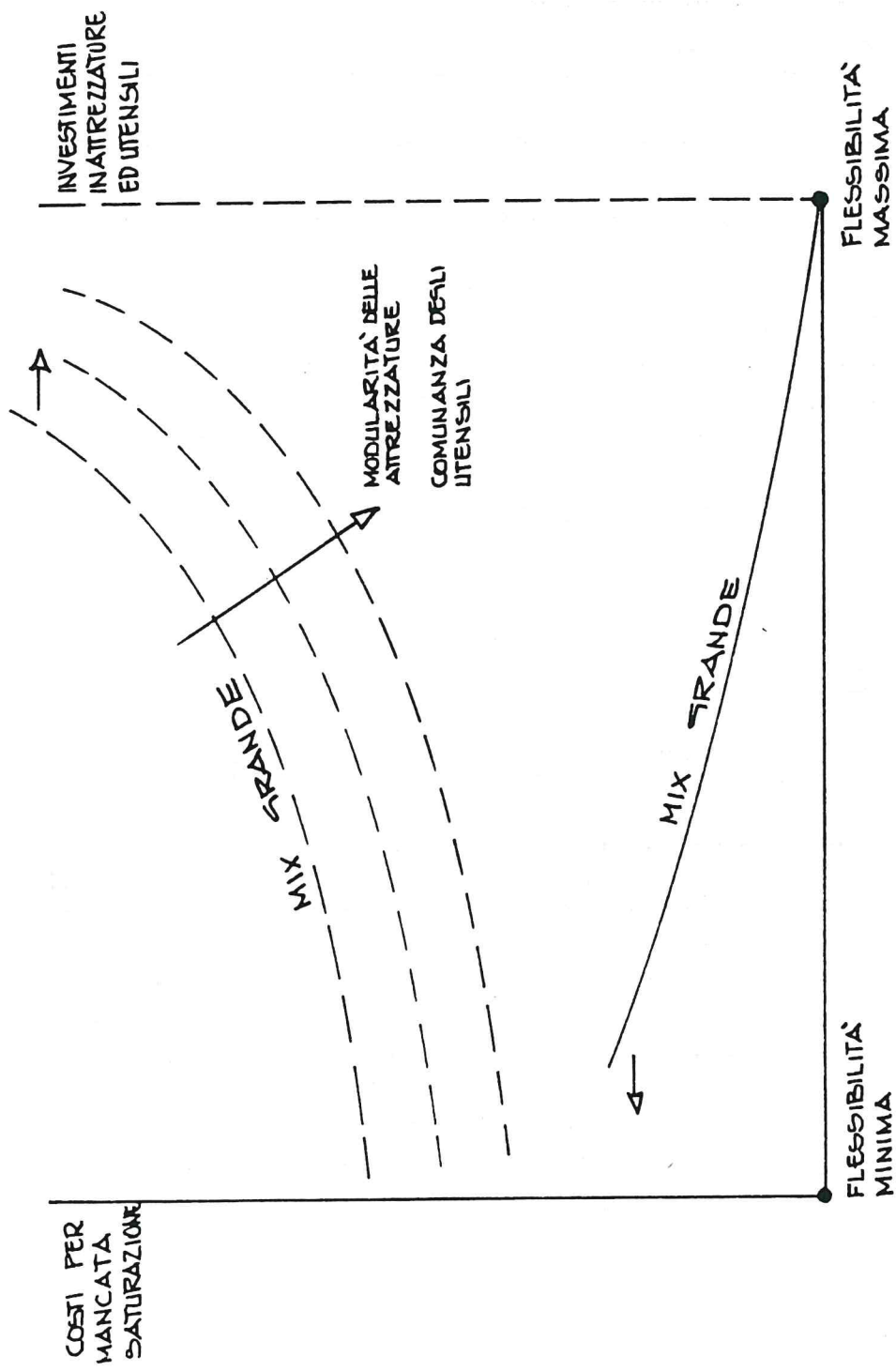


Fig. 6.13 - Variabili che influenzano gli investimenti in attrezzature ed utensili.

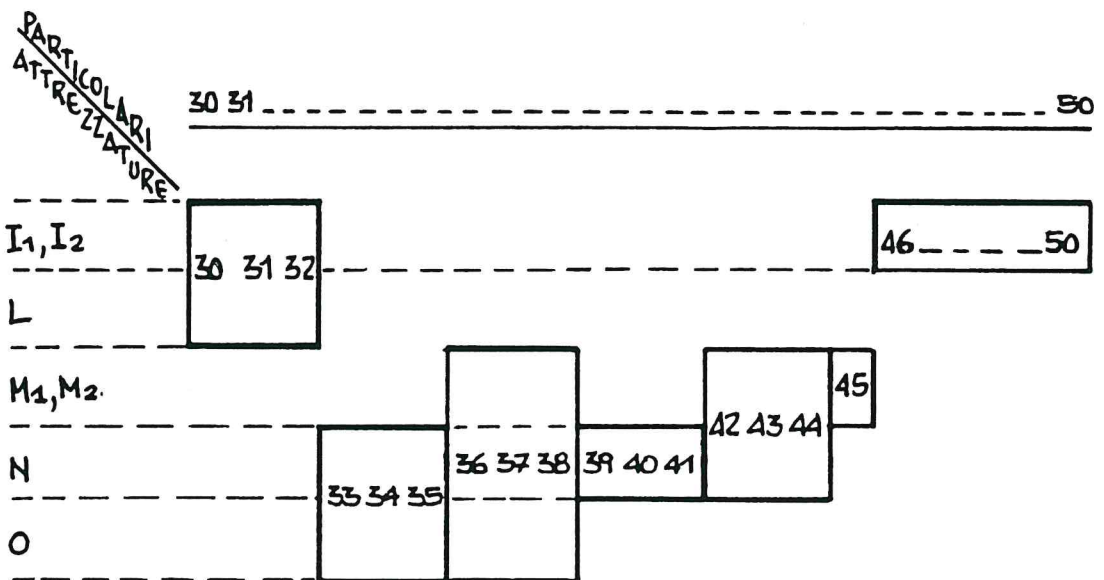
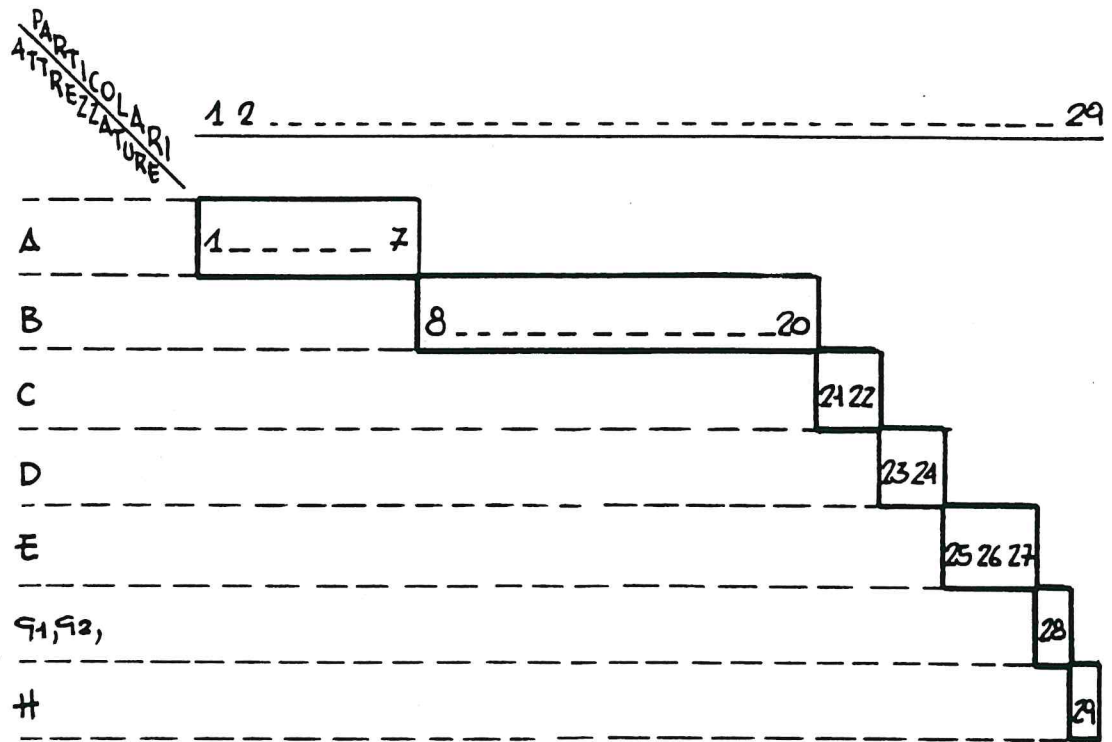


Fig. 6.14 - Vincoli dell'FMS Samp alla Rossi Motoriduttori

satto contrario della filosofia secondo cui deve operare un FMS, e cioè produrre simultaneamente particolari diversi per ridurre l'esigenza complessiva di attrezzature ed utensili.

Ciò costituisce un problema di non poco conto per gli addetti alla programmazione, i quali in queste situazioni ricorrono a lavorazioni di terzi. Quando però le urgenze dei lotti relativi ad uno specifico particolare non sono fatti contingenti, bensì sistematici, viene proposto l'acquisto di nuove attrezzature relative a quel particolare, per far fronte, in futuro, alle urgenze del montaggio senza dover ricorrere alle lavorazioni esterne³².

Le modalità con cui gli addetti alla programmazione determinano quindi il numero ottimale di attrezzature, a fronte delle continue variazioni in quantità e mix dei particolari richiesti, è di natura empirica. La scelta di fondo effettuata in sede progettuale è stata quella di conferire al sistema un livello di flessibilità vicino a quello minimo (vedi fig. 5.3.). Il conferimento di livelli di flessibilità maggiori, che comporta ulteriori investimenti in attrezzature, viene deciso solo a fronte di una constatata necessità operativa e nella certezza di un ritorno in termini di economicità globale per la maggiore flessibilità acquisita nella risposta al montaggio.

In ultima analisi si può affermare che l'investimento in 'flessibilità' viene deciso solo quando si è certi di poterla utilizzare³³.

La mancata disponibilità di un magazzino centrale di grezzi e finiti pone un ulteriore vincolo per la gestione dell'FMS.

Come abbiamo rappresentato in fig. 6.4. i piani quindicinali di fabbricazione dell'FMS sono definiti sulla base del piano principale di produzione che, a meno di variazioni, può essere considerato congelato per un periodo di due mesi.

La definizione del piano quindicinale avviene selezionando dal piano congelato, previo accertamento delle disponibilità dei grezzi e di attrezzature, un opportuno numero di ordini di produzione.

Logica vorrebbe che, al fine di saturare l'FMS nel rispetto delle date di consegna, venisse praticato all'interno della quindicina lo job-split-

³² Questo è il caso, ad esempio, del particolare 28 prima citato per cui esistono due attrezzature dedicate. Ovviamente, in questi casi, si cerca di acquisire attrezzature modulari che vanno ad aumentare ulteriormente la flessibilità di risposta al montaggio per tutti i particolari pallettizzabili con le nuove attrezzature.

³³ Si veda a tale riguardo quanto affermato nel paragrafo 2.2.9. sulla valutazione degli investimenti in automazione flessibile: introdurre il valore della flessibilità nell'analisi degli investimenti non è facile; essa ha un costo, ma non ha un valore finché non viene utilizzata (cfr. A. BRANDOLESE, *Manager Domani*, Rivista IBM, n. 3, 1985). Molte volte in azienda le decisioni, al di là di possibili e sofisticate analisi, vengono prese su basi pragmatiche.

ting³⁴, cioè la suddivisione delle quantità previste di tutti gli ordini di produzione che coprono la quindicina in frazioni al fine di saturare l'FMS. Un tale modo di operare richiederebbe a piè di linea la presenza contemporanea di tutti i carrelli contenenti i lotti da produrre nella quindicina da cui prelevare i pezzi da avviare in lavorazione sull'FMS. Una soluzione del genere non è però attualmente praticabile per l'ingombro fisico che il numero di carrelli comporterebbe e in generale per problemi legati al flusso logistico.

I vincoli derivanti dalla mancata disponibilità di un magazzino centrale di grezzi e finiti si traducono, nella pratica operativa, di poter produrre contemporaneamente un numero massimo di circa 15 lotti sui potenziali 50 che coprono l'intera quindicina.

Funzione dei magazzini di monte e di valle

I vincoli precedentemente descritti pongono seri problemi ai responsabili della programmazione:

- i vincoli legati alla limitata disponibilità di attrezzature impongono di lavorare simultaneamente mix di particolari diversi nelle stazioni di lavoro, pena l'insaturazione dell'impianto;
- i vincoli legati alla mancata disponibilità del magazzino centralizzato di grezzi e finiti impone limitazioni nella selezione ottimale del mix di produzione.

Per superare tali vincoli sono state adottate le seguenti soluzioni:

- Creazione di un magazzino di componenti intermedi a monte dell'FMS (vedi fig. 6.2.).
- Lancio in produzione sull'FMS di particolari non previsti dai fabbisogni derivanti del piano principale di produzione e nemmeno richiesti dal montaggio, al fine di saturare l'impianto. Tali particolari vengono immagazzinati nel magazzino di valle dei componenti. Il magazzino di valle quindi, oltre a svolgere la naturale funzione di disaccoppiamento tra reparti di produzione (job-shop e FMS) e reparti di montaggio, assolve anche al compito di 'assorbire' scorte di particolari prodotti al solo fine di saturare la capacità produttiva dell'impianto.
- Ricorso a terzisti, secondo le logiche prima presentate, per lavorazioni urgenti non evadibili, nei tempi richiesti.

³⁴ Cfr. paragrafo 5.5. sul sistema di schedulazione PPS dove viene fornito un semplice esempio di come si articola lo job-splitting.

Economicità delle scelte

Ci si può chiedere, a questo punto, se le soluzioni adottate alla Rossi Motoriduttori costino più di quanto non costi la rimozione dei vincoli stessi; infatti:

- se costa non saturare il sistema, è anche vero che costa saturarlo in ogni caso (scorte non previste di valle);
- se costano le attrezzature che conferiscono all'FMS flessibilità massima, costa anche però non rispondere alle richieste del montaggio e ricorrere a lavorazioni di terzi;
- se costa il magazzino centrale di grezzi e finiti e la revisione dell'intero sistema di movimentazione, costa però anche la mancata ottimizzazione dell'utilizzazione del sistema che deriva dall'impossibilità di poter giocare sull'intero mix da produrre sulla quindicina e applicare lo job-splitting.

La risposta alla domanda posta non è facile, né tantomeno dimostrabile quantitativamente.

A nostro avviso la soluzione adottata alla Rossi Motoriduttori è la più 'ragionevole' nel contesto generale aziendale e produttivo esistente.

Spesso nelle aziende quando si devono prendere decisioni in situazioni complesse che richiedono il bilanciamento tra costi di natura diversa, le conclusioni a cui si giunge, sulla base di valutazioni generali, o se vogliamo meramente empiriche o di buon senso, non si discostano di molto da quelle 'ottimali'.

Dati medi per la programmazione

Come descritto nel paragrafo 6.2. il Controllore di Linea provvede alla schedulazione del sistema una volta ricevuti i dati della produzione a consolle.

Con riferimento ai livelli di programmazione di fig. 5.5. la programmazione realizzata dal Controllore di Linea (DNC) è la schedulazione in real-time (livello 2). La fase di schedulazione batch (livello 3) è svolta manualmente dagli addetti alla programmazione.

Come abbiamo rappresentato in fig. 6.4., le modalità con cui sono formulati i piani di fabbricazione dell'FMS prevedono la definizione del piano di lavoro per la 1^a quindicina ed un'ipotesi di piano per la 2^a quindicina.

Tali piani vengono definiti sulla base del piano principale di produzione dei componenti (MPS) selezionando, in funzione della disponibilità (effettiva e prevista) dei grezzi e in funzione dei vincoli delle attrezzature, un opportuno mix di lotti da produrre.

I dati medi che vengono utilizzati per la definizione dei programmi quindicinali di fabbricazione per l'FMS sono basati su un numero di riferimento di particolari che devono essere presenti nel sistema per massimizzare la saturazione in presenza di vincoli di attrezzature.

Il valore del numero di riferimento è 9; tale valore deriva dalle seguenti considerazioni:

- In sede di pianificazione è opportuno porsi nelle condizioni di vincoli massimi di attrezzature, considerando disponibile una sola attrezzatura per ogni particolare. In realtà vari particolari possono essere pallettizzati su più attrezzature (vedi fig. 6.14.). Un tale modo di procedere rende possibile eventuali modifiche dell'ultima ora derivanti dalle richieste del montaggio.
- Il numero dei centri è tre, per cui mediamente è opportuno che i tre centri lavorino tre particolari diversi che impegnano tre attrezzature diverse.
- Poiché, una volta conclusa la lavorazione di un pezzo³⁵, lo scambiatore di pallet alimenta immediatamente la stazione di lavoro, sostituendo il pezzo lavorato con un altro in attesa, è opportuno che nel carosello multipallet siano presenti almeno altri tre particolari diversi dai precedenti, sempre per lo stesso motivo di impegno di attrezzature diverse.
- Poiché infine i tempi delle operazioni di pallettizzazione/spallettizzazione dei pezzi che avvengono presso la stazione di carico/scarico non sono del tutto trascurabili³⁶, è opportuno prevedere la presenza di altri tre tipi di particolari nel sistema, affinché siano garantiti la saturazione dell'impianto ed un corretto carico di lavoro per gli addetti alle operazioni ausiliarie di alimentazione del sistema.

Se dunque il numero di riferimento dei particolari che devono essere presenti contemporaneamente nel sistema è 9, ne consegue che esiste un numero medio di ore giornaliere di capacità produttiva del sistema che devono essere attribuite ai 9 ordini di produzione i quali prevedono la realizzazione dei 9 particolari in quantità pari ai lotti standard.

Il numero medio di ore giornaliere per lotto è, utilizzando la terminologia adottata nel package utilizzato per lo sviluppo del piano di produzione, il 'Fattore di Scheduling - FS'. Il Fattore di Scheduling è definito come «l'ammontare di capacità produttiva di un centro che può essere dedicata ad un ordine in un giorno»³⁷.

³⁵ Si utilizza il termine pezzo anche se abbiamo visto che si può trattare anche di una carica.

³⁶ L'operazione di pallettizzazione/spallettizzazione può richiedere fino a 5-10 minuti per pezzo o carica.

³⁷ CINCOM SYSTEMS, CONTROL: *Manufacturing, Data Base Manual*, 1985, pg. 3-297.

Il valore del Fattore di Scheduling è facilmente calcolabile:

FS = Capacità produttiva / Numero di particolari (lotti) presenti contemporaneamente nel sistema.

FS = 63 ore/giorno / 9 lotti = 7 ore/giorno lotto.

Il Fattore di Scheduling viene utilizzato per calcolare il tempo di attraversamento di ciascun ordine di produzione. Ad esempio per il particolare 23 (carcassa coassiale 10.35), che utilizza la attrezzatura D con cariche composte di tre pezzi ciascuna, prodotto normalmente in lotti di 350 pezzi, con un tempo di lavorazione complessivo di lotto pari a circa 99 ore, si ha:

Lead time = $99/7 \approx 15$ giorni.

Il valore di tale lead time giustifica quanto rappresentato in fig. 6.2., relativamente ai tempi di attraversamento dell'FMS posti uguali a 2-3 settimane. I lead times dei particolari prodotti sull'FMS variano tra 1 e 17 giorni.

Sempre nell'esempio considerato, per far fronte alle urgenze derivanti dalle richieste del montaggio si può ipotizzare di usare l'unica attrezzatura disponibile D non per 7 ore al giorno, bensì per 21 ore al giorno³⁸, trascurando in prima approssimazione i tempi di pallettizzazione/spallettizzazione, ed accettando una piccola instaurazione del sistema legata al fatto che almeno una stazione di lavoro deve essere libera in attesa del pezzo (o carica) in arrivo. In tali ipotesi, si ha:

Lead time = $99/21 \approx 5$ giorni.

Solo aumentando il numero delle attrezzature D in numero tale da poter lavorare il medesimo lotto su tutte e tre le stazioni si riesce a ridurre drasticamente il tempo di attraversamento³⁹:

Lead time = $99/63 \approx 1,5$ giorni.

In conclusione la definizione dei piani quindicinali di produzione sull'FMS avvengono secondo le seguenti modalità:

— devono essere presenti mediamente 9 particolari che impegnano attrezzature diverse;

³⁸ L'impianto funziona per 21 ore/giorno.

³⁹ Per i vincoli precedentemente descritti, il numero minimo di attrezzature necessarie per poter lavorare simultaneamente particolari dello stesso tipo sono almeno 6-7 (3 che supportano i pezzi in lavorazione, 3 che supportano i pezzi in coda ed una per le operazioni di pallettizzazione/spallettizzazione).

— gli ordini 'assorbono' mediamente 7 ore al giorno ed il tempo di attraversamento dei lotti è calcolato dividendo il tempo complessivo di produzione di lotto per un fattore 7.

Secondo tali modalità di definizione dei piani il numero medio di carrelli contenente i pezzi costituenti i lotti presenti a piè di linea è 9, in questo modo si evitano i problemi che sorgerebbero a fronte di un numero superiore di carrelli.

6.5. L'approccio utilizzato nello sviluppo del piano di produzione.

Individuazione del livello di approccio al problema

Nelle prime fasi di studio i problemi denunciati dagli addetti alla programmazione dell'FMS (onerosità del lavoro, difficoltà nel rispettare i piani di produzione, richieste del montaggio difficilmente evadibili, problemi con i terzisti per concordare le date di consegna richieste perché troppo vicine nel tempo), sembrano tutti essere addebitabili alla mancanza dello schedatore batch (livello 3 di fig. 5.5.) di raccordo tra il piano principale di produzione e il sistema DNC di controllo dell'FMS.

Ad una analisi più attenta però veniva evidenziato come i problemi denunciati non avrebbero potuto essere risolti con la semplice adozione di uno schedatore batch per quanto sofisticato fosse stato.

La soluzione dei problemi richiedeva un vero e proprio 'salto' di livello: precisamente dal livello 3 al livello 4 di fig. 5.5.

Il motivo è molto semplice: il livello 3 di schedulazione batch non può realizzare, né tantomeno ottimizzare, un piano principale di produzione di componenti che si traduca per l'FMS in fabbisogni di produzione di particolari che insistono tutti sulle medesime attrezzature. Al livello 3, in altri termini, deve pervenire un programma di produzione che sia 'fattibile', cioè che rispetti i vincoli di attrezzature quanto meno a livello aggregato.

Ad esempio, con riferimento alla fig. 6.14,, un piano principale di produzione dei componenti che comporti dei fabbisogni di particolari da lavorare sull'FMS dal numero 1 al numero 20 non è sicuramente realizzabile: le attrezzature disponibili complessive sono infatti solamente 2.

Il salto di livello è necessario proprio per gestire il problema che abbiamo sottolineato essere cruciale nella gestione degli FMS: la definizione del mix di produzione⁴⁰.

Buzacott e Yao⁴¹, a tale riguardo, affermano che nel processo di pia-

⁴⁰ Cfr. paragrafo 5.3.

⁴¹ J.A. BUZACOTT, D.D. YAO, 1986, *op. cit.*, pg. 902.

nificazione degli FMS, piuttosto che approcciare il problema ponendosi la domanda «che cosa si può fare per produrre i particolari», cioè partire dai particolari 'da fare', è più corretto porsi la domanda «che cosa il sistema può produrre», cioè partire dalla definizione di che cosa si 'può fare' e sviluppare quindi il piano di produzione dell'FMS.

Solo spostando l'attenzione dal livello 3 al livello 4 è possibile valutare la fattibilità del piano principale di produzione per gli aspetti inerenti all'FMS, deciderne la modifica, assegnare eventuali lavorazioni a terzi in tempi utili per il rispetto delle date di consegna previste.

I vincoli legati alla disponibilità di attrezzature sono, come nel caso esaminato, definiti in sede di progettazione dell'impianto, quando viene deciso il livello di flessibilità da conferire al sistema (vedi fig. 5.3.). Tali vincoli non possono essere rimossi, in linea generale, in sede di programmazione ad esempio con il loro acquisto⁴².

È corretto pertanto affrontare il problema al livello dove può essere gestito (livello 4 di fig. 5.5. in modalità aggregata).

Solo in un secondo momento, cioè solo dopo una verifica a livello aggregato dei vincoli complessivi, lo schedatore batch di livello 3 può pervenire alla definizione di un piano di produzione ottimizzato per l'FMS.

Non a caso lo schedatore PPS, presentato nel paragrafo 5.5., a livello 3.3. verifica immediatamente la fattibilità del piano calcolandone il fabbisogno di attrezzature ed utensili necessari per la sua attuazione.

Per quanto riguarda lo schedatore di livello 3, rimane ancora un'ultima osservazione da fare. Le caratteristiche di funzionamento della Rossi Motoriduttori (piani di produzione su previsione e piani di montaggio su ordine) determinano, come obiettivi prioritari di gestione dell'FMS, non tanto il rispetto del piano di produzione⁴³, quanto piuttosto il mantenimento dei livelli di scorte di sicurezza del magazzino di valle o, quando quest'ultime si sono esaurite, l'evasione diretta delle richieste del montaggio. Tra i modelli presentati nel precedente paragrafo 5.3. per la soluzione dei problemi di programmazione della produzione degli FMS, l'unico modello a cui sembra potersi ricondurre la soluzione dei problemi riscontrati alla Rossi Motoriduttori è quello proposto da Kimemia⁴⁴. Tale modello prevede infatti la definizione di piani di fabbricazione dell'FMS, non solo in funzione delle eventuali modifiche dei fabbisogni derivanti dal piano principale di produzione, ma anche in funzione della variazione dinamica dei livelli di scorte del magazzino di valle.

⁴² Abbiamo visto nel paragrafo 6.4. come le decisioni di acquisto di nuove attrezzature vengono prese solo sulla base di esigenze ripetutesi in modo sistematico.

⁴³ Cfr. paragrafo 6.4. sugli obiettivi di gestione.

⁴⁴ J.G. KIMEMIA, 1982, *op. cit.*

Nel caso esaminato, i livelli delle scorte del magazzino di valle sono proprio le variabili dominanti perché il loro valore è determinato dai prelievi eseguiti sulla base di ordini dei clienti, la cui evasione è prioritaria sopra ogni altro obiettivo di gestione.

Articolazione del livello individuato di approccio al problema

Come sopra detto la problematica di gestione degli FMS va affrontata a livello 4 di fig. 5.5. in modalità aggregata. Solo così infatti, si può pervenire alla formulazione di un piano di produzione che rispetti i vincoli in modalità aggregata, e fornisca agli schedulatori di livello 3 e 2 una corretta base di partenza per la ottimizzazione dell'utilizzo dell'impianto nei rispettivi orizzonti temporali.

A livello 4 si sono distinti due sottolivelli che sono stati brevemente descritti nel paragrafo 5.4.:

- livello 4.2.: 'Rough Cut Capacity Plan' o pianificazione aggregata della capacità⁴⁵;
- livello 4.1.: 'Capacity Requirements Planning' o pianificazione della capacità produttiva.

Questi 2 livelli sono compresi nelle due fasi di sviluppo e implementazione del piano principale di produzione (MPS) rappresentato in fig. 6.15.⁴⁶.

Senza entrare nella descrizione delle singole fasi, per le quali rimandiamo alla letteratura citata⁴⁷, ciò che ci preme sottolineare è che lo sviluppo di un piano di produzione richiede la verifica di tutte le risorse che possono costituire un collo di bottiglia per l'esecuzione del piano: capacità produttiva, capitali circolanti, spazi fisici per lo stoccaggio dei prodotti finiti, capacità produttive dei terzisti, ecc. Tale verifica è eseguita tramite la 'Resource Requirements Planning' in modalità simulativa 'what if', secondo criteri di stima approssimativa o 'rough cut' appunto⁴⁸.

Gli strumenti che vengono utilizzati per realizzare la 'Rough Cut Capacity Plan' nel package utilizzato per lo sviluppo del piano, sono i centri

⁴⁵ La pianificazione del fabbisogno di risorse (Resource Requirements Planning) quando è relativa alla sola capacità produttiva è detta Rough Cut Capacity Plan. Cfr. paragrafo 3.5. sugli MPCs, sottotitolo MRP II.

⁴⁶ In fig. 6.15. di fonte J. ORLICKY, 1975, *op. cit.*, si è assunta la corrispondenza tra le due fasi di sviluppo del piano e i 2 livelli 4.2. e 4.1. di fig. 5.5.

⁴⁷Cfr. J. ORLICKY, 1975, *op. cit.*, pg. 231-257. Per una descrizione dettagliata della 'Rough Cut Capacity Plan' si veda T.E. VOLMANN, et al., 1984, *op. cit.*, pg. 94-106. La 'Capacity Requirements Planning' è trattata dagli stessi autori da pg. 106 a pg. 110. Ne vengono messe in luce le differenze rispetto alla 'Rough Cut Capacity Plan'.

⁴⁸ Letteralmente 'rough cut' significa taglio rude.

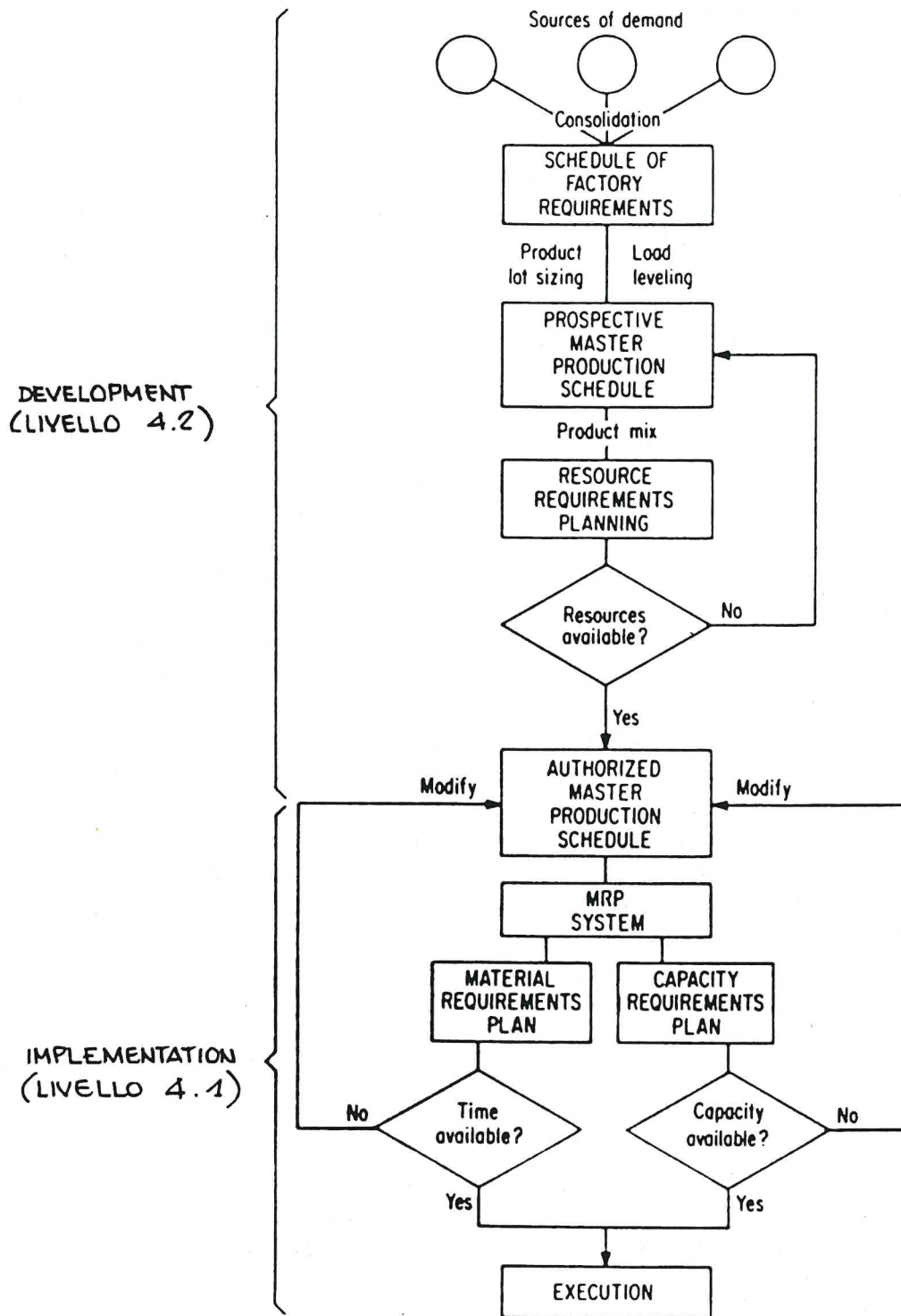


Fig. 6.15 - Sviluppo e implementazione del piano principale di produzione.

Fonte: J. Orlicky, 1975, op. cit.

rappresentativi e i cicli rappresentativi.

I primi individuano le risorse considerate critiche per l'attuazione del piano; i secondi permettono di calcolare un profilo dei fabbisogni di risorsa, anche se in modalità molto grossolana, per ciascun centro rappresentativo.

I parametri che vengono utilizzati per definire i cicli rappresentativi sono (ved. fig. 6.16):

- 'offset' ovvero arretramento;
- 'spread' ovvero spalmatura;

Definite le date di consegna di tutti gli ordini ipotizzati⁴⁹ da un Piano Principale di Produzione di tentativo, la procedura di 'Rough Cut' determina i profili dei fabbisogni di risorsa per tutti i centri rappresentativi definiti.

Una volta che la verifica della fattibilità del piano è stata eseguita, lo stesso piano viene autorizzato con il rilascio degli ordini di produzione.

Per la soluzione del problema della programmazione dell'FMS, oggetto di studio, è stato sufficiente definire come centri rappresentativi l'impianto flessibile e le 12 tipologie di attrezzature che, come abbiamo visto nel paragrafo 6.4., sono effettivamente anch'esse delle risorse critiche.

È d'altronde lo stesso Orlicky⁵⁰ ad affermare che, per quanto riguarda la sola capacità produttiva, a livello di Resource Requirements Planning possono essere considerate come risorse critiche centri caratterizzati da un sempre maggior grado di dettaglio a seconda delle esigenze: intero sistema produttivo, reparto, singolo impianto o macchina.

Se quindi a livello 4.1. è possibile verificare il profilo di fabbisogno non solo dell'FMS, ma anche delle 12 tipologie di attrezzature, ne consegue che a livello di Piano Principale di Produzione, rappresentato in fig. 6.4., si possono autorizzare ordini che non insistono sulle medesime attrezzature e che costituiscono pertanto un piano di produzione fattibile a livello aggregato nel periodo considerato.

Nel successivo livello 4.2. di Capacità Requirements Planning (CRP) viene eseguito il normale caricamento a capacità infinita di ciascun centro produttivo.

A questo livello il problema è stato risolto tramite un semplice artificio: definire ogni tipologia di attrezzatura come centro produttivo e considerare che ogni ordine da eseguire sull'FMS impegna contemporaneamente, oltre alla capacità produttiva dell'impianto, anche la 'capacità

⁴⁹ Tali ordini sono codificati nel package come ordini 'trial', ovvero di tentativo per distinguerli da quelli autorizzati, cioè rilasciati alla fase di implementazione definita come livello 4.2. nella fig. 5.5.

⁵⁰ J. ORLICKY, 1975, *op. cit.*, pg. 240.

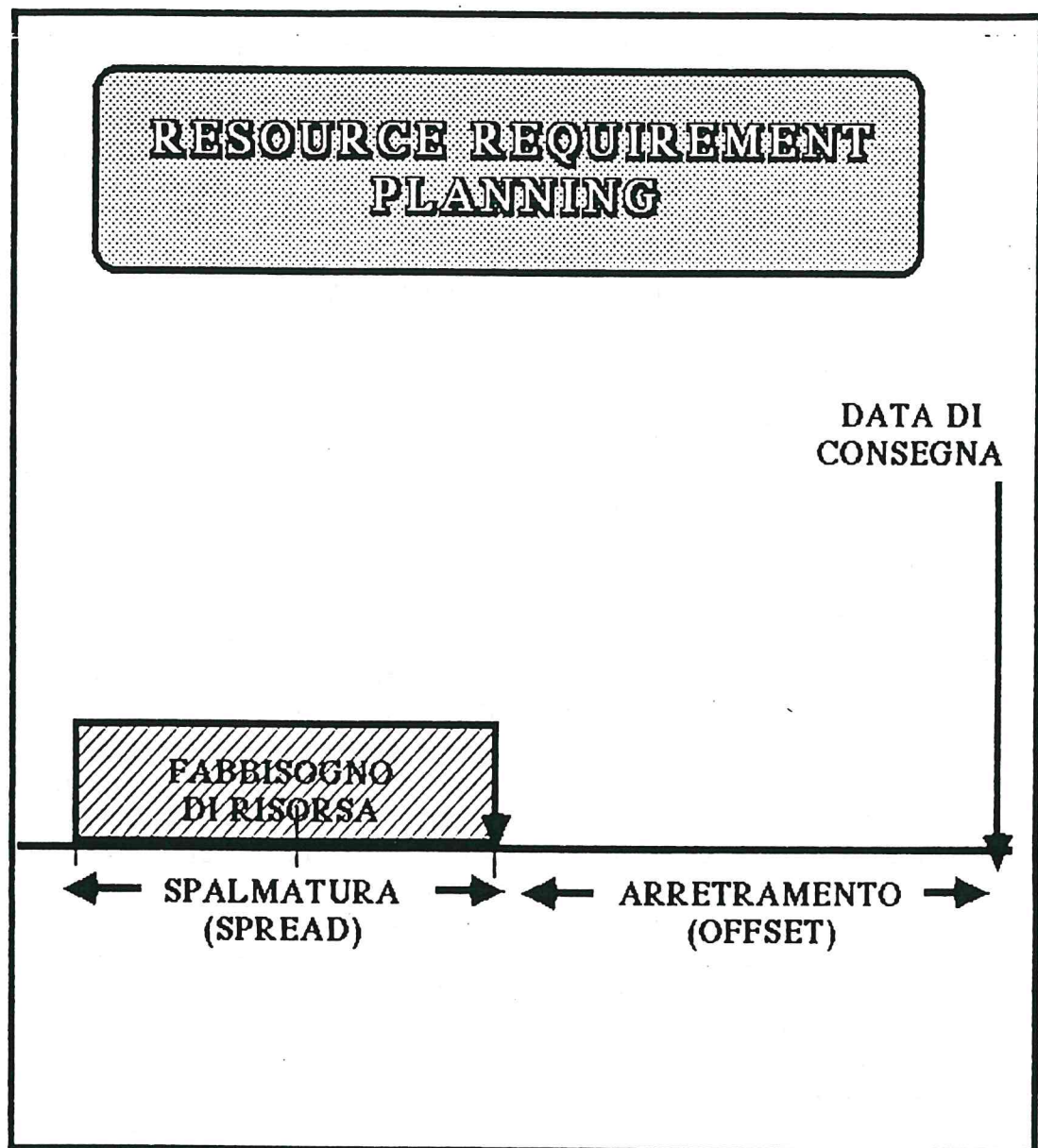


Fig. 6.16 - Parametri nella pianificazione del fabbisogno di risorse.

produttiva' dell'attrezzatura interessata.

Il bilanciamento del carico, che normalmente avviene mediante iterazioni successive⁵¹ (vedi fig. 6.15.), permette quindi di verificare che la definizione delle date di consegna degli ordini⁵², non avvenga in modo da creare delle punte di carico per le singole attrezzature in certi sottoperiodi. Tali punte di carico potrebbero determinarsi se venissero, ad esempio, concentrati nella prima parte del periodo considerato, tutti gli ordini che insistono su una stessa attrezzatura, mentre a livello 4.1. se ne era prevista una utilizzazione lungo tutto l'arco del periodo.

L'impegno contemporaneo di FMS ed attrezzature nel bilanciamento della capacità produttiva di livello 4.1. è stato realizzato mediante la definizione di cicli di produzione dei pezzi costituiti da due operazioni sull'attrezzatura e sull'FMS, eseguite in parallelo.

Il risultato del livellamento del carico sull'FMS e sulle attrezzature è un piano di produzione eseguibile effettivamente sull'FMS ed è l'input (ordini pianificati di fig. 5.5.) per lo schedatore batch di livello 3.

L'opportunità di lavorare i pezzi su attrezzature diverse è stata concretizzata utilizzando i cicli alternativi di produzione definibili per ogni codice sull'FMS.

Ad esempio, con riferimento alla fig. 6.14., il particolare 30 ha due cicli di produzione alternativi costituiti dalle due sequenze:

- sequenza 1: 'operazione' sulla attrezzatura I e operazione sull'FMS;
- sequenza 2: 'operazione' sulla attrezzatura L e operazione sull'FMS.

Un tale modo di utilizzare i cicli alternativi consente nel breve periodo di verificare immediatamente in on-line a video la fattibilità delle modifiche richieste dal reparto di montaggio che possono tradursi o nell'anticipo della data di consegna di un ordine pianificato o nel lancio sull'FMS di un nuovo ordine di produzione.

La immediata verifica del carico sulle attrezzature interessate, il gioco sui cicli alternativi ovvero l'utilizzo di altre attrezzature, permette di fornire allo schedatore di livello 3 (ma nel caso esaminato direttamente allo schedatore DNC di livello 2) ordini che rispettano i vincoli di disponibilità di attrezzature e che possono pertanto essere evasi. La soluzione proposta e simulata con il package detto è stata direttamente verificata con gli addetti alla programmazione dell'FMS che ne hanno apprezzato l'applicabilità.

⁵¹ Sulla validità di tale modo di operare si veda G. BALBIANO, 1980, *op. cit.*, pg. 139-141.

⁵² A livello 4.1. sono autorizzati o rilasciati ordini relativamente ad un periodo (il periodo confermato di fig. 6.3.) entro il quale gli ordini devono essere evasi. In linea generale l'ultima data utile per la consegna deve essere considerata il giorno 30 del mese. Solo a livello 4.1. viene definita la effettiva data di consegna determinata dal livellamento o bilanciamento del carico.

Lo sviluppo del piano di produzione

La simulazione per la verifica delle soluzioni, in modalità aggregata ai livelli 4.2. e 4.1. di fig. 5.5., dei problemi di programmazione dell'FMS Saimp della Rossi Motoriduttori, è stata così realizzata:

- ci si è posti in data 24 Maggio dell'anno corrente (nel caso specifico il 1986) per definire il piano di produzione relativo al mese di Ottobre⁵³.
- In tale data si sono sviluppate rispettivamente:
 - la 'Rough Cut Capacity Plan' per l'autorizzazione degli ordini di produzione considerando come date di consegna per tutti gli ordini il 30 ottobre;
 - il caricamento a capacità infinita dell'FMS e di tutte le tipologie di attrezzature per pervenire, in modo iterativo, al bilanciamento della capacità produttiva dell'FMS e dell'impegno delle tipologie di attrezzature. Il risultato del caricamento iterativo è la pianificazione degli ordini, ovvero la definizione della loro data di consegna.
- Si è avanzati quindi nel tempo ponendosi alla data del 1° Ottobre ipotizzando per semplicità che non fossero intervenute modifiche negli ordini precedentemente pianificati⁵⁴. In tale data si è verificata la possibilità di spostare in avanti ordini pianificati sostituendoli con altri più urgenti derivanti dal montaggio.

La verifica di fattibilità è stata realizzata sia in relazione alla capacità produttiva dell'FMS, che all'impegno delle tipologie di attrezzature necessarie. I tabulati⁵⁵ riportati nelle figure che vanno dal n. 6.17. al n. 6.26. sono relativi ad una attrezzatura (l'attrezzatura A di fig. 6.14.) e all'FMS.

In fig. 6.17. e 6.18. sono riportati i profili del fabbisogno di risorsa rispettivamente dell'attrezzatura A e dell'FMS.

Per il mese di Ottobre l'attrezzatura A ha un fabbisogno del 106% e l'FMS del 98%. Pertanto gli ordini che generano tali fabbisogni sono stati autorizzati con data di consegna prevista per il 30 Ottobre⁵⁶.

⁵³ Si è assunto un periodo congelato pari a 4 mesi (Giugno, Luglio, Agosto e Settembre) allineandosi con l'orizzonte congelato generale della Rossi Motoriduttori. L'ampiezza del periodo congelato (pari a 2 mesi per l'FMS come rappresentato in fig. 6.4.) è una variabile che non ha alcuna influenza agli effetti della simulazione di verifica realizzata.

⁵⁴ Nella pratica operativa tali modifiche sono comunque gestibili nelle modalità sopra descritte.

⁵⁵ Non è possibile per ovvi motivi di spazio descrivere tutte le variabili che compaiono nei tabulati riportati.

⁵⁶ Nella simulazione la data di consegna è stata posta al 1° Novembre utilizzando, per semplicità, il calendario di officina che 'vedeva' nel 1° Novembre l'ultimo giorno dell'ultima settimana di Ottobre. Da ciò derivano dei carichi relativi alla prima settimana solare di Novembre

In fig. 6.19. e 6.20. sono riportati i profili di carico per l'attrezzatura A e per l'FMS derivanti dal caricamento a capacità infinita (cioè prima del bilanciamento). Nei due tabulati il periodo di Ottobre è stato suddiviso nelle relative quattro settimane.

Il carico è concentrato nelle ultime settimane poiché la schedulazione è eseguita al più tardi.

Il risultato del bilanciamento del carico ottenuto per approssimazioni successive è rappresentato in fig. 6.21. e 6.22. rispettivamente per l'attrezzatura A e per l'FMS⁵⁷.

Per l'FMS il carico deve essere rigorosamente pari alla capacità produttiva (infatti è rispettivamente 101%, 99%, 101% e 99% nelle quattro settimane di Ottobre).

Il carico delle attrezzature deve essere valutato in funzione del fatto che la disponibilità delle attrezzature non è solo di sette ore al giorno, ma può essere aumentato se parallelamente si prevede un utilizzo minore delle altre.

Il valore 7 ore/giorno, pari al Fattore di Scheduling dell'FMS, è una disponibilità media da utilizzarsi per una pianificazione aggregata, appunto quale è questa di livello 4.2. (CRP).

In realtà come abbiamo visto nel paragrafo 6.4., l'utilizzo di una attrezzatura può anche raggiungere circa le 20 ore al giorno in casi di necessità. L'attrezzatura A evidenziata è proprio una delle attrezzature più critiche poiché su di essa insistono molti particolari (vedi fig. 6.14.). Mediamente essa è impegnata, proprio per questo motivo, più di 7 ore al giorno.

Prevedere quindi, come riportato in fig. 6.21. un carico nelle quattro settimane rispettivamente pari al 143%, 100%, 88% e 100% è corretto. Saltando nel tempo alla data del 1° Ottobre, inizia la fase di verifica della fattibilità delle modifiche al piano produttivo previsto sulla base delle richieste del montaggio.

In fig. 6.23. sono riportati i codici che insistono sull'attrezzatura A e i rispettivi ordini caratterizzati da precise date di consegna.

Si è ipotizzata la richiesta di un lotto di un particolare che insiste su una attrezzatura la quale, rispetto al piano definito, non comporta alcun problema di impegno di attrezzatura.

La decisione presa di spostare in avanti la data di consegna dell'or-

⁵⁷ Il bilanciamento del carico avviene ovviamente controllando gli impegni di tutte e 12 le tipologie di attrezzature. La capacità produttiva dell'FMS è di 63 ore/giorno con un Fattore di Scheduling pari a 7 ore/ordine giorno. La capacità produttiva delle tipologie di attrezzatura disponibili in una unica unità è stata posta pari a 7 ore /giorno, mentre per quelle disponibili in due unità a 14 ore/giorno. Per le tipologie di attrezzature il Fattore di Scheduling coincide con la capacità produttiva.

MANUFACTURING RESOURCE PLANNING SYSTEM
WORK CENTER LOAD PROFILE

WORK CENTER: AT-A JESC: ATTREZZATURA A DEPT: ***** CURVES: CRP HORIZON: TRM 11/05/86 (474)

RESOURCE CODE: M0 PERIOD START: W LOAD TOLERANCE HIGH: 1.00 LOW: 1.00 SCHEDULING FACTOR: 7.00

PERIOD	START	END	LOAD	RESERVE	LOAD	CUMULATIVE	CUMULATIVE	CUMULATIVE	CUMULATIVE	CUMULATIVE	CUMULATIVE	CUMULATIVE
						LOAD	LOAD	LOAD	LOAD	VARIANCE	LOAD	EXC
1	05/24/86	05/24/86	35.00	0.00	35.00	0.00	35.00	0.00	35.00	0.00	35.00	0 C01
2	05/31/86	06/06/86	35.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0.00	70.00	0 C01
3	06/07/86	06/13/86	35.00	0.00	105.00	0.00	105.00	0.00	105.00	0.00	105.00	0 C01
4	06/14/86	06/20/86	35.00	0.00	140.00	0.00	140.00	0.00	140.00	0.00	140.00	0 C01
5	06/21/86	06/27/86	35.00	0.00	175.00	0.00	175.00	0.00	175.00	0.00	175.00	0 C01
6	06/28/86	07/04/86	35.00	0.00	210.00	0.00	210.00	0.00	210.00	0.00	210.00	0 C01
7	07/05/86	07/11/86	35.00	0.00	245.00	0.00	245.00	0.00	245.00	0.00	245.00	0 C01
8	07/12/86	07/18/86	35.00	0.00	280.00	0.00	280.00	0.00	280.00	0.00	280.00	0 C01
9	07/19/86	07/25/86	35.00	0.00	315.00	0.00	315.00	0.00	315.00	0.00	315.00	0 C01
10	07/26/86	08/01/86	35.00	0.00	350.00	0.00	350.00	0.00	350.00	0.00	350.00	0 C01
11	08/02/86	08/08/86	35.00	0.00	385.00	0.00	385.00	0.00	385.00	0.00	385.00	0 C01
12	08/09/86	08/15/86	35.00	0.00	420.00	0.00	420.00	0.00	420.00	0.00	420.00	0 C01
13	08/16/86	08/22/86	35.00	0.00	455.00	0.00	455.00	0.00	455.00	0.00	455.00	0 C01
14	08/23/86	08/29/86	35.00	0.00	490.00	0.00	490.00	0.00	490.00	0.00	490.00	0 C01
15	08/30/86	09/05/86	35.00	0.00	525.00	0.00	525.00	0.00	525.00	0.00	525.00	0 C01
16	09/06/86	09/12/86	35.00	0.00	560.00	0.00	560.00	0.00	560.00	0.00	560.00	0 C01
17	09/13/86	09/19/86	35.00	0.00	595.00	0.00	595.00	0.00	595.00	0.00	595.00	0 C01
18	09/20/86	09/26/86	35.00	0.00	630.00	0.00	630.00	0.00	630.00	0.00	630.00	0 C01
19	09/27/86	10/03/86	35.00	0.00	665.00	0.00	665.00	0.00	665.00	0.00	665.00	0 C01
20	10/04/86	10/10/86	35.00	0.00	700.00	0.00	700.00	0.00	700.00	0.00	700.00	0 C01
21	10/11/86	10/17/86	35.00	0.00	735.00	0.00	735.00	0.00	735.00	0.00	735.00	0 C01
22	10/18/86	10/24/86	35.00	0.00	770.00	0.00	770.00	0.00	770.00	0.00	770.00	3 C01
23	10/25/86	10/31/86	35.00	0.00	805.00	0.00	805.00	0.00	805.00	0.00	805.00	17 C02
24	11/01/86	11/07/86	35.00	0.00	840.00	0.00	840.00	0.00	840.00	0.00	840.00	19 C01

Fig. 6.19 - Profilo di carico dell'attrezzatura A prima del bilanciamento.

PLANNED PERIOD BEGINNING DATE	MATERIAL CAPACITY	FORMAL CAPACITY	LTN	FCR	CUSTOMER CAPACITY	PLANNED LOAD	VARIANCE	LOAD	CUMULATIVE CAPACITY	CUMULATIVE LOAD	CUMULATIVE VARIANCE	CUMY LOAD	EXC
PAST DATE													
1 05/24/86 (353)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	35.00	0.00	35.00	0	C01
2 05/31/86 (354)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	70.00	0.00	70.00	0	C01
3 06/07/86 (355)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	105.00	0.00	105.00	0	C01
4 06/14/86 (373)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	140.00	0.00	140.00	0	C01
5 06/21/86 (375)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	175.00	0.00	175.00	0	C01
6 06/28/86 (380)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	210.00	0.00	210.00	0	C01
7 07/05/86 (383)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	245.00	0.00	245.00	0	C01
8 07/12/86 (395)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	280.00	0.00	280.00	0	C01
9 07/19/86 (400)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	315.00	0.00	315.00	0	C01
10 07/26/86 (405)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	350.00	0.00	350.00	0	C01
11 08/02/86 (410)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	385.00	0.00	385.00	0	C01
12 08/09/86 (415)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	420.00	0.00	420.00	0	C01
13 08/16/86 (420)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	455.00	0.00	455.00	0	C01
14 08/23/86 (425)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	490.00	0.00	490.00	0	C01
15 08/30/86 (430)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	525.00	0.00	525.00	0	C01
16 09/06/86 (435)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	560.00	0.00	560.00	0	C01
17 09/13/86 (440)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	595.00	0.00	595.00	0	C01
18 09/20/86 (445)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	630.00	0.00	630.00	0	C01
19 09/27/86 (450)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	665.00	0.00	665.00	0	C01
20 10/04/86 (455)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	700.00	50.00	650.00	7	C02
21 10/11/86 (460)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	735.00	100.00	635.00	12	C01
22 10/18/86 (465)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	770.00	150.00	620.00	15	C01
23 10/25/86 (470)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	805.00	200.00	605.00	19	C01
24 11/01/86 (475)	35.00	35.00	1.00		35.00	35.00	0.00	0	840.00	250.00	590.00	19	C01

Fig. 6.21- Profilo di carico dell'attrezzatura A dopo il bilanciamento

MRPS-R132

MANUFACTURING RESOURCE PLANNING SYSTEM
DISPATCH LIST

PAGE 1
DATE 10/01/86 (449)

WORK CENTER: AT.A

DESC: ATTREZZATURA A

DEPT: ****

DISPATCH HORIZON: THRU 11/05/86 (474)

PART NUMBER	ORDER-ID	SEQ NBR	OPERATION	OPER STAT	OPER DATES	ORDER DUE DATE	CURRENT OP QTY	PRTY
9.268	000403-001	0010-0-00	NA	NA	10/04-10/08	10/08/86	500	1.25
9.265	000339-001	0010-0-00	NA	NA	10/06-10/18	10/18/86	1,500	1.37
9.265	000382-001	0010-0-00	NA	NA	10/19-10/22	10/22/86	600	5.00
9.262	000355-001	0010-0-00	NA	NA	10/25-11/01	11/01/86	1,000	4.20
9.270	000417-001	0010-0-00	NA	NA	11/01-11/01	11/01/86	50	21.50

Fig. 6.23 - Tipi di particolari che insistono sull'attrezzatura A

dine relativo al codice 9.268, è stata evidenziata in fig. 6.24. (la data di consegna passa dall'8 Ottobre all'11 Novembre).

La scelta di tale particolare non è casuale. Infatti:

- i livelli di scorta del codice 9.268 sono tali da garantire l'alimentazione del reparto di montaggio per tutto il mese di Ottobre;
- il lotto urgente richiesto dal montaggio necessita di una capacità produttiva pari a quella del lotto del codice 9.268;
- spostando in avanti l'ordine del codice 9.268 si riduce il carico sull'attrezzatura A, portandolo sui valori medi previsti (7 ore/giorno).

In fig. 6.24. sono riportati i dati relativi allo spostamento in avanti dell'ordine del codice 9.268.

In fig. 6.25. sono riportati i profili di carico nelle quattro settimane dell'attrezzatura A.

Come si può notare il carico nelle prime quattro settimane si è così modificato: 60%, 100%, 88%, 100%.

In fig. 6.26. infine è riportato il nuovo profilo di carico dell'FMS dopo le modifiche effettuate. Il carico complessivo non è modificato nelle quattro settimane di Ottobre per il fatto che i due lotti (quello pianificato e modificato, e quello urgente) richiedono il medesimo fabbisogno di capacità produttiva. Il carico sull'FMS nelle quattro settimane è ancora rispettivamente 100%, 99%, 101%, 99% della capacità produttiva.

In conclusione la soluzione sviluppata per la Rossi Motoriduttori, cioè la programmazione a livello aggregato dell'AFS' Saimp con i vincoli derivanti da un numero di 12 tipologie di attrezzature per un numero fisico complessivo di 15, sembra essere realizzabile nelle attuali modalità operative di gestione dell'impianto.

Ci si può chiedere se la soluzione individuata sia ancora applicabile a fronte di un aumento del numero di attrezzature che renderebbe complesso il bilanciamento globale del carico al livello 4.1. di CRP.

In linea generale la tendenza alla Rossi Motoriduttori è quella di allargare il mix di produzione. Alla data attuale, ad un anno dallo svolgimento dello studio di simulazione, il mix di produzione è stato allargato a 70 particolari mantenendo il medesimo numero di attrezzature.

Nella prospettiva di un ulteriore allargamento del mix la linea che i responsabili della gestione dell'FMS intendono seguire è quello di puntare comunque su attrezzature di tipo modulare. L'attuale tipologia di 10⁵⁸ attrezzature modulari sembra in grado di affrontare perfettamente l'ampliamento del mix.

In ultima analisi l'approccio individuato sembra essere proponibile in generale al di là di situazioni contingenti.

⁵⁸ Delle 12 tipologie di attrezzature solo le 2 attrezzature G e H sono dedicate (vedi fig. 6.14.).

