31

EDIZIONI RITMAN

LOGISTICA Management

IL SERVIZIO ■ L'APPROVVIGIONAMENTO ■ LA PRODUZIONE ■ LA DISTRIBUZIONE

IL TRASPORTO DELLE MERCI PERICOLOSE VIA STRADA

ORGANIZZAZIONE E COMUNICAZIONE

ALLA RICERCA DEL MIGLIORAMENTO

INTEGRAZIONE E COORDINAMENTO NELLA GESTIONE DELLA LOGISTICA DISTRIBUTIVA

CARATTERISTICHE DELLA PRODUZIONE RIPETITIVA

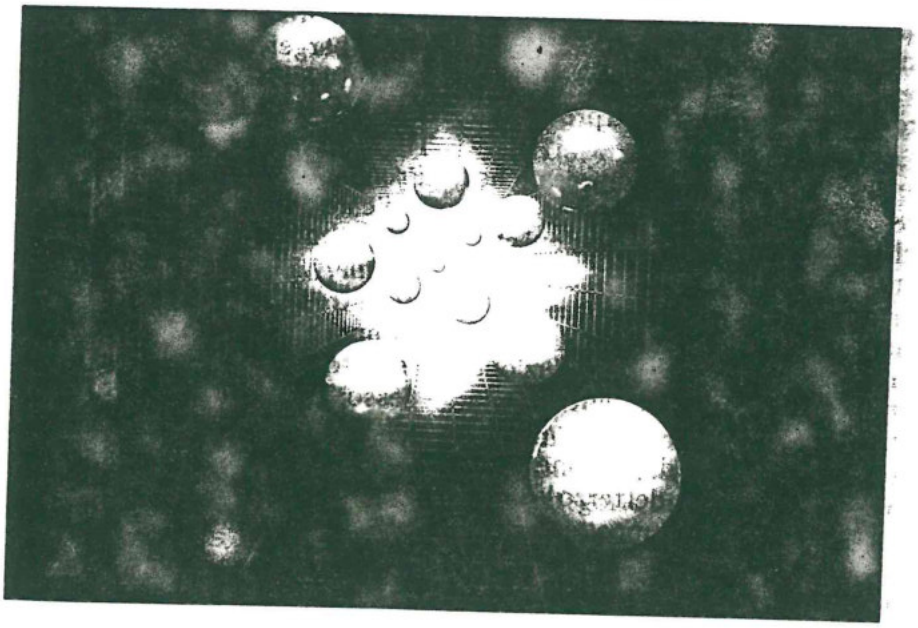
SPED. IN ABB. POSTALE GR. III/70 - LIRE 9.500 - EDIZIONI RITMAN S.r.l. - VIA SETTEMBRINI, 35 - 20124 MILANO - ISSN 1120-3587

N° 17 - MAGGIO 1991

Caratteristiche della produzione ripetitiva

Caratteristiche della produzione ripetitiva e degli impianti che la realizzano, con evidenza degli elementi fondamentali che la differenziano dalla produzione intermittente.

di Alberto De Toni e Roberto Panizzolo



1 - Introduzione

Gli autori intendono sviluppare in una serie di articoli il tema della produzione ripetitiva in relazione a quella intermittente nelle imprese manifatturiere.

L'argomento viene affrontato in quattro lavori che verranno pubblicati in numeri successivi di questa stessa rivista.

Il primo, cioè il seguente, è finalizzato a classificare le diverse modalità produttive e a descrivere le caratteristiche della produzione ripetitiva in relazione a quella intermittente, con evidenza degli elementi di differenziazione tra i due ambienti produttivi.

Alberto De Toni (Università di Udine)
Roberto Panizzolo (Università di Padova)

Nel secondo lavoro saranno individuati i contesti applicativi degli impianti che realizzano la produzione intermittente e quella ripetitiva e gli effetti derivanti da azioni simultanee sul prodotto e sul processo nei due sistemi di produzione.

Nel terzo lavoro verrà proposto un quadro concettuale interpretativo che costituisce una chiave di lettura delle differenze di gestione nei due principali contesti manifatturieri - produzione intermittente e produzione ripetitiva - all'interno dei tre sottosistemi base di governo della produzione: pianificazione, gestione scorte e controllo avanzamenti.

Nel quarto e ultimo lavoro saranno descritti gli strumenti di natura informatica a supporto della gestione dei sistemi produttivi ripetitivi.

Il sempre maggiore interesse verso l'ambiente produttivo ripetitivo è dovuto alle grandi potenzia-

lità che tale sistema offre nel raggiungimento simultaneo di prestazioni di efficienza e di efficacia. Le opportunità offerte derivano dalla più facile applicazione di quell'insieme di tecniche che vanno sotto il nome di just-in-time (Monden, 1986; Bartezzaghi e Turco, 1988).

La crescente attenzione con la quale si guarda ai sistemi ripetitivi si è tradotta e si sta traducendo, nel mondo scientifico e in quello industriale, in convegni, dibattiti, seminari e contributi in libri ed articoli. Le principali tematiche oggetto di dibattito sono le seguenti:

- quali sono le caratteristiche della produzione ripetitiva in contrapposizione a quelle della produzione intermittente;
- quali sono le modalità di gestione della produzione nei contesti produttivi ripetitivi in relazione a quelle utilizzate nei sistemi produttivi intermittenti;
- quali sono le caratteristiche dei sistemi informativi di supporto alla gestione dei sistemi produttivi ripetitivi;
- quali sono le possibilità per una impresa, che opera con processi produttivi intermittenti, di operare con processi ripetitivi e quali sono le azioni che devono essere intraprese in tal senso.

Il primo tema sulle caratteristiche della produzione ripetitiva in relazione a quelle della produzione intermittente rappresenta l'ambito di studio di questa e della successiva nota.

Il secondo tema sulle modalità di gestione della produzione ripetitiva sarà l'oggetto del terzo lavoro. Le tematiche che verranno ivi sviluppate sono di particolare interesse per quelle imprese manifatturiere che intendono evolvere, per quanto possibile, verso produzioni ripetitive. In queste aziende si utilizzano tecniche di gestione ideate e sviluppate per funzionare in ambienti produttivi manifatturieri intermittenti del tipo job-shop. Le difficoltà maggiori riguardano soprattutto, come vedremo, l'applicazione di tecniche di gestione innovative all'interno del sottosistema di controllo avanzamenti (Anderson, 1984; Sepehri e Raffish, 1989).

Il terzo argomento sui sistemi informativi della produzione ripetitiva sarà l'oggetto del quarto lavoro in cui verranno descritte le modalità con le quali vengono progettati e utilizzati i sistemi informativi impiegati in contesti produttivi ripetitivi. Le procedure informatiche impiegate nei sistemi produttivi intermittenti, che sottendono ovviamente le logiche di gestione dei sistemi produttivi del tipo job-shop, non possono essere applicate tout-court a contesti ripetitivi (Quillen, 1984; Thompson, 1983; Raffish, 1985). Il riferimento è ai sistemi di pianificazione e controllo della produzione, basati sull'MRP (Orlicky, 1975), evolutisi da semplici sistemi di pianificazione dei fabbisogni dei materiali fino a diventare quelli che oggi sono universalmente noti come Manufacturing Resources Planning - MRPII (Whight, 1989), ovvero Manufacturing Planning and Control Systems - MPCS, (Vollman e altri, 1988).

La quarta tematica oggetto di dibattito riguarda da un lato le condizioni operative che consentono una maggiore o minore introduzione di produzioni ripetitive all'interno del sistema produttivo e dall'altro gli interventi che devono essere intrapresi dalle imprese per ottenere maggiori gradi di ripetitività del sistema operativo. Sul primo aspetto esiste un'ampia discussione in letteratura a cui rimandiamo per ulteriori approfondimenti (Burbidge, 1982; Schonberger, 1983; Dicasall, 1986; Edsomwan e Marsh, 1989). Il secondo aspetto è stato già sviluppato da uno degli autori in collaborazione con altri (De Toni e altri, 1990; Caputo e De Toni, 1991). Prodotto, processo e programmazione sono state indicate come le tre aree classiche di intervento, nel quadro di politiche di miglioramento ispirate al just-in-time. All'interno di ciascuna area sono stati proposti tre livelli di azione: prodotto, sottoassieme e componente in area prodotto; processo produttivo, reparto e singola macchina operativa in area processo; lungo, medio e breve periodo in area programmazione. Tale tema non verrà pertanto trattato in seguito.

Gli obiettivi che ci si pone in questo primo lavoro sono di seguito riportati:

- chiarire che cosa si intende con il termine produzione ripetitiva il cui significato non è ancora univocamente accettato in letteratura;
- proporre una classificazione delle modalità produttive che comprenda - tra le classi individuate - quella ripetitiva e una corrispondente classificazione dei rispettivi sistemi produttivi;
- descrivere la disposizione in linea, tipica della produzione ripetitiva;
- esaminare le possibilità applicative della produzione ripetitiva in relazione ai volumi di produzione richiesti e ai gradi di flessibilità necessari;
- pervenire ad una classificazione degli impianti produttivi a flusso in linea o ripetitivi;
- individuare tra i sistemi produttivi intermittenti quelli che presentano forti analogie con i sistemi di produzione ripetitiva;
- descrivere gli elementi fondamentali che differenziano le due modalità produttive intermittente e ripetitiva.

2 - Significato attribuito al termine produzione ripetitiva

Riteniamo opportuno, prima di analizzare le caratteristiche della produzione ripetitiva, dare una corretta definizione del termine ripetitivo, in modo da delimitare chiaramente l'ambito di analisi; nel fare ciò cercheremo anche di eliminare quelle ambiguità che talora si riscontrano in vari contributi presenti in letteratura sul tema.

Il termine "produzione ripetitiva" è relativamente recente. Viene coniato agli inizi degli anni '80 da un gruppo di studiosi e professionisti aderenti all'APICS[1]. Tra questi Hall (1981) individua con tale locuzione «la fabbricazione e l'assemblaggio di prodotti standard ottenuti in elevati volumi, oppure solamente l'assemblaggio di prodotti ottenuti in elevati volumi a partire da opzioni standard. ...L'assemblaggio di prodotti finiti in elevati volumi unitari viene talvolta definito "produzione di massa"».

Il Dizionario APICS definisce la produzione ripetitiva come «la produzione di unità discrete, pianificata e realizzata sulla base di un programma, caratterizzata normalmente da bassi tempi di attraversamento e alti volumi.

Durante le fasi del processo di produzione, i materiali tendono a muoversi lungo un flusso continuo con codici diversi che possono essere realizzati in sequenza all'interno del flusso» (APICS Dictionary, 1987).

Da queste definizioni possiamo già cogliere alcune delle peculiarità dei sistemi produttivi ripetitivi. Innanzi tutto essi vengono progettati per far fronte solitamente a richieste di elevati volumi di un singolo tipo di prodotto o di una ristretta gamma di prodotti impiegando processi specifici generalmente in linea. In secondo luogo il volume in uscita, oltre ad essere elevato, è costituito da un flusso discreto e non continuo di oggetti.

Questo significa che con il termine ripetitivo non si considerano quei sistemi che vanno sotto il nome di industrie di processo, nelle quali il valore aggiunto viene ottenuto grazie a operazioni di miscelazione, separazione, deformazione o, più in generale, mediante reazioni che possono essere sia chimiche che fisiche.

Riteniamo importante sottolineare ciò perché talvolta alcuni contributi di letteratura possono creare confusione e portare a errate convinzioni. Probabilmente questi fraintendimenti sono dovuti all'uso estensivo che si è fatto del termine "continuous" coniato prima dell'aggettivo "repetitive" e spesso ritenuto avente il medesimo significato e quindi impiegato come sinonimo.

I sistemi continui sono stati sempre intesi come sistemi caratterizzati da:

- un lay-out in cui le unità produttive sono disposte in sequenza in base alle fasi di produzione;
- cicli di lavorazione fissi;
- flussi di materiali che si muovono continuamente seguendo itinerari prestabiliti.

E' evidente che partendo da questa definizione non si riesce a stabilire univocamente se ci si riferisce a sistemi produttivi per parti (discreti) o per processo.

Dilworth (1989) ad esempio usa il termine "continuous manufacturing" per indicare indifferentemente sia la produzione per processo che quella per parti. Hall (1985) invece, intende per produzione continua solo la trasformazione, senza interruzione, di materiali non discreti mediante operazioni di estrazione, distillazione, laminazione, fucinazione e così via.

Il superamento dei problemi di classificazione che si pongono richiede, a nostro avviso, di focalizzare l'attenzione non solo sulla modalità con cui si ottiene il prodotto (per parti o unità discrete e per processo) e cioè sulla natura dell'output, ma anche sulla modalità con cui si realizza il volume di produzione e cioè a prodotto singolo o unitaria, a lotti e a flusso.

Dall'incrocio delle due modalità di classificazione indicate si ottiene la matrice di figura 1 che individua sei categorie di produzione:

- produzione individuale;
- produzione unica;
- produzione intermittente;
- produzione discontinua;
- produzione ripetitiva;
- produzione continua.

Fig. 1 - Matrice di classificazione delle modalità di produzione.

CLASSIFICAZIONE SECONDO IL MODO DI REALIZZARE IL VOLUME DI PRODUZIONE / CLASSIFICAZIONE SECONDO IL MODO DI REALIZZARE IL PRODOTTO	PRODUZIONE SINGOLA	PRODUZIONE A LOTTI	PRODUZIONE A FLUSSO
PRODUZIONE PER PARTI (PRODOTTI INTEGRALI)	1 PRODUZIONE INDIVIDUALE	2 PRODUZIONE INTERMITTENTE	3 PRODUZIONE RIPETITIVA
PRODUZIONE PER PROCESSO (PRODOTTI DIMENSIONALI)	4 PRODUZIONE UNICA	5 PRODUZIONE DISCONTINUA	6 PRODUZIONE CONTINUA

Con l'espressione, sistemi produttivi a flusso, si intende una organizzazione produttiva nella quale la disposizione degli impianti e dei centri di lavoro dà luogo a cicli stabili, rigidamente definiti e generalmente complessi. I collegamenti tra le diverse fasi di ciascun ciclo sono stretti, la specializzazione degli impianti, macchine, mezzi di movimentazione è alta e ciò consente un flusso senza interruzioni dei materiali durante il processo di produzione che dà luogo ad un tempo di attraversamento breve o brevissimo, mentre il percorso di ogni elemento è predeterminato passando per le previste operazioni che possono anche variare nell'ambito delle modificazioni stabilite per la gamma da produrre.

L'elemento distintivo di questi sistemi è la presenza di un flusso di materiali, per cui l'intera organizzazione può essere vista come una pipeline nella quale ciò che entra da una estremità deve necessariamente uscire dall'altra, dopo opportune trasformazioni, senza avere la possibilità di "scendere" nel tratto intermedio (Merli, 1989).

La definizione data della produzione a flusso non implica necessariamente la determinazione del tipo di output, che può essere ottenuto per parti o per processo, come indicato in matrice di figura 1.

Utilizzando la distinzione proposta dalla Woodward (1975) - che suddivide i sistemi produttivi in due classi: «quelli che fanno prodotti integrali (oggetti definiti) e quelli che fanno prodotti dimensionali (cioè misurabili per peso, capacità o volume)» - si è associato alla produzione per parti la categoria "prodotti integrali" e alla produzione per processo la categoria "prodotti dimensionali".

La matrice proposta individua nel quadrante 1 la "produzione individuale" o per unità distinte come una produzione singola o unitaria di un prodotto ottenuto per parti, mentre il quadrante 4 individua la "produzione unica" come una produzione singola o unitaria di un prodotto ottenuto per processo.

Il quadrante 2 individua la "produzione intermittente" come una produzione a lotti di prodotti ottenuti per parti. Questi ambienti produttivi sono contraddistinti da un processo produttivo nel quale i materiali vengono lavorati e movimentati in quantità predefinite (lotti), secondo cicli di lavorazione variabili, con prelievi e versamenti a magazzino più o meno frequenti. Il dizionario APICS definisce la produzione intermittente come «una forma di organizzazione della produzione in cui le unità produttive sono disposte secondo un lay-out funzionale. I materiali attraversano i reparti funzionali in lotti e ogni lotto è caratterizzato da un ciclo produttivo differente» (APICS Dictionary, 1987). Il quadrante 5 individua la "produzione discontinua" come una produzione a lotti di prodotti ottenuti per processo.

Fig. 2 - Matrice di classificazione degli impianti produttivi e dei prodotti dei relativi settori industriali di applicazione.

CLASSIFICAZIONE SECONDO IL MODO DI REALIZZARE IL VOLUME DI PRODUZIONE / CLASSIFICAZIONE SECONDO IL MODO DI REALIZZARE IL PRODOTTO	PRODUZIONE SINGOLA	PRODUZIONE A LOTTI	PRODUZIONE A FLUSSO
PRODUZIONE PER PARTI	1 CANTIERI – Costruzioni civili – Navi	2 JOB-SHOP E CELLE – Macchine utensili	3 LINEE DISCRETE – Automobili
PRODUZIONE PER PROCESSO	4 LABORATORI – Prodotti chimici di sintesi	5 IMPIANTI BATCH – Polimeri – Prodotti petrolchimici	6 LINEE DI PROCESSO – Fertilizzanti – Trafilati

Infine il quadrante 3 classifica la "produzione ripetitiva" come una produzione a flusso di prodotti ottenuti per parti e nel quadrante 6 la "produzione continua" come una produzione a flusso di prodotti ottenuti per processo. Entrambe le produzioni, ripetitiva e continua, sono caratterizzate da un flusso omogeneo ed incessante di materiali che fluiscono lungo le unità produttive fino all'ottenimento dei prodotti finiti.

In figura 2 sono riportati gli impianti produttivi che realizzano le sei modalità produttive sopra esposte ed esempi di prodotti dei relativi settori industriali di applicazione.

La produzione individuale si riferisce a grandi costruzioni civili come ponti o dighe, o industriali come navi. La realizzazione di tali opere avviene tipicamente in cantiere (quadrante 1: cantieri).

La produzione unica è rappresentativa di produzioni "una tantum" di prodotti di sintesi derivanti da attività di ricerca e sviluppo di laboratori industriali nel settore chimico-farmaceutico (quadrante 4: laboratori).

Classici sistemi manifatturieri nei quali si realizza la produzione intermittente sono i job-shop e le celle. Le celle, ottenute secondo gli approcci della "Group Technology" (Burbidge, 1975), sono preposte alla lavorazione di famiglie di codici e si contraddistinguono dal job shop per una minore dimensione dei lotti di produzione, minori quantità di semilavorati intermedi e da tempi di attraversamento più brevi. In altre parole le celle sono sistemi produttivi a minor grado di "intermittenza" rispetto ai job-shop. Quando le celle sono dotate di macchinari ad alto grado di specializzazione vengono altresì dette celle dedicate, per sottolineare la loro predisposi-

zione alla lavorazione di una famiglia meno numerosa di codici, realizzando una maggiore produttività anche se associata ad una minore flessibilità al mix. Un classico sistema produttivo a celle presuppone che all'interno di ogni cella vengano eseguite, per i codici appartenenti ad una determinata famiglia, tutte le lavorazioni previste dal ciclo produttivo.

Il layout di un tale sistema prevede una disposizione delle celle in parallelo, ciascuna delle quali operante indipendentemente dalle altre.

Un'evoluzione di tale sistema consiste nell'orientare l'intero processo di trasformazione ad una sola famiglia di prodotti e di strutturalo secondo aree o celle tecnologiche preposte alla realizzazione di tutte le operazioni relative ad una determinata fase del processo di trasformazione. In questo caso le celle sono disposte secondo combinazioni più o meno complesse che prevedono un ramo principale, eventualmente suddiviso in due o più rami secondari, ed altri rami ausiliari convergenti su quello principale, con possibilità di bypass di intere celle.

Per distingere questo secondo tipo di sistema produttivo dal precedente, nel seguito utilizzeremo i termini rispettivamente di celle in serie e celle in parallelo.

Con il termine celle in serie si intende quindi un sistema produttivo composto da celle tecnologiche - ciascuna delle quali realizza una fase del ciclo produttivo - disposte in modalità tale da individuare una direttrice principale del flusso produttivo al fine di favorire il fruire dei materiali.

Tipico settore industriale della produzione intermittente è quello delle macchine utensili (quadrante 2: job-shop e celle).

La produzione discontinua riguarda prodotti chimici realizzati su impianti in modalità batch (a lotti) e per questo anche detti "batch processes". Esempi sono rappresentati da produzioni di polimeri e più in generale da quelle petrolchimiche (quadrante 5: impianti batch).

La produzione ripetitiva è realizzata principalmente su impianti e macchine disposti in linea come avviene tipicamente nell'industria automobilistica (quadrante 3: linee discrete).

Le trasformazioni della produzione continua avvengono in impianti di processo appositamente dedicati come nell'industria dei fertilizzanti e della trafilatura (quadrante 6: linee di processo).

La matrice proposta di figura 1 supera le ambiguità precedentemente segnalate sul significato attribuito al termine di produzione ripetitiva e di produzione continua.

I sistemi produttivi che realizzano le condizioni tipiche della produzione ripetitiva sono contraddistinti da una disposizione in linea delle unità operative. La linea infatti è la condizione primaria per ottenere una produzione a flusso. Le tematiche inerenti alla disposizione in linea saranno oggetto del successivo paragrafo.

3 - Disposizione in linea delle unità operative nella produzione ripetitiva

Una volta verificate le condizioni di applicabilità della produzione ripetitiva, ovvero volumi produttivi richiesti sufficientemente elevati, e individuate le unità tecnologiche necessarie (macchinari, centri di lavoro, sistemi di movimentazione, magazzini ecc.), è fondamentale, per realizzare la produzione a flusso ripetitiva, pervenire ad una disposizione in linea delle unità produttive.

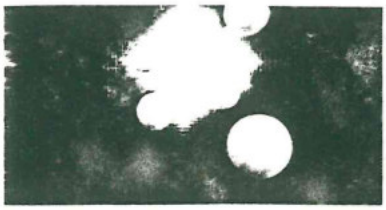
La definizione della disposizione planimetrica e il dimensionamento delle capacità delle varie unità, richiedono un'attenta attività di progettazione finalizzata a (Wild, 1985):

- massimizzare la produttività del sistema tramite la migliore utilizzazione dei macchinari e della manodopera;
- minimizzare la movimentazione dei materiali;
- rendere minimo il livello di scorte;
- ottenere la massima flessibilità compatibilmente con i livelli di produttività richiesti.

Le scelte fatte in questa area sono importanti perché determinano, contestualmente alle caratteristiche fisiche degli impianti, un insieme di vincoli che limitano le successive modalità di gestione e programmazione della produzione sulla linea.

Un sistema produttivo ripetitivo, nel quale la sequenza delle operazioni è predefinita, non ha come obiettivo quello di garantire l'ottenimento di una certa quantità di prodotto entro una determinata data, bensì quello di mantenere un flusso produttivo costante nel tempo (Saraceno, 1979).

Il concetto fondamentale che viene qui ribadito è quello del flusso, cioè di un movimento ripetitivo (e non intermittente) dei materiali attraverso le varie fasi del processo svolte in modalità sincronizzata: l'assenza di code consente di ridurre il tempo di attraversamento al tempo ciclo. Il flusso sincronizzato è l'elemento distintivo più rappresentativo dei processi produttivi ripetitivi, al punto che molti autori, parlando di produzione ripetitiva, usano indifferentemente il termine "flow-shop".



La definizione di un lay-out che consente di ottenere un flusso comporta il disporre le macchine secondo quanto richiesto dalla successione delle operazioni del ciclo di lavorazione. Il lay-out che caratterizza i sistemi ripetitivi è quello detto per prodotto o in linea.

Tra i diversi centri di produzione sono assenti (esclusi i magazzini intraoperazionali) gli stoccaggi: il governo del sistema avviene pertanto attraverso la regolazione dei flussi di input e di output globali che collegano l'intero sistema con l'esterno e dei flussi parziali interni tra ciascun centro e quelli di monte e di valle.

I singoli centri hanno in generale un elevato grado di specializzazione tecnologica e sono dimensionati in funzione delle quantità di prodotti realizzati in linea. Il carico e lo scarico dei materiali può essere manuale o automatico e la movimentazione tra i centri avviene secondo percorsi rigidi spesso automatizzati come nel caso dei nastri trasportatori.

La rigidità della linea può essere ridotta introducendo presso le stazioni di lavoro, nelle macchine e nel sistema di movimentazione maggiore versatilità ed adattabilità in modo da ampliare la gamma dei prodotti ottenuti. Tipico è il caso delle linee flessibili "mixed-model" descritte nel successivo paragrafo 5.

4 - Volumi unitari di produzione e flessibilità al mix nella produzione ripetitiva

Come accennato più sopra la produzione ripetitiva presuppone volumi produttivi unitari sufficientemente elevati. Solo questi infatti giustificano, rispetto alla produzione intermittente, una disposizione in linea delle macchine finalizzata ad ottenere il fluire continuo dei materiali e l'ottenimento di elevate prestazioni in termini di efficienza.

I volumi produttivi complessivi annui possono derivare dalla produzione di un unico codice o di un mix prefissato più o meno ampio di codici. Le sempre maggiori esigenze del mercato per quanto riguarda la varietà dei prodotti richiesti impongono alle imprese di differenziare i prodotti finiti. A parità di quantità di prodotti venduti, diminuiscono quindi i volumi di produzione per singolo prodotto finito. Pertanto per le imprese industriali che intendono ottenere una grande efficienza realizzando i diversi prodotti finiti in modalità ripetitiva, diventa sempre più importante raggiungere i volumi minimi che giustificano tale produzione concentrando sulla medesima linea di assemblaggio la realizzazione di gran parte o dell'intera gamma di prodotti offerti.

I volumi sufficienti per legittimare la scelta di fabbricare in linea uno o più codici si possono ottenere quando si perseguono politiche di standardizzazione che conducono all'utilizzo di questi componenti su gran parte o tutta la gamma dei prodotti.

In ultima analisi la produzione ripetitiva consente grandi efficienze, ma richiede alti volumi unitari in entrambe le fasi di fabbricazione e montaggio; la fabbricazione su linee dedicate o parzialmente flessibili di pochi codici è ottenibile nel quadro di ampie politiche di standardizzazione che consentono l'aumento dei volumi unitari dei codici; l'esigenza di differenziazione dei prodotti impone la realizzazione di linee di assemblaggio sufficientemente flessibili capaci di eseguire il montaggio di tutti i prodotti (o quantomeno di una famiglia).

La struttura di prodotto che consente di rispondere a queste esigenze, poste dalla volontà di perseguire i vantaggi derivanti dalla produzione a flusso ripetitiva, è nota come struttura a clessidra (Da Villa, De Toni, 1988). I prodotti finiti sono disponibili in un'ampia gamma a partire da un numero ridotto di componenti, sottoassiemi e gruppi funzionali.

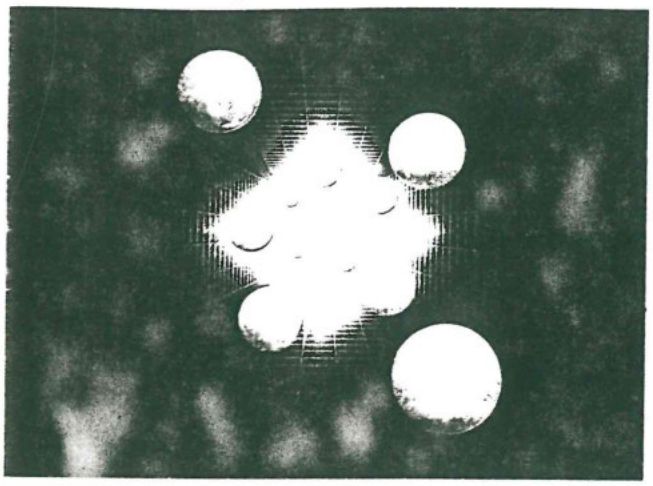
La strutturazione del prodotto a clessidra consente di coniugare prestazioni di flessibilità e di efficienza, tramite la variabilità del prodotto ottenuta nelle fasi finali di assemblaggio realizzato su linee flessibili e tramite la standardizzazione dei componenti prodotti su linee dedicate o flessibili.

La ricerca testé descritta, di maggiori volumi unitari per consentire una produzione a flusso in linea, porta nella maggior parte dei casi, alle condizioni ottimali per l'introduzione di elevati gradi di automazione del processo. Infatti nella produzione in linea i prodotti e i processi hanno un alto grado di dipendenza reciproca, le operazioni produttive si svolgono in modo continuo con una sequenza strettamente connessa al ciclo di lavorazione.

Le forme di automazione più appropriate per le linee dedicate e quelle flessibili sopra citate sono rispettivamente l'automazione rigida e quella flessibile.

Le applicazioni di automazione rigida presuppongono un ciclo tecnologico con caratteristiche tipicamente costanti nel tempo e una produzione a flusso di oggetti uguali per i quali varianti e optional non sono ammessi.

L'automazione flessibile consente invece la realizzazione di cicli tecnologici variabili nel tempo relativi a codici differenti. Il medesimo centro di



lavoro può eseguire più operazioni diverse sul medesimo pezzo o la stessa operazione su pezzi diversi con tempi di set-up brevissimi in modalità cosiddetta "mascherata". Classici sistemi flessibili sono le transfer flessibili (di fabbricazione o montaggio), gli FMS (Flexible Manufacturing Systems) e i FAS (Flexible Assembly Systems) (Browne e altri, 1984).

Le transfer flessibili sono linee automatizzate di produzione o montaggio dotate di un un certo grado di flessibilità. Esse sono caratterizzate da un flusso di materiali che transitano, mediante un sistema di trasporto automatico, attraverso le macchine, in una sequenza fissa; la flessibilità deriva dalle capacità multifunzionali delle singole unità operative e dalla possibilità che un pezzo eviti una delle stazioni della linea (bypass) o almeno vi passi attraverso senza essere lavorato. Negli FMS e nei FAS il grado di flessibilità è ancora maggiore rispetto alle transfer flessibili in quanto non esiste un percorso predeterminato da seguire. I pezzi da lavorare si muovono attraverso il sistema di movimentazione a seconda del particolare ciclo da svolgere e della situazione dinamica del carico macchine e del mix in lavorazione.

Le operazioni di fabbricazione e montaggio, ottenute a livelli più o meno automatizzati, vanno comunque realizzate secondo il "mushroom concept", ovvero una differenziazione a fungo (Mather, 1988). Le operazioni di personalizzazione del prodotto sono collocate nelle fasi terminali del ciclo di produzione al fine di poter eseguire al più tardi possibile la differenziazione del prodotto, rispondendo così più efficacemente alla variabilità della domanda.

Nel successivo paragrafo si proporrà una classificazione degli impianti che realizzano la produzione a flusso in linea o ripetitiva arrivando ad individuare sei tipologie di linee.

5 - Classificazione degli impianti con produzione a flusso in linea o ripetitivi

Chiarito che la produzione ripetitiva è una produzione a flusso di prodotti realizzati per parti su impianti in linea, è opportuno, per una maggiore comprensione delle modalità di trasformazione impiegate in questo contesto manifatturiero, pervenire ad una classificazione delle diverse linee riscontrabili nelle varie realtà produttive.

Le variabili che prenderemo in esame per ottenere lo schema di classificazione sono quattro (Aneke e Carrie, 1984):

- direzione del flusso;
- natura della sequenza delle operazioni;
- numerosità dei codici che possono essere realizzati sulla linea;
- modalità di produzione dei codici.

Per quanto riguarda la prima variabile, direzione del flusso, i valori che essa può assumere sono due a seconda che i materiali possano spostarsi sulla linea soltanto in una direzione oppure in entrambe:

- flusso monodirezionale;
- flusso bidirezionale.

La seconda variabile individua la natura della sequenza di operazioni ottenibile sulla linea. La sequenza può essere di tre diversi tipi:

- fissa;
- variabile con bypass;
- variabile con backtracking.

La sequenza fissa è la classica situazione nella quale le operazioni svolte presso le diverse stazioni disposte lungo la linea vengono tutte obbligatoriamente eseguite sui codici che transitano.

Con il bypass esiste invece la possibilità per i codici di saltare una o più delle operazioni previste dalla sequenza di lavorazione.

I codici infine che fluiscono su una linea caratterizzata da una sequenza di tipo backtracking hanno la possibilità di ritornare indietro, su stazioni a monte rispetto a quella raggiunta sulla linea, per ripetere una o più operazioni precedenti o per eseguire operazioni in un primo tempo saltate.

Le linee contrassegnate da un flusso monodirezionale dei codici possono essere dotate sia di sequenza fissa che variabile con bypass, mentre le linee bidirezionali permettono tutte e tre le sequenze: fissa, variabile con bypass e backtracking.

La terza variabile, ovvero la numerosità dei codici, precisa il numero di codici diversi che possono

essere ottenuti sulla singola linea. Da questo punto di vista le linee si suddividono in due classi:

- monoprodotto, sulle quali si realizza un unico prodotto;
- multiprodotto, sulle quali si ottiene un insieme più o meno ampio di prodotti diversi.

La quarta ed ultima variabile, modalità di produzione, riguarda solamente le linee in grado di realizzare prodotti diversi per quanto concerne le modalità di realizzazione del volume di produzione:

- a produzioni successive;
- mixata.

Nei sistemi con produzioni successive, i diversi prodotti vengono realizzati sulle linee che risultano essere dedicate in successione, per periodi di tempo significativi, alla produzione di un singolo codice. La produzione cosiddetta "mixata" presuppone invece la lavorazione di sequenze di quantità di prodotti diversi che riproducono nel breve o brevissimo periodo il mix di produzione del lungo periodo secondo il principio "mix micro=mix macro".

Tenendo presente le relazioni di mutua interdipendenza esistenti tra le quattro variabili appena descritte, è possibile ridurle a due "macro" variabili:

- "tipo di flusso", combinazione delle due variabili, direzione del flusso e natura della sequenza delle operazioni; i valori che possono essere assunti da questa variabile sono:
  - flusso monodirezionale;
  - flusso monodirezionale con bypass;
  - flusso bidirezionale con backtracking;
- "numerosità e modalità produttive dei codici", combinazione delle ultime due variabili; i valori che possono essere assunti da questa variabile sono:
  - linea monoprodotto;
  - linea multiprodotto a produzioni successive;
  - linea multiprodotto mixata.

L'incrocio di queste due "macro" variabili dà origine alla matrice di classificazione degli impianti con produzione a flusso ripetitiva rappresentata in figura 3.

Fig. 3 - Matrice di classificazione degli impianti con produzione a flusso ripetitiva.

TIPO DI FLUSSO / NUMERO DI PRODOTTI E MODALITÀ PRODUTTIVE	FLUSSO MONODIREZIONALE (DIREZIONE E SEQUENZA FISSI)	FLUSSO MONODIREZIONALE CON BYPASS (DIREZIONE FISSA E SEQUENZA VARIABILE)	FLUSSO BIDIREZIONALE CON BACKTRACKING (DIREZIONE E SEQUENZA VARIABILI)
LINEA MONOPRODOTTO	1 LINEA DEDICATA	2	3
LINEA MULTIPRODOTTO A PRODUZIONI SUCCESSIVE (MOLTI TEMPI DI SET-UP)	4 LINEA MULTIPRODOTTO A PRODUZIONI SUCCESSIVE MONODIREZIONALE	5 LINEA MULTIPRODOTTO A PRODUZIONI SUCCESSIVE CON BYPASS	6 LINEA MULTIPRODOTTO A PRODUZIONI SUCCESSIVE CON BACKTRACKING
LINEA MULTIPRODOTTO MIXATA (BASSI O NULLI TEMPI DI SET-UP)	7 LINEA MIXED MODEL	8 LINEA MIXED MODEL CON BYPASS	9

La matrice evidenzia nove potenziali classi teoriche di impianti in linea. Sei corrispondono ad effettivi impianti in linea:

- linea dedicata;
- linea multiprodotto a produzioni successive monodirezionale;
- linea multiprodotto a produzioni successive con bypass;
- linea multiprodotto a produzioni successive con backtracking;
- linea mixed model;
- linea mixed model con bypass.

I quadranti 2 e 3 individuano impianti che non hanno applicazioni reali, dal momento che per una linea monoprodotto non ha senso prevedere bypass o backtracking. Anche al quadrante 9 è associata una condizione operativa non esistente. Infatti la modalità di produzione con "mix-micro = mix-macro" presuppone la lavorazione di prodotti affini, appartenenti a famiglie di prodotto con cicli produttivi simili, e ciò rende sovrabbondante disporre di flussi bidirezionali.

La matrice di figura 3 individua nel quadrante 1 la classica linea dedicata monodirezionale, preposta alla realizzazione di un unico codice che richiede una sequenza di operazioni predefinite e costanti svolte da un insieme di macchine disposte in linea. La movimentazione è ottenuta in genere tramite sistemi automatici, da cui il termine "linee a trasferimento di prodotto" o "transfer line". Il bilanciamento della linea viene stabilito in fase di progettazione della linea stessa con l'obiettivo di ottenere la saturazione della capacità produttiva. La situazione descritta presuppone altissimi volumi unitari dell'unico prodotto. Questi sistemi produttivi ripetitivi presentano caratteristiche così peculiari da richiedere sistemi di gestione della produzione particolari con funzioni essenzialmente di controllo tipiche delle industrie continue di processo.

La linea multiprodotto a produzioni successive monodirezionale, la linea multiprodotto a produzioni successive con bypass e la linea multiprodotto a produzioni successive con backtracking, sono posizionate rispettivamente nei quadranti 4, 5 e 6 della matrice.

Su queste linee è possibile realizzare in successione diversi tipi di codici, ciascuno dei quali attraversa l'insieme delle stazioni operative per un periodo di tempo significativo (uno o più giorni), pari a quello necessario per realizzare le quantità predefinite dei prodotti. Tra una produzione e la successi-

va, si rende necessario riconfigurare l'intera linea e generalmente l'attività di set-up assume importanza rilevante in questo contesto. Il bilanciamento della linea deve essere ridefinito ad ogni cambio produzione: il grado di saturazione ottenibile è condizionato dalle stazioni di volta in volta collo di bottiglia. Il flusso può essere monodirezionale e in tal caso la sequenza di operazioni risulta fissa (per ogni produzione) come nel caso del quadrante 4, oppure il flusso è ancora monodirezionale con sequenza variabile tramite bypass (quadrante 5), oppure infine il flusso è bidirezionale con sequenza variabile tramite backtracking (quadrante 6).

Bypass e backtracking, se da un lato permettono di aumentare la flessibilità della linea e quindi di ampliare la gamma dei prodotti ottenibili, dall'altro comportano ovviamente una maggiore difficoltà di bilanciamento e più in generale di gestione della linea stessa.

Le linee multiprodotto a produzioni successive sono utilizzate in contesti produttivi nei quali, pur essendo elevato il volume globale dell'output, si è tuttavia in presenza di famiglie di prodotti con bassi volumi unitari che non giustificano quindi varie linee dedicate.

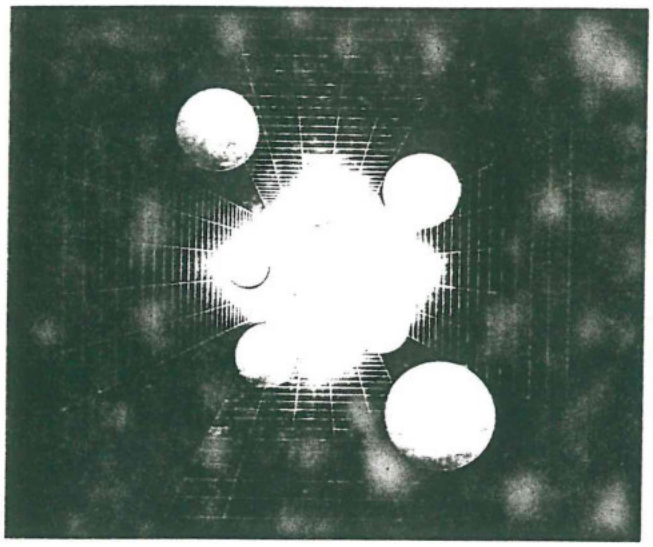
La varietà dei prodotti ottenibili e le più complesse attività di gestione impongono l'adozione di sistemi di pianificazione e controllo più sofisticati rispetto a quelli utilizzati per le linee dedicate.

All'interno delle linee multiprodotto mixate si distinguono linee mixed model e linee mixed model con bypass, rappresentate rispettivamente nei quadranti 7 e 8 della matrice di figura 3.

Analogamente al caso precedente anche nelle linee multiprodotto mixate è possibile realizzare codici diversi, appartenenti però in questo caso ad una stessa famiglia.

Grazie alla maggiore flessibilità delle linee, la rilevanza delle attività di set-up risulta notevolmente ridimensionata: l'entità delle quantità dei singoli codici da produrre viene drasticamente abbassata fino al limite del valore unitario, in quanto la linea è stata dotata di macchine e sistemi di movimentazione in grado di adattarsi facilmente e prontamente ai diversi codici che la attraversano. In questo modo si rende possibile un fluire dei codici tale per cui vi è il raggiungimento dell'uniformità temporale del mix, cioè di uno stato di continuità produttiva nel quale è possibile processare il mix dei prodotti in maniera uniforme nel tempo (De Toni e altri, 1990).

Queste linee mixate quindi - consentendo di produrre nel breve periodo un mix analogo a quello richiesto nel medio periodo (mix micro = mix macro) - permettono di raggiungere un equilibrio tra il flusso uscente di prodotti e la domanda del mercato. Questa condizione è importante per ottenere bassi livelli di scorte di prodotti finiti, diversamente da quanto avviene con linee multiprodotto a produzioni successive. Inoltre, la produzione di prodotti diversi in linea mixata, comportando un consumo uniforme dei componenti, facilita la sincronizzazione tra le linee del montaggio finale e le attività dei reparti produttivi di monte e semplifica le relative attività di programmazione della produzione.



Di contro, in queste linee mixate l'attività di bilanciamento risulta estremamente complessa in quanto, essendo diversi i modelli che attraversano la linea, diventa necessario alternare codici con basso e alto tempo di lavorazione. Questo bilanciamento si rende necessario ogni qualvolta nel macro periodo definito (ad esempio il mese) si modifica il mix da produrre. Il grado di saturazione ottenibile è condizionato dal particolare mix richiesto.

Campo applicativo principale delle linee mixate sono le linee di assemblaggio dove la flessibilità degli operatori e dei robot di montaggio consente una successione mista ovvero "mixata" di modelli. Più rare risultano le linee mixate di fabbricazione in quanto la flessibilità necessaria richiede investimenti cospicui. «...Negli Stati Uniti abbiamo in genere respinto l'idea di produrre mixed model nel preassiemaggio e nella fabbricazione, ma i Giapponesi si impegnano molto in questa direzione. Le presse attrezzate con rulliere a carosello alla Kawasaki sono un esempio di tentativi per avanzare verso un processo mixed model anche nella fabbricazione...» (Schomberger, 1987).

6 - Sistemi produttivi a celle in serie

Come appena detto, le linee mixate in fabbricazione - che realizzano le condizioni della produzione ripetitiva nelle fase di fabbricazione, fino ad oggi ottenuta solo con linee dedicate o a produzioni successive - sono ancora in un periodo di sperimentazione e sviluppo.

L'ottenimento di sistemi produttivi efficienti e sufficientemente flessibili, oltre che nelle fase di assemblaggio anche in quella di fabbricazione, richiede la costruzione di sistemi produttivi a celle disposte in serie.

In questo contesto manifatturiero intere fasi produttive - che presuppongono lo svolgimento di più operazioni - vengono svolte in apposite celle.

In ciascuna cella viene realizzato uno stadio produttivo complesso con elevati livelli di flessibilità.

Un sistema a celle in serie presenta aspetti vicini a quelli della produzione ripetitiva, anche se le caratteristiche principali sono quelle tipiche della produzione intermittente come la realizzazione dei codici per lotti. La disposizione in serie delle celle consente infatti l'individuazione di una linea - che può presentare anche rami ausiliari convergenti sul ramo principale - sulla quale si snoda il flusso dei materiali attraverso l'intero sistema. Contemporaneamente viene mantenuta l'ampia flessibilità caratteristica della produzione intermittente, in quanto all'interno delle celle è consentito lo svolgimento di fasi complesse del ciclo di produzione di prodotti diversi. Rappresentativo di una tale configurazione produttiva è lo stabilimento della Zanussi-Electrolux di Susegana, preposto alla produzione di 1.100.000 frigoriferi all'anno disponibili in 40 modelli base per 1000 varianti totali, con un lotto di produzione minimo pari a 16 unità (Zanussi-Electrolux, 1988). Lo stabilimento è organizzato su 13 celle disposte in linea, con la presenza di due rami paralleli nelle fasi intermedie, dedicati rispettivamente alla realizzazione del mobile e alla formazione dei kit prima dell'assemblaggio finale.

Un sistema produttivo con un lay-out per celle in serie, come quello sopra descritto, consente un elevato grado di automazione tramite l'introduzione di FMS e FAS che rappresentano la naturale evoluzione in termini di automazione di celle rispettivamente di fabbricazione e montaggio (Ranky, 1983). Il sistema produttivo nel suo complesso risulta automatizzato ad un grado di flessibilità significativo, presentando caratteristiche simili a quelle della produzione a flusso in linea, se non all'interno dei singoli FMS o FAS, quantomeno all'interno dell'intero sistema produttivo.

7 - Caratteristiche che differenziano la produzione intermittente da quella ripetitiva

La produzione individuale, intermittente e ripetitiva sono state individuate in figura 1 mediante l'incrocio della natura dell'output (per parti) e della modalità con cui si realizza il volume di produzione e cioè a prodotto singolo, a lotti e a flusso.

Gli elementi fondamentali che differenziano le tre modalità produttive sono:

- il percorso dei materiali;
- la movimentazione dei materiali;
- l'attrezzaggio.

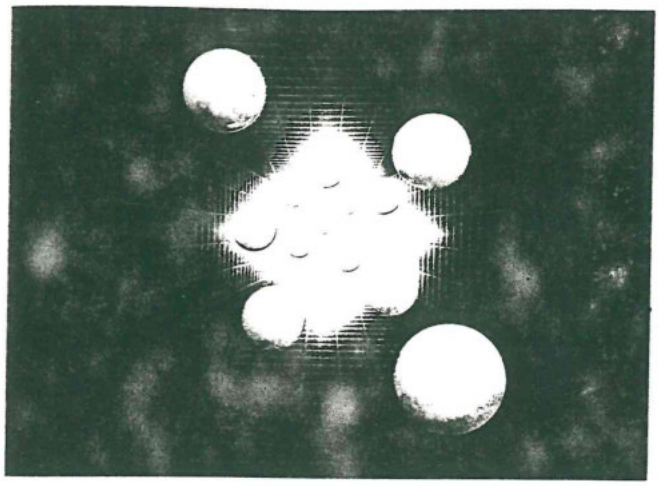
In figura 4 sono riportate schematicamente le caratteristiche differenzianti della produzione individuale, intermittente e ripetitiva[2].

Nella produzione individuale, i materiali seguono determinati percorsi all'interno del cantiere verso il luogo di costruzione del prodotto e vengono movimentati in quantità determinate dai fabbisogni. La problematica dell'attrezzaggio produttivo non risulta significativa.

Nella produzione intermittente è necessario distinguere tra job-shop, sistemi a celle in parallelo e sistemi a celle in serie. Una volta conclusa la lavorazione presso una macchina, i materiali si muovono tra macchine di reparti diversi nel job-shop, tra macchine all'interno della cella nei sistemi produttivi a celle sia in parallelo che in serie e tra celle

Fig. 4 - Caratteristiche differenzianti della produzione individuale, intermittente e ripetitiva.

MODALITÀ DI REALIZZARE IL VOLUME DI PRODUZIONE / CARATTERISTICHE DIFFERENZIANTI	PRODUZIONE INDIVIDUALE	PRODUZIONE INTERMITTENTE			PRODUZIONE RIPETITIVA		
TIPO DI IMPIANTO	CANTIERE	JOB-SHOP	CELLE IN PARALLELO	CELLE IN SERIE	LINEA MULTIPRODOTTO MIXATA	LINEA MULTIPRODOTTO A PRODUZIONE SUCCESSIVA	LINEA MONOPRODOTTO
PERCORSO DEI MATERIALI	CONVERGENTE VERSO L'AREA DI COSTRUZIONE	TRA MACCHINE DI REPARTI DIVERSI	TRA MACCHINE ALL'INTERNO DELLE STESSA CELLA	TRA MACCHINE ALL'INTERNO DELLE STESSA CELLA E TRA CELLE DIVERSE	TRA STAZIONI IN LINEA A FLUSSO		
MOVIMENTAZIONE DEI MATERIALI	PER SINGOLI PEZZI O GRUPPI	PER LOTTI	PER LOTTI (CON O SENZA OVERLAPPING) TRA MACCHINE DIVERSE DELLA STESSA CELLA	PER LOTTI (CON O SENZA OVERLAPPING) TRA MACCHINE DIVERSE DELLA STESSA CELLA E PER LOTTI TRA CELLE DIVERSE	PER SINGOLO PEZZO A FLUSSO		
RICONFIGURAZIONE O ATTREZZAGGIO	NON RILEVANTE	ATTREZZAGGIO DI SINGOLA MACCHINA	ATTREZZAGGIO DI SINGOLA MACCHINA O DI CELLA	ATTREZZAGGIO DI SINGOLA MACCHINA O DI CELLA	RICONFIGURAZIONE NON NECESSARIA	RICONFIGURAZIONE A OGNI CAMBIO DI PRODUZIONE	RICONFIGURAZIONE A OGNI CAMBIO MIX



diverse nei sistemi produttivi a celle in serie. La movimentazione avviene per lotti sia nel job-shop, sia nei sistemi a celle in parallelo che in quelli in serie. All'interno della singola cella la movimentazione tra le macchine può anche non avvenire per lotti qualora si utilizzi la modalità di lavorazione in "overlapping", secondo la quale ogni pezzo, conclusa una lavorazione, viene avviato singolarmente alla successiva.

Nell'esempio descritto delle celle in serie della Zanussi-Electrolux di Susegana, la movimentazione all'interno della cella avviene per singolo pezzo con alternarsi sulle macchine operative di pezzi appartenenti anche a lotti diversi, mentre la movimentazione tra celle avviene- nei casi di maggiore comùplessità gestionale - per lotti di dimensione minima pari a 16 unità, con la ricostruzione del lotto prima della movimentazione verso la cella successiva, come accade nella sincronizzazione degli appuntamenti tra mobili e i kit prima dell'assemblaggio finale.

Per quanto riguarda l'attrezzaggio nella produzione intermittente, esso avviene sulla singola macchina nei sistemi produttivi del tipo job-shop, mentre può interessare anche l'intera cella nei sistemi produttivi a celle.

Nella produzione ripetitiva il percorso dei materiali realizza un flusso tra stazioni disposte in linea, mentre la movimentazione avviene per singolo pezzo mediante sistemi di trasporto quali nastri trasportatori, linee multipallet ecc. Per le linee monoprodotto non è necessario alcun riattrezzaggio delle stazioni. Nelle linee multiprodotto a produzioni successive è invece richiesto ad ogni cambio produttivo l'attrezzaggio delle macchine operative. Per le linee mixate infine ad ogni cambio mix nel macro periodo (ad esempio il mese) è in generale necessario riconfigurare l'intera linea tramite l'attrezzaggio delle macchine, il ridimensionamento dei magazzini focalizzati ecc.

8 - Conclusioni

In questa nota sui sistemi di produzione ripetitiva in relazione a quelli intermittenti gli autori hanno proposto una classificazione delle modalità produttive superando gli equivoci talvolta rilevati in letteratura sul significato di produzione ripetitiva. Si sono distinte prima sei classi di produzione (individuale, unica, intermittente, discontinua, ripetitiva e continua) e quindi le rispettive categorie di impianti produttivi (cantieri, laboratori, job-shop e celle, impianti batch, linee discrete e linee di processo).

Successivamente ci si è focalizzati sulla produzione a flusso ripetitiva, descrivendone le caratteristiche della disposizione in linea ed esaminandone le possibilità applicative in relazione ai volumi di produzione richiesti e ai gradi di flessibilità necessari.

Si è quindi pervenuti ad una classificazione degli impianti preposti a produzioni ripetitive che comprende sei classi di linee: dedicata, multiprodotto a produzioni successive monodirezionale, multiprodotto a produzioni successive con bypass, multiprodotto a produzioni successive con backtracking, mixed model e mixed model con bypass.

I sistemi a celle in serie sono stati quindi individuati - tra i sistemi produttivi intermittenti - come quelli che presentano le maggiori analogie con quelli ripetitivi, in quanto i processi di produzione avvengono in aree produttive disposte in linea.

Sono stati infine analizzati gli elementi fondamentali che differenziano la modalità produttiva intermittente da quella ripetitiva, ovvero: il percorso dei materiali, la loro movimentazione e l'attrezzaggio dei macchinari.

Nel prossimo lavoro saranno individuati i contesti applicativi degli impianti che realizzano la produzione intermittente e quella ripetitiva e gli effetti derivanti da azioni simultanee sul prodotto e sul processo nei due ambienti produttivi. ■

Riferimenti bibliografici

Anderson D. A., Hunt C. L., «Repetitive Manufacturing Shop Floor Control», Readings in Computer and Software, 27th Annual International Conference Proceedings, APICS, Las Vegas, 9-12 ottobre 1984.

Aneke N. A. G., Carrie A. S., «A Comprehensive Flowline Classification Scheme», International Journal of Production Research, vol. 22 n. 2, 1984.

APICS - American Production and Inventory Control Society, Dictionary, Falls Church, 1987.

Bartezzaghi E., F. Turco, «Just-in-time e sistema produttivo», Logistica d'Impresa, n. 64, aprile 1988.

Browne J., Dobois D., Rathmill K., Sethi S. P., Stecke K. E., «Classification of flexible manufacturing systems», The FMS Magazine, aprile 1984.

Burbidge J.L., The Introduction of Group Technology, William Heinemann Ltd., Londra, 1975.

Burbidge J.L., «Simplification Of Material Flow System», International Journal of Production Research, vol.20 n.3, 1982.

Caputo M., De Toni A., «Efficienza, efficacia ed effettività nelle scelte di prodotto, processo e programmazione», Logistica Management, n.2, febbraio 1991.

Da Villa F., De Toni A., «Flessibilità Logistica e Progettazione dei Prodotti Manifatturieri», Logistica d'Impresa, n. 67, settembre 1988.

De Toni A., Pagliarani G., Zipponi, L., «Tre livelli di intervento nella progettazione integrata prodotto-processo», Logistica Management, n.7-8, luglio-agosto 1990.

Dicasall R. L., «Job Shops Can Use Repetitive Manufacturing Methods To Facilitate Just-In-Time Production», Industrial Engineering, vol.18 n. 6, giugno 1986.

Dilworth J.B., Production and Operations Management, McGraw-Hill, Singapore, 1989.

Edsomwan J. A., Marsh C., «Streamlining The Material Flow Process For Just-in-Time Production», Industrial Engineering, vol.21 n. 1, gennaio 1989.

Hall R. W., Driving The Productivity Machine, APICS, 1981.

Hall R.W., Obiettivo scorte zero. La strategia produttiva per gli anni '80, Isedi Petrini Editore, Torino, 1985.

Hill T., Il Management della Produzione, Franco Angeli, Milano, 1989.

Mather, H., Competitive Manufacturing, New Jersey, Prentice Hall, 1988.

Merli G., Total Manufacturing Management. L'organizzazione industriale degli anni '90, Isedi, Torino, 1989.

Monden Y., Produzione just-in-time. Come si progetta e si realizza, Isedi Petrini Editore, Torino 1986.

Orlicky J., Material Requirements Planning, McGraw-Hill, New York, 1975.

Quillen L. D., «Repetitive Manufacturing Information Systems», Readings in Computer and Software, 27th Annual International Conference Proceedings, APICS, Las Vegas, 9-12 ottobre 1984.

Raffish N., «Modifying Standard MRP Software For A Repetitive Manufacturing Control Systems», Computers In Manufacturing: Material Requirements Planning, Auerbach Publishers, 1985.

Ranky P.G., The Design and Operation of F.M.S., IFS Publications, 1983.

Saraceno P., La produzione industriale, Libreria universitaria editrice, Venezia, 1979.

Schonberger R. J., «Plant Layout Becomes Product-Oriented With Cellular, Just-In-Time Production Concepts», Industrial Engineering, vol. 15 n. 11, novembre 1983.

Schonberger R.J., Tecniche produttive giapponesi. Nove lezioni di semplicità, Franco Angeli, Milano, 1987.

Sepehri M., Raffish N., «Developing And Implementing Control Systems For Repetitive Manufacturing», Industrial Engineering, vol.18 n. 6, giugno 1989.

Thompson K., «MRPII In The Repetitive Manufacturing Environment», Production and Inventory Management, vol. 24 n. 4, Fourth Quarter, 1983.

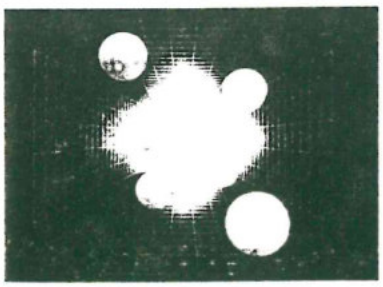
Vollmann T.E., Berry W.L., Whybark D.C., Manufacturing Planning and Control Systems, Irwin, Homewood, 1988.

Wight O. W., MRP II Pianificazione delle risorse di produzione, Franco Angeli, Milano, 1989.

Wild R., Management and Production, Penguin Books, Harmondsworth, 1985.

Woodward J., Organizzazione industriale: teoria e pratica, Rosenberg & Sellier, Torino, 1975.

Zanussi-Electrolux, Fabbrica Automatica di Susegana, Rapporto Interno, Ottobre 1988.

[1] APICS - American Production and Inventory Control Society. A fronte del crescente interesse nel mondo occidentale per le tecniche di produzione giapponesi l'APICS ha promosso la formazione di un gruppo specifico - "The Repetitive Manufacturing Group" - finalizzato ad esaminare le caratteristiche della produzione ripetitiva e a delineare con precisione la natura dei sistemi di pianificazione e controllo impiegati in tale ambito.

[2] Per una descrizione completa di tutti gli aspetti che caratterizzano le produzioni a prodotto singolo, a lotti e a flusso si veda Hill, 1989, pagg. 51-53.