

1. INTRODUZIONE

Lo sviluppo di nuovi prodotti è il primo obiettivo da perseguire per aumentare la competitività sul mercato. Le imprese che sono capaci di sviluppare, produrre e introdurre nuovi prodotti tenendo conto della varietà, del prezzo, della qualità e del time-to-market, hanno un ruolo di rilievo nel mercato.

La globalizzazione dei mercati esalta la competitività, spingendo le aziende ad aumentare la qualità delle diverse fasi del processo con una sempre maggiore specializzazione delle attività interne o con il ricorso all'esterno quando questo non sia fattibile.

Quindi un'impresa dopo aver valutato le richieste del mercato individua il modello produttivo di riferimento e analizza il sistema di pianificazione e controllo.

Tale sistema è conseguenza del modello produttivo adottato: nel caso di modello *make to stock*, che prevede la presenza di scorte di prodotto finito per assecondare la pronta consegna, il sistema di pianificazione governa il processo di trasformazione controllando i prodotti finiti; nel caso *assembly to order*, che permette di offrire le personalizzazioni più spinte sulla esigenza del cliente finale, la pianificazione controlla i componenti necessari per l'assemblaggio in funzione delle previsioni e degli ordini del cliente tenendo conto della capacità produttiva del montaggio finale.

Il sistema di pianificazione e controllo è strettamente connesso alla gestione dei materiali, che è una delle problematiche delle imprese manifatturiere. La letteratura propone due logiche opposte: la logica push e la logica pull. La prima è detta anche *a fabbisogno* ed è stata considerata la soluzione ottimale per ridurre le scorte presenti nel sistema produttivo, stabilendo, a partire delle previsioni, i materiali necessari attraverso la distinta base. L'esperienza dei nostri giorni ha constatato che i risultati non sempre sono stati in linea con le attese: lo scostamento della realtà dalle previsioni, l'imprecisione delle previsioni degli approvvigionamenti, hanno fatto sì che i flussi produttivi siano soggetti a colli di bottiglia.

La logica pull ha avuto al contrario una notevole diffusione grazie all'affermazione di tecniche Just-in-Time (JIT) e Kanban, e l'introduzione di scuole di pensiero come la Lean Production.

Tale logica consente l'avanzamento del flusso produttivo secondo quanto richiesto dal cliente e non secondo quanto stabilito dall'ufficio programmazione della produzione. La logica "cliente-fornitore" considera i processi collegati tra loro e ciascuno di essi è interpretato come "cliente" del processo a monte e come "fornitore" del processo a valle. In questa ottica il cliente deve richiedere il materiale di cui ha bisogno per soddisfare le richieste del processo che si trova a valle, senza bisogno di ricorrere alle previsioni.

La logica è molto semplice e garantisce un livello costante di materiale presente nel sistema: tale livello è determinato dal dimensionamento dei buffer dislocati nel processo produttivo.

Il tempo richiesto dal mercato, il tempo di attraversamento, la stabilità dei consumi, il costo dei materiali sono parametri di progetto che devono essere attentamente valutati per progettare il sistema di pianificazione e controllo e le regole di gestione dei materiali.

Dal punto di vista della Lean Production, l'obiettivo dell'impresa diviene quello di generare "valore per il cliente", più precisamente la creazione delle caratteristiche possedute dal prodotto che consentono di soddisfare le esigenze del cliente.

La competitività delle imprese deve essere giocata su fattori quali l'elevato livello di qualità e di servizio su prodotti innovativi a costi sempre più contenuti, quindi accanto all'innalzamento degli standard di performance appare fondamentale l'offerta di prestazioni legate al servizio al cliente, come il tempo di consegna, l'affidabilità delle consegne, l'innovazione dei prodotti e il servizio post vendita. Il "tempo" come fattore di competitività sta diventando sempre più importante, sia con riferimento al tempo di risposta al mercato che alla capacità di innovare rapidamente i prodotti.

La riduzione dei tempi di ideazione, progettazione e industrializzazione dei prodotti consente di inserire in essi un maggiore numero di innovazioni tecniche e di immetterli sul mercato in anticipo rispetto ai concorrenti.

Le prestazioni che oggi sono richieste e che debbono essere raggiunte e migliorate continuamente in modo congiunto sono: i costi totali, la qualità, la tempestività delle consegne, l'affidabilità delle consegne, la rapidità di introduzione di nuovi prodotti, la flessibilità al mix e ai volumi.

Il cliente finale non è disposto a pagare un prezzo superiore al valore che riconosce al prodotto. Questo significa che alti costi determinati dall'elevata movimentazione, dalle scorte, dagli scarti, dalle attese non costituiscono una giustificazione per un prezzo elevato del bene, semplicemente perché non generano valore percepito dal cliente finale. Quindi l'azienda deve rivolgere l'attenzione all'eliminazione degli sprechi che generano costi superflui non giustificabili agli occhi del cliente.

La qualità presenta due aspetti fra loro strettamente connessi: le caratteristiche e le prestazioni dei prodotti, e l'aderenza del prodotto alle specifiche del cliente.

Anche per quanto riguarda le consegne, si distinguono due tipi di prestazioni: il tempo di consegna e l'affidabilità delle consegne nel rispetto delle date pattuite.

La rapidità di introduzione di nuovi prodotti riguarda numerosi aspetti: il tempo di sviluppo e progettazione di questi, e quello relativo all'inserimento di modifiche ai prodotti esistenti.

La flessibilità, fa riferimento alla capacità di modificare in tempi rapidi e a costi bassi il volume di produzione e il mix dei prodotti.

1.1 NECESSITA' DI FLESSIBILITA', AUTOMAZIONE E INTEGRAZIONE

L'automazione dei processi di produzione è un passaggio fondamentale per la crescita delle imprese manifatturiere. L'incremento della produttività, la riduzione del costo del lavoro, la diminuzione dei tempi di produzione e il miglioramento della qualità del prodotto, sono tutte ragioni di ordine economico per sostituire l'uomo con la macchina, automatizzando in modo crescente i processi di produzione.

L'automazione riguarda due tipi di produzione, quella per processo caratterizzata da cicli tecnologici ben definiti e vincolati, e quella manifatturiera caratterizzate da un'ampia varietà dei cicli tecnologici che comprendono le sottofasi di fabbricazione (insieme di lavorazioni che modificano la forma, le dimensioni o lo stato superficiale di parti singole) e il montaggio (insieme delle operazioni di collegamento di parti singole per formare un assieme).

I principali componenti necessari per l'automazione delle produzioni manifatturiere sono le macchine operatrici programmabili, i sistemi di trasporto, manipolazione e immagazzinamento programmabili e la rete informatica di collegamento fra gli uni e gli altri.

La mutevolezza dei mercati ha posto in dubbio la praticabilità economica di realizzare linee dedicate per prodotto, le *transfer line*, che consentono una facile automazione della produzione.

Si parla infatti di "automazione rigida" in quanto la *transfer line* non è in grado di lavorare pezzi diversi da quello per cui è stata progettata.

I settori non caratterizzati da produzioni di grande serie sono rimasti a lungo esclusi dalla possibilità di automazione dei loro processi. Per essi il principale ostacolo all'automazione era rappresentato dai bassi volumi unitari di produzione, per i quali non si giustificava economicamente l'impiego di macchine costose ad alta produttività: l'automazione rigida non era perciò la soluzione corretta al loro problema. Solo con la nascita del concetto di automazione flessibile è potuta iniziare la fase di automazione di questi processi.

Per flessibilità si intende la capacità che ha un sistema produttivo di lavorare parti diverse e di adattarsi in tempi limitati ad una modifica delle parti stesse; la flessibilità diventa dunque l'esigenza primaria di quelle aziende che lavorano un numero elevato di differenti parti meccaniche, ciascuno con volumi produttivi limitati e soggetti a frequenti modifiche.

Perciò l'obiettivo competitivo che oggi ci si pone è quello di riuscire a recuperare con la struttura cellulare dei sistemi di automazione flessibile, le caratteristiche di efficienza e controllabilità delle produzioni in serie o continue, eseguite con organizzazioni delle macchine a catena, senza perdere del tutto le caratteristiche di elasticità e flessibilità delle produzioni a piccoli lotti, eseguite con organizzazioni delle macchine per reparto o *job shop*.

La soluzione integrata è costituita dai Sistemi Flessibili di Produzione (FMS), mentre per i montaggi si parla di Sistemi Flessibili di Assemblaggio (FAS).

Un sistema flessibile di produzione è un impianto che realizza una gestione integrata del flusso dei materiali e delle informazioni. Il flusso integrato dei materiali è realizzato grazie alla presenza di un insieme di macchine operatrici integrate e collegate fra di loro da adatti sottosistemi di trasporto e manipolazione. Il flusso integrato delle informazioni è realizzato grazie alla presenza di un sistema software che controlla e coordina l'attività dei sistemi di governo autonomi delle macchine e dei dispositivi componenti[1].

I sistemi FMS fanno parte del sistema di fabbricazione ad alto tasso di automazione con tecnologia integrata che viene denominata Computer Integrated Manufacturing, (CIM).

Quindi possiamo esprimere il CIM come l'integrazione tra i sistemi di automazione industriale ed i sistemi informativi, al fine di gestire in modo ottimale la totalità del processo manifatturiero, dalla progettazione, alla produzione alla fase di gestione e pianificazione.

1.2 LE FASI DEL PROCESSO MANIFATTURIERO

Nei sistemi produttivi manifatturieri è in atto un'evoluzione tecnologica, che ha portato dei cambiamenti nei settori industriali. Tale progresso si sviluppa in tre fasi: la fase di progettazione, la fase di produzione e la fase di gestione e pianificazione.

1.2.1 LA FASE DI PROGETTAZIONE

La fase di progettazione ha iniziato ad utilizzare avanzati strumenti software per le procedure di calcolo strutturale automatico per arrivare al completo utilizzo delle tecniche CAD (Computer Aided Design) con modellazione solida.

Il CAD può essere definito come l'uso del computer per aiutare il disegno meccanico nel creare, modificare e documentare i modelli geometrici dei particolari. Il CAD è associato ad un sistema interattivo grafico di computer. L'oggetto del disegno è rappresentato nella forma di modelli geometrici. La modellazione geometrica è concepita con l'uso di un sistema CAD per sviluppare una descrizione matematica della geometria dell'oggetto.

Tra le numerose tecniche che possono essere applicate nel disegno vi è il metodo agli elementi finiti (Finite Element Method). Tale metodo è applicato per analizzare stati di tensione e vibrazioni, per effettuare analisi termiche, elettromagnetiche e fluidodinamiche.

Il FEM risolve problemi complessi, come effettuare analisi geometriche, attraverso la soluzione numerica di un gran numero di problemi più semplici fino ad approssimare la soluzione effettiva.

Il modello solido è suddiviso in un numero di semplici figure primitive, dette elementi finiti, che sono definiti e localizzati attraverso la posizione di punti chiamati nodi. L'insieme dei nodi e degli elementi che descrivono tutto il modello è definita *mesh*. Alla mesh sono applicate le condizioni al contorno, come i carichi specifici, la temperatura e gli spostamenti per ottenere la simulazione del processo produttivo sotto esame.

1.2.2 LA FASE DI PRODUZIONE

L'impiego del computer nella fase di fabbricazione di un prodotto viene indicato con il termine Computer Aided Manufacturing (CAM). Esso permette di programmare in modo semplice ed in tempi contenuti percorsi di lavorazione complessi, agendo in tempo reale sulla movimentazione e il controllo degli impianti automatizzati di produzione. Un software di tipo CAM importa da un software di tipo CAD le informazioni geometriche relative al pezzo da realizzare. A partire dal grezzo e da percorsi utensile definiti dall'utente, il CAM consente di descrivere la sequenza di operazioni che deve essere eseguita da macchine utensili come fresatrici, tornitrici, ecc.. Tale sequenza può allora essere tradotta nelle istruzioni necessarie alla macchina utensile per realizzare il manufatto in modo automatico.

Idonei moduli software CAM rispondono inoltre a funzioni specifiche quali il cambio automatico degli utensili, la gestione della movimentazione automatica degli shuttles, i controlli di sicurezza ecc..

La fase di progettazione (CAD) si integra efficacemente con la fase di produzione (CAM) attraverso una adeguata pianificazione del processo di produzione (CAPP).

1.2.3 LA FASE DI GESTIONE E PIANIFICAZIONE

La vera integrazione CAD-CAM si ha quando si dispone di un software in grado di interpretare i dati contenuti nel database CAD e di convertirli in programma di lavorazione a CN pronto all'uso.

Le tecniche che permettono questa integrazione vanno sotto il nome di Computer Aided Process Planning (CAPP). Il CAPP si occupa della trasformazione delle informazioni di disegno in informazioni necessarie alla produzione.

Quando il disegno di un componente meccanico è completato, viene documentato in un file CAD, il quale specifica le features geometriche, le dimensioni, le tolleranze ecc.

Affinché un particolare venga prodotto, è necessario un set di istruzioni riguardante i processi, le risorse, e le persone coinvolte nel processo produttivo. Tali istruzioni sono usualmente riportate in un process plan.

Il process plan contenente i dati e il materiale del particolare, riporta la sequenza di operazioni, includendo una breve descrizione delle lavorazioni che devono essere eseguite, le risorse, i set-up e i parametri che devono essere usati durante il processo produttivo.

Quindi possiamo definire la fase di process planning come *la funzione che stabilisce la sequenza dei processi produttivi che deve essere usata per convertire un particolare da una forma qualsiasi a una finale, in cui la sequenza del processo produttivo include la descrizione del processo , i parametri del processo , le possibili risorse e la selezione delle macchine utensili*[2].

La fase di process planning prende in considerazione un numero di fattori che influenza la selezione di differenti processi e i loro parametri.

Tali fattori includono la forma e la dimensione del particolare, le tolleranze richieste, la qualità superficiale, il materiale e la quantità da produrre.

Quindi possiamo definire la fase di process planning come una sequenza di attività che comprendono: [3]

- Interpretazione delle specifiche contenute nel disegno di un particolare , come le dimensioni e le tolleranze , la rugosità superficiale tipo di materiale , dimensione del lotto ecc.
- Selezione dei processi e degli utensili rispettando i vincoli imposti nel disegno.
- Determinazione delle tolleranze di produzione e delle dimensioni di montaggio che assicurano l'esecuzione delle tolleranze del disegno. Selezione delle superfici di partenza e di riferimento, e selezione dell'attrezzatura di fissaggio.
- La sequenza delle operazioni tenendo conto dei vincoli tecnologici. Il raggruppamento delle operazioni sulla stessa macchina in modo da ridurre il tempo di lavorazione rispettando la precisione dimensionale.
- Selezione delle macchine per eseguire i processi produttivi prendendo in considerazione il numero di particolari da produrre e dei metodi e degli strumenti di controllo per garantire la conformità finale del componente con le

esigenze funzionali.

- Determinazione delle condizioni di lavoro per ogni operazione , in modo da calcolare i tempi di lavoro e i costi per effettuare una valutazione economica.

La fase di process planning richiede l'abilità umana per interpretare un particolare disegno e una certa familiarità con i processi e le risorse produttive. Ma i process plans eseguiti dagli operatori specializzati non sono ottimali. Nasce quindi il bisogno di sistemi computerizzati, i quali genereranno il process plan totalmente o parzialmente.

Tra i vantaggi dell'uso di sistemi CAPP riscontriamo: un più basso costo di produzione dovuto al fatto che il livello di abilità richiesta per produrre process plans è inferiore a quella richiesta per i metodi manuali, una maggiore consistenza in quanto il numero di errori generati durante la fase di process planning è ridotto, un risparmio di tempo in quanto i lead time sono ridotti e una migliore abilità di reagire velocemente ai cambiamenti del mercato.

1.3 LA FUNZIONE DI PROCESS PLANNING

Nei sistemi CAPP, per generare un process plan vi sono diversi approcci tra cui l'approccio manuale, variante, generativo e semigenerativo.

1.3.1 L'APPROCCIO MANUALE

L'approccio manuale della fase di process planning inizia quando il disegno di dettaglio e i dati sulla dimensione del lotto sono dati al tecnico della produzione. Queste informazioni sono usate per determinare i processi di produzione, le macchine utensili richieste per eseguire questi processi, gli utensili richiesti in ogni fase della lavorazione, le attrezzature di fissaggio, la profondità di passata di ogni operazione, l'appropriato avanzamento e velocità di taglio, il tipo di processo di finitura necessario per ottenere le tolleranze specificate e la qualità superficiale.

Come prima fase, l'ingegnere della produzione esamina il disegno del particolare per identificare le similitudini con i particolari prodotti precedentemente.

Se le similitudini sono riconosciute, un process plan è manualmente recuperato per il particolare simile.

Il process plan può essere usato senza modifiche per particolari identici o viene modificato per rispondere alle esigenze di produzione del nuovo particolare .

I vecchi process plan sono usati come riferimento per i particolari simili, ma la fase di recupero delle informazioni non è efficiente.

Come cambia il disegno di un particolare, durante il ciclo di sviluppo del prodotto, anche il process plan cambia.

Così come cambiano le risorse, i processi e le dimensioni del lotto, cambia anche il metodo ottimale di produzione del particolare e questi cambiamenti si riflettono nei process plans correnti.

L'esperienza del programmatore dei cicli di produzione gioca un ruolo importante, poiché egli seleziona processi e variabili di sistema che hanno dato buoni risultati in situazioni simili in passato.

Dato che il process planning manuale è largamente soggettivo, la qualità del process plan è relazionata direttamente con l'abilità e l'esperienza del planner.

Per queste ragioni con questo metodo è difficile o impossibile ottenere process plan consistenti e ottimizzati. Di conseguenza sono aumentati i costi di produzione, le richieste di materiali e il lead time[2].

1.3.2 L'APPROCCIO VARIANTE

L'approccio deriva dal metodo *GROUP TECHNOLOGY* in cui i particolari lavorati sono classificati e codificati in famiglie di pezzi. Una famiglia di pezzi è definita come un insieme di particolari, aventi similitudini geometriche e tecnologiche, e caratterizzati dallo stesso metodo di produzione.

Per ogni famiglia di particolari, un process plan standard, che include tutte le possibili operazioni che devono essere eseguite, è immagazzinato nel database del sistema. Tale process plan viene recuperato e adattato al nuovo particolare[3].

In generale possiamo dividere l'approccio variante in due fasi: la fase preparatoria (figura 1.a) e la fase produttiva (figura 1.b).

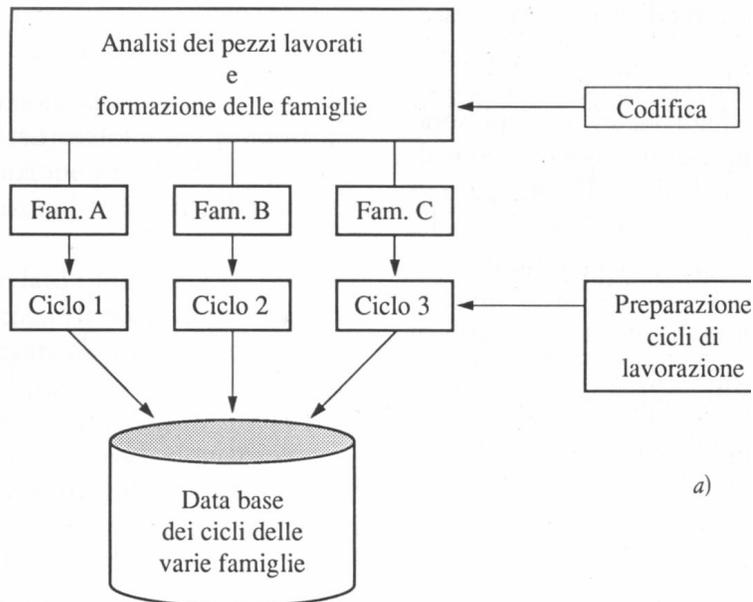
La fase preparatoria consiste nel codificare, classificare e raggruppare i componenti esistenti in una matrice di famiglie ed associare ad ognuna un process plan che può essere usato o modificato in seguito per divenire il process plan di un nuovo componente.

La fase produttiva include la codifica e la classificazione dei nuovi componenti in modo da trovare la famiglia che più si avvicina a loro. Si richiama lo standard process plan e il "planner" modifica questo per adattarlo al nuovo componente [4].

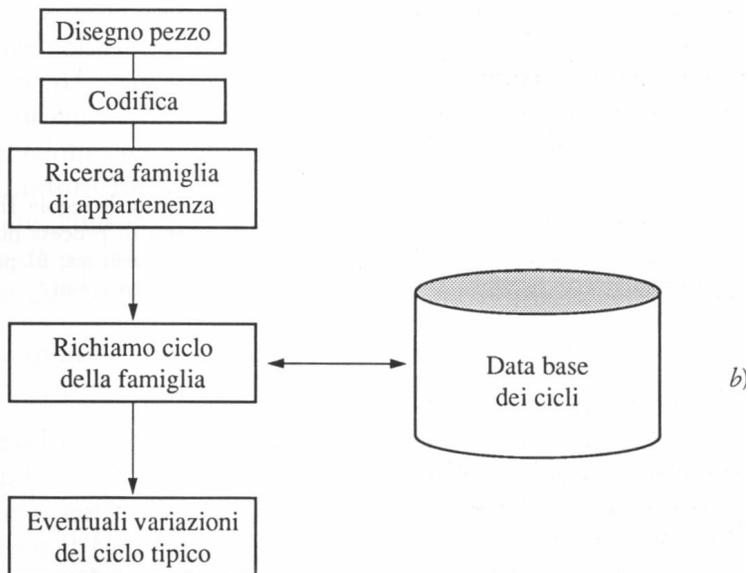
In tale approccio, la qualità del processo dipende dalle conoscenze del process planner, il computer è soltanto uno strumento per assistere il process planning manuale. Tale metodo è adatto per produzioni caratterizzate da poche famiglie di prodotti e un largo numero di particolari per famiglia.

Gli svantaggi di tale metodo sono che un particolare può essere eseguito solo se si riferisce a un gruppo di famiglia già presente nel database e il fatto che il process plan necessita di alcune modifiche. Ma, nonostante ciò, è ancora molto diffuso. Le ragioni sono:

- minor investimento in strutture hardware e software
- il tempo di sviluppo è più breve e l'impegno del programmatore è inferiore
- maggiore sicurezza



a)



b)

Figura 1. Logica di funzionamento di un sistema CAPP variante: a) fase preparatoria, b) fase produttiva [5].

1.3.3 L'APPROCCIO GENERATIVO

L'approccio generativo è il più alto livello di automazione e sofisticazione nel computer aided process planning. La fase di process planning generativa sintetizza le informazioni di produzione riguardanti le potenzialità dei differenti processi produttivi e crea process plans per i nuovi componenti.

Un sistema generativo riceve informazioni sulle specifiche di disegno del particolare e genera il process plan, includendo i processi che devono essere usati e le loro sequenze, senza l'intervento umano.

L'approccio generativo determina quali processi devono essere usati per le differenti features geometriche del componente, mettendo a confronto le caratteristiche del processo con le specifiche del disegno. I metodi sono: alberi decisionali, tabelle decisionali e l'approccio basato sull'intelligenza artificiale.

Tali sistemi sono rapidi e consistenti nel generare i process plan. A differenza dei sistemi varianti, che necessitano sempre di uno standard plan dei precedenti componenti, questi creano in modo completo i process plan per i nuovi particolari.

La fase di process planning generativa tenta di imitare la logica seguita dal process planner; per realizzare un tale sistema bisogna analizzare diversi tipi di problemi come:

- La definizione del componente, o la rappresentazione del disegno in modo tale che possa essere capito dal sistema.
- L'identificazione, la cattura e la rappresentazione della conoscenza del process planner, e del ragionamento usato per selezionare le differenti decisioni come la selezione del processo e la sequenza del processo.
- La definizione del componente e la logica del planner dovrebbero essere compatibili con il sistema[2].

Le difficoltà dei sistemi generativi risiedono nella generalità e nella completezza: non esiste attualmente un sistema generativo applicabile validamente in qualunque azienda o che consideri tutte le tecnologie di lavorazione disponibili o che sia in grado di risolvere in maniera completamente automatica un problema produttivo.

A parte queste difficoltà, si può affermare che un sistema generativo è economicamente conveniente per quelle aziende che lavorano un numero elevato di pezzi diversi e appartenenti a famiglie diverse[5].

Analizziamo, dunque, le tecniche che utilizza l'approccio generativo:

- *Alberi decisionali*

Un albero decisionale è composto di un'origine e un insieme di rami che iniziano dall'origine. In tal modo sono stabiliti dei percorsi alternativi. I rami sono connessi l'uno con l'altro da nodi. Il percorso decisionale avviene secondo una struttura ad albero fissa, opportunamente tradotta in software: il sistema sulla base dei dati di input, segue la ramificazione fino al termine (figura 2).

Questo metodo ha lo svantaggio di essere poco flessibile, nel senso che tutto va bene fino a quando l'azienda non decide di variare i criteri di scelta insiti nel programma: in tal caso l'unica via d'uscita è modificare il software, con costi elevati[5].

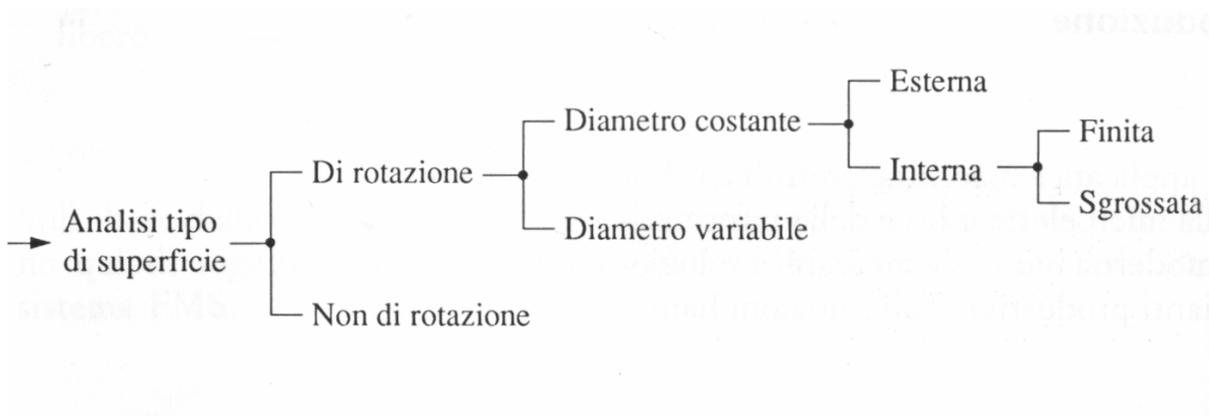


Figura 2. Esempio di albero decisionale [5]

- *Tabelle decisionali*

Le tabelle decisionali (figura 3) impiegano tabelle per determinare la scelta, di condizioni e di processi. Le condizioni e i processi rappresentano una dimensione delle scelte, mentre la selezione delle decisioni è messa nelle colonne. La parte superiore della tabella include le condizioni che devono essere considerate affinché i processi, rappresentati nella parte più bassa della tabella, siano adottati. Quando sono state analizzate tutte le condizioni viene presa una decisione.

Le informazioni di entrambi gli approcci sono le stesse, sebbene le tabelle decisionali hanno una struttura modulare che permette loro di essere facilmente modificata.

Superficie di rotazione	V	V	F
Diametro costante	V	V	F
Superficie esterna	F	V	F
Finita	X		
Sgrossata	X		

Figura 3. Esempio di tabella decisionale relativa alla fig. 2.

- *L'approccio basato sull'intelligenza artificiale*

Le tecniche di intelligenza artificiale per descrivere i componenti e i sistemi esperti per codificare i processi di conoscenza umana, sono anche applicabili ai problemi del process planning.

Un sistema esperto può essere definito come *uno strumento che ha le capacità di capire i problemi specifici e usa la conoscenza in modo intelligente per proporre alternative vie d'azioni*[2].

Il sistema opera le sue scelte sulla base di una conoscenza formulata in regole di tipo *if-then* (figura 4). I sistemi esperti si sono evoluti nei sistemi *fuzzy*, in cui le regole *if-then* sono immesse nel sistema anche se sono verificate con una certa probabilità.

Il vantaggio di questa strutturazione della conoscenza risiede nella flessibilità, cioè nella possibilità, per l'utente finale, di modificare, aggiungere, eliminare le regole, modificando così a piacere le scelte del sistema.

Regola di afferraggio		
IF	La superficie è cilindrica	AND
	La superficie non è filettata	AND
	Il diametro è ≥ 20 mm	AND
	La lunghezza è ≥ 8 mm	
THEN	La superficie può essere afferrata con piattaforma autocentrante.	

Figura 4. Esempio di regole IF THEN

1.3.4 L'APPROCCIO SEMIGENERATIVO

I sistemi semigenerativi combinano la logica decisionale dei sistemi generativi con le operazioni di modifica dei sistemi varianti.

Tale approccio può essere pensato come un'applicazione avanzata della tecnologia variante che usa gli strumenti del sistema generativo.

I sistemi ibridi sono una combinazione dei sistemi generativi e varianti infatti:

- dato un mix di prodotti, possiamo per alcuni di essi eseguire i process plan usando il metodo generativo, mentre per i rimanenti possiamo usare l'approccio variante.
- L'approccio variante può essere usato per sviluppare il process plan generale, mentre l'approccio generativo può essere usato per fare delle modifiche
- Il plan eseguito dal sistema variante, può essere modificato nei dettagli dal sistema generativo.

La scelta di selezionare o l'approccio variante o l'approccio generativo è data al planner, tale scelta avviene in modo da ottenere una rapida generazione del plan[2].

Si riassumono nella figura 5 le differenze tra l'approccio manuale, variante e generativo.

Gli step del process planning		Approccio Manuale	Approccio Variante	Approccio Generativo	Approccio Semigenerativo
Esaminare il disegno del particolare		M	M	M	M
Identificazione di particolari simili		M	A	A	A
Se il particolare simile è identificato:	recupero del plan	M	A		A
	modifica del plan	M	M		A
Se nessun particolare simile è identificato	Selezione del materiale	M		A	A
	Selezione dei processi/sequenze	M		A	A
	Selezione delle macchine	M		A	A
	Selezione degli utensili richiesti	M		A	A
	Identificazione delle features	M		A	A
	Determinazione della profondità di passata, velocità, avanzamento	M		A	A
	Selezione del processo di finitura	M		A	A

M = fase manuale A = fase automatica

Figura 5. L'approccio manuale, variante, generativo e semigenerativo dei sistemi CAPP

1.4 LA SIMULAZIONE E LO SCHEDULING DELLA PRODUZIONE

Nella fase di gestione e pianificazione vengono spesso usati programmi di simulazione e sviluppate tecniche di allocazione e sequenziamento dei pezzi da lavorare (scheduling) sulla base del loro ciclo di produzione.

1.4.1 PROGRAMMI DI SIMULAZIONE

La simulazione è una tecnica che può essere usata per formulare e risolvere una grande quantità di situazioni. I modelli di simulazione comprendono per esempio programmi di supporto alla gestione della produzione, i quali rappresentano le situazioni reali in termini di modello.

La simulazione è spesso usata per i modelli dinamici che comprendono periodi di tempo successivi. Tali modelli dinamici sono fatti passare da un periodo di tempo, al successivo, per far rilevare come la situazione si evolve nel tempo e per capire l'effetto delle successive decisioni prese. Dunque la simulazione serve per descrivere quelle situazioni che sarebbe difficile e costoso esaminare dal vero, anzi, in questi casi, gli effetti delle decisioni possono essere provati su un modello di simulazione, prima che le decisioni siano effettivamente adottate. In questo modo si possono simulare un gran numero di situazioni, dalle attività di distribuzione delle merci, alle lavorazioni in produzione, alla gestione degli arrivi e delle partenze di ogni mezzo di trasporto.

1.4.2 PROGRAMMI DI SCHEDULING

L'obiettivo di un algoritmo di scheduling è quello di disporre un assegnamento e un sequenziamento delle lavorazioni (job) da eseguire sulle macchine in modo che risultino ottimizzati uno o più indici produttivi, quali il tempo di completamento del lotto, l'utilizzazione delle macchine, la produzione entro un termine programmato ecc.

Una soluzione del problema di scheduling prende il nome di *schedule*. Uno *schedule* è una descrizione completa dell'utilizzo temporale delle macchine da parte dei job che devono essere eseguiti. Affinché uno *schedule* sia ammissibile è necessario che siano verificate alcune regole come ad esempio: una stessa macchina non può eseguire due job contemporaneamente, uno stesso job non può essere eseguito da due macchine contemporaneamente, un job non può essere interrotto ed eventuali precedenze devono essere rispettate.

Le soluzioni ammissibili vengono rappresentate con un grafo disgiuntivo, o *digraph*, $DG = (N, A, E)$, dove N è il set di operazioni più l'operazione iniziale e finale (rappresentate dal simbolo 0 e *); A è il set di archi tra due operazioni (archi di routing) e E è il set di archi disgiuntivi tra due

operazioni O_{ij} che devono essere eseguite sulla stessa macchina (dove i indica il job da eseguire sulla macchina j).

Una sequenza finita di archi diretti tra due operazioni è chiamata cammino (*path*). La lunghezza di un arco è uguale al tempo di lavorazione dell'operazione di arrivo. La lunghezza del cammino (*path length*) è uguale alla somma delle lunghezze di questi archi. Un cammino che inizia da 0 e finisce in * è la sequenza di carico (*loading sequence*) su una macchina. Un ciclo è un percorso che inizia e finisce alla stessa operazione.

Se in un grafo, includente tutte le operazioni e ottenuto dirigendo tutti gli archi disgiuntivi, non è presente nessun ciclo, il grafo ottenuto è aciclico e le relative sequenze di carico sulle macchine rappresentano uno schedule ammissibile. In un grafo aciclico il *makespan* di uno schedule ammissibile è la lunghezza del cammino critico (*critical path*), che è la via più lunga tra l'operazione iniziale e l'operazione finale[6]. Esso corrisponde all'intervallo di tempo durante il quale tutte le operazioni di tutti i jobs sono completati. Uno degli obiettivi considerati è quello di determinare il tempo iniziale per ogni operazione in modo da minimizzare il *makespan* mentre sono soddisfatti tutti i vincoli di precedenza

La figura 6.1 mostra un esempio di grafo disgiuntivo in cui si hanno tre operazioni per tre job. Sono utilizzate tre tipi di macchine, che collegano con proprio tipo di linea le operazioni da fare su quel tipo di macchina. Osserviamo infine che i tempi di lavorazione sono posti accanto al relativo nodo.

La figura 6.2 mostra il cammino critico.

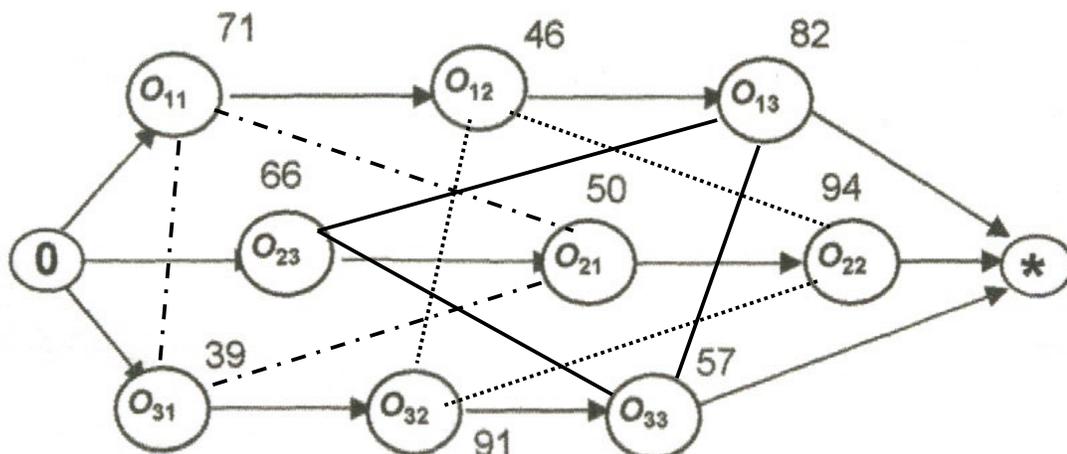


Figura 6.1 Esempio di grafo disgiuntivo

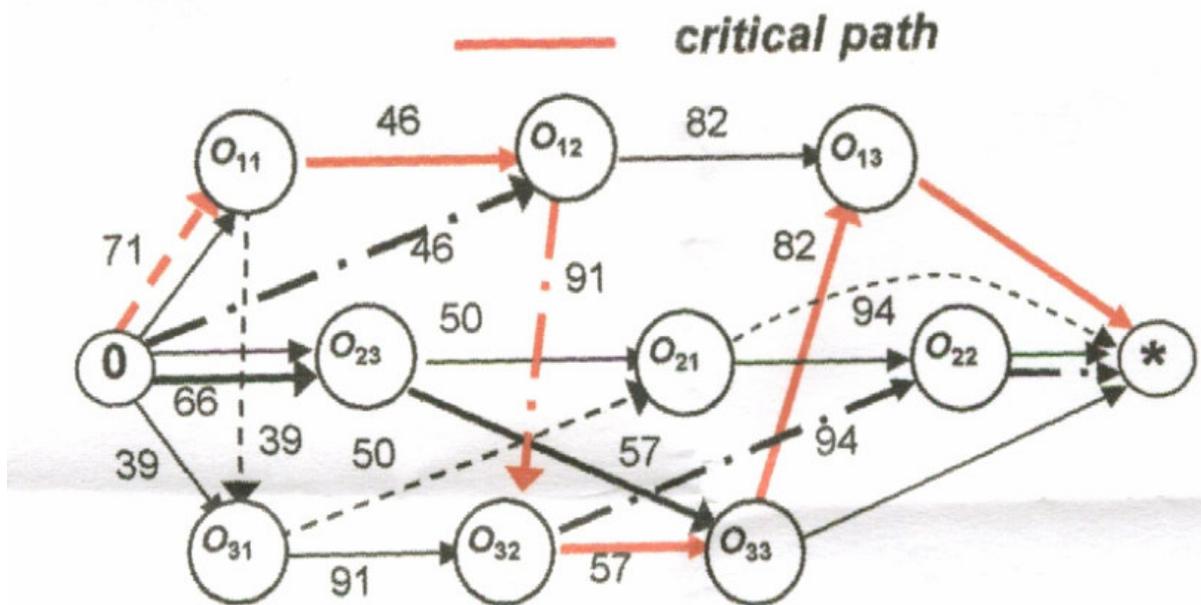


Figura 6.2 Cammino critico

Lo scheduling ha vari tipi di flessibilità. Tra queste ci sono quelle che si integrano con il process planning come la presenza di macchine alternative (routing flexibility) e la presenza di cicli tecnologici alternativi (operation flexibility e non-linear routing). Routing flexibility significa che ci sono più macchine abilitate ad eseguire una stessa operazione. Nell'esempio sopra riportato sono rappresentate le operazioni eseguite sulla stessa macchine mediante archi dello stesso tipo. Operation flexibility (o multi-mode) significa che una data operazione tecnologica può essere eseguita con differenti cicli di lavorazione. Esempio una cilindratura esterna può essere eseguita sul tornio con differenti sistemi di afferraggio del pezzo. Infine, non-linear routing indica che una data operazione può essere preceduta da più operazioni e/o seguita da più operazioni.

1.5 INTEGRAZIONE TRA LA FASE DI PROCESS PLANNING E LA FASE DI SCHEDULING

A causa della sua complessità, il process planning è spesso effettuato senza considerare lo stato del job-shop, tale come la disponibilità di risorse.

Inoltre lo stato del job-shop è spesso soggetto a disturbi, causati da colli di bottiglia, non disponibilità di utensili, rotture dell'attrezzatura e blocco temporanei del sistema produttivo in caso di guasti a macchine e sistemi di movimentazione troppo utilizzati dal sistema di pianificazione.

Quindi un alto numero di process plan non possono essere eseguiti e devono quindi avere delle alternative.[4]

Mentre il process planning trasforma le informazioni del disegno meccanico in istruzioni di fabbricazione, lo scheduling è un'altra funzione produttiva che tenta di allocare le risorse di produzione e schedula le operazioni indicate nel process plan in modo che siano soddisfatti alcuni criteri, come per esempio le specifiche del disegno.

La fase di disegno, di process planning, e dello scheduling sono usualmente eseguite in modo sequenziale, sorgono così una serie di problemi.

Il process planning diviene un'attività statica, influenzata solo dal disegno del particolare, quindi si focalizza solo sull'analisi tecnica di produzione.

Mentre lo scheduling diviene un'attività eseguita dopo il completamento della fase di planning, e quindi si focalizza sulla capacità e tempo di allocazione delle risorse. Risulta quindi, che durante la produzione del componente dovranno essere disponibili risorse illimitate.

Per risolvere tali problemi sono stati introdotti tre tipi di approcci:

- NLPP(Non Linear Process Planning)
- CLPP(Closed Loop Process Planning)
- DPP(Distributed Process Planning)

Tali approcci rispecchiano l'integrazione tra la fase di planning e la fase di scheduling, in modo da ottenere un' ottima performance di produzione in termini di lead-time e utilizzazione delle risorse.

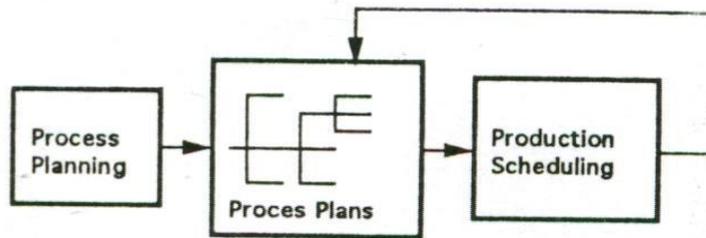


Figura 7. La struttura del non linear process planning(NLPP)

L'approccio NLPP (figura 7) consiste nel definire tutti i possibili plans per un dato particolare. Tali plans sono classificati sulla base della loro fattibilità.

Quando sorge un imprevisto, quello che è richiesto dal process planning è la selezione di un plan alternativo piuttosto che la creazione di un altro.

Lo svantaggio di tale approccio è che esso non può gestire un largo numero di particolari in un sistema, in quanto i plans aumentano esponenzialmente con l'aumento dei particolari.

Ha un unico flusso di informazioni dal process planning allo scheduling di produzione, e quindi non si presta bene all'integrazione delle due attività.

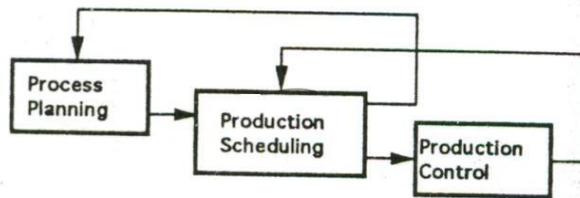


Figura 8. La struttura del closed loop process planning (CLPP)

A differenza del metodo precedente l'approccio CLPP (figura 8) prende in considerazione il comportamento dinamico del sistema produttivo.

Il process plan generato è basato su un feedback dinamico dallo scheduling di produzione e dalle risorse disponibili. Il sistema di controllo guida lo scheduling di produzione alla corretta allocazione delle risorse e lo scheduling opera un feedback con il process planning.

La funzione di scheduling determina quali macchine sono disponibili per il process planning e ogni volta che nel shop-floor un'operazione è completata, si studia il particolare per determinare la prossima operazione e allocare le risorse.

Con tale approccio è possibile creare process plans solo quando sono necessari.

Tali plans sono adatti alla condizione attuale, si ha quindi una conoscenza in tempo reale dello stato del sistema e ottenimento del giusto plans[4].

Poiché le decisioni sono prese in modo dinamico, tale metodo è anche chiamato come *real time o dynamic process planning*.

Il maggior svantaggio di tale approccio è che i reparti del process planning e di scheduling devono essere riorganizzati.

L'ultimo approccio considerato è il Distributed Process Planning. In tale approccio il problema di generare process plan viene diviso in due fasi:

- La prima fase è il pre-planning, la quale analizza le features e le loro relazioni e determina i corrispondenti processi di lavorazione.
- La seconda fase determina il final process plan confrontando le operazioni che sono richieste al job con le disponibilità delle risorse di produzione.

In tale approccio il process planning e lo scheduling di produzione sono eseguiti simultaneamente.

Il risultato è un processo dinamico e un sistema di scheduling vincolato da eventi in tempo reale.

Tale metodo è un approccio ideale per ottenere un'integrazione tra process planning e scheduling di produzione .