

## 10 – Introduzione

- **Politica industriale negli anni**
  - Crescita dell'importanza della qualità e del numero di optional
  - Decentralizzazione
  - Dagli anni '90 la riduzione dei costi è finalizzata a liberare risorse per essere più efficaci
- **Efficacia (servizio e qualità) vs efficienza (flessibilità e produttività)** (inefficienza causa inefficienza)
  - Per coniugare le due necessità
    - Progettazione ad hoc del sistema produttivo
    - Valutare i costi delle decisioni
    - Misurare le prestazioni con grande dettaglio
- **Sistemi produttivi**
  - Unione di processi produttivi e dei sottoinsiemi che generano le trasformazioni
  - Classificati in base a
    - Modo di rispondere alla domanda
      - Magazzino
      - Commessa
    - Caratteristiche del prodotto
      - Per processo (ordine fasi obbligato)
      - Manifatturiero (per parti)
    - Modo di realizzare il volume
      - Produzione unitaria (setup+++)
      - A lotti
      - Continua
  - Fasi
    - Progettazione (genera distinta base, rappresentazione gerarchica/strutturale dei componenti)
    - Industrializzazione (genera cicli di lavoro, elenco operazioni da fare)
    - Produzione
  - MTS/ATS/MTO/ATO/PTO/ETO
- **Fabbricazione**
  - Trasformazioni irreversibili, solitamente analitica
  - Rilevanza parametri gestionali e presenza di risorse di produzione multiple (operai, macchine...)
  - Distribuzione costi (macchine/manodopera) variabile in base all'automazione
- **Job Shop** (tipo di fabbricazione)
  - Organizzato per reparti costruiti per affinità tecnologica
  - Manodopera spesso è la risorsa critica
  - Ciclo tecnologico per ogni prodotto (ma spesso possibilità di cicli alternativi)
  - PREGI
    - Flessibilità
    - Macchine generiche (economiche e grande varietà di mix possibile)
    - Cicli alternativi, quindi robustezza ai guasti
  - DIFETTI
    - Flussi intrecciati e difficili da seguire, difficile prevedere i colli di bottiglia
    - Molto WIP e tempi lunghi
    - Scarsa saturazione macchine
    - Qualità non costante
    - Dipendenza delle prestazioni dal mix da lavorare
- **Celle di fabbricazione** (tipo di fabbricazione)
  - Organizzate per omogeneità di prodotti, mediante modelli di Group Technology
  - Non ci sono flussi tra le celle
  - PREGI
    - LT e WIP inferiori
    - Manodopera intercambiabile
    - Riduzione setup
    - Migliore utilizzo spazio e maggiore saturazione
  - DIFETTI
    - Sbilanciamento carichi tra le celle
    - Difficile ottenere celle 100% autonome
    - Elevati costi di implementazione (variazione layout)
    - Difficile gestire turbolenze di mix
- **Linee transfer** (tipo di fabbricazione)

- Stazioni in linea dedicate alla fabbricazione di un prodotto
- Ritmi produttivi estremamente elevati
- Soluzione efficiente ma rigida
- **Assemblaggio**
  - Importanza dei parametri gestionali
  - Capitale fisso poco rilevante, rilevanza della manodopera elevata
  - A posto fisso
    - Per oggetti ingombranti
  - A trasferimento fisso
    - Catena di montaggio, tempo ciclo ben definito
    - Alta velocità con costi e ingombri ridotti
    - Problema della variabilità delle operazioni manuali

## 20 – Misure di prestazione

- **Obiettivi**
  - Prendere decisioni corrette in base ai segnali su risultati/stato azienda/variabili esterne/clienti
  - Capire gli errori sulla base di quanto è stato fatto
  - Capire il contesto esterno nel quale viene conseguito il risultato
- Importante chiarire il **livello dell'analisi**: la misura della produttività cambia in base al soggetto
- **Principio di indeterminazione**
  - Misurando una qualsiasi grandezza all'interno di un meccanismo complesso come un'organizzazione aziendale, il processo di misura altera il valore reale della grandezza
  - Effetto diretto
    - Ad esempio, misurando la puntualità, se misuro il ritardo medio avrò molti piccoli ritardi, misurando il numero di ritardi, invece, avrò pochi ritardi ma molto consistenti
  - Effetto indiretto
    - Ad esempio, misurando la produttività della MDO potrei ottenere comportamento zelante o diffidente
- **6 proprietà statiche**
  - Tempestività (poco ritardo)
  - Completezza (tutto ciò che contribuisce alla prestazione)
  - Orientamento al lungo periodo
  - Focalizzazione sulle responsabilità specifiche (del singolo)
  - Sensibilità (capacità di leggere piccole variazioni)
  - Misurabilità (rilevazione oggettiva)
- **2 proprietà dinamiche**
  - Manutenibilità (misura adatta a un grande range dell'oggetto di misura o delle modalità di rilevazione)
  - Economicità (devono costare poco in acquisizione ed elaborazione)
- **Si usano più indicatori**
  - Economici
    - Assicurano orientamento al LP: es. Discounted Cash Flow
    - Assicurano responsabilità specifiche: es. Profit & Loss di processo
  - Fisici
    - Assicurano tempestività: es. consuntivi di produzione
    - Assicurano completezza: es. indicatori di customer satisfaction
    - Assicurano responsabilità specifiche: es. solvibilità dei clienti
    - Assicurano precisione: es. giorni di copertura scorte nella filiera
    - Assicurano misurabilità: es. numero di attrezzaggi
- **Misure di qualità**
  - Conformità in house (assenza di scarti)
    - Indicatori fisici
      - Numero rilavorazioni
      - Percentuale rilavorazioni sul totale
      - Tempo rilavorazioni
    - Indicatori economici
      - Costo rilavorazioni
  - Availability
    - Indicatori fisici
      - MTTF e MTTR/S
    - Indicatori economici
      - Costo produzione persa

- Costo manutenzione
- Conformità in field (impatta direttamente sul cliente)
  - Indicatori fisici
    - Numero resi
    - Numero interventi in garanzia
  - Indicatori economici
    - Costo interventi in garanzia
    - Costo perdita immagine (difficilmente quantificabile)
- Personalizzazioni (capacità di offrire prodotti su specifica richiesta)
  - Indicatori fisici
    - Numero parametri personalizzabili
    - Numero varianti ammesse
- **Misure di servizio** (misurano la qualità del processo di allestimento dell'ordine)
  - Accuratezza (spedire esattamente quanto richiesto)
    - Indicatori fisici
      - N° errori di spedizione / N° ordini trattati
      - N° resi per errori di spedizione
    - Indicatori economici
      - Costo penali spedizione inaccurata
      - Costo duplicazione attività gestionali
  - Completezza (spedire tutto quanto richiesto. Inaccuratezza implica incompletezza)
    - Indicatori fisici
      - N° delle righe evase in prima consegna / N° delle righe totali
      - N° medio di consegne per ciascun ordine
    - Indicatori economici
      - Valore delle righe evase in prima consegna / Valore delle righe totali
      - Costo delle spedizioni frazionate
  - Disponibilità
    - Indicatori fisici
      - N° articoli stock-out / N° totali articoli
      - N° ordini/righe/codici evasi / N° ordini/righe/codici totali
    - Indicatori economici
      - Costo vendita persa per stock-out
      - Costo penali per consegna ritardata
  - Persistenza (durata del disservizio)
    - Indicatori fisici
      - Tempo di consegna medio degli ordini non consegnati "subito"
      - N° Periodi di stock-out / N° totale dei periodi
  - Lead Time (tempo tra ricezione ordine e consegna merce)
    - Somma tempi di conferma fido, attesa esterna (code macchine/attesa materiali), tempo produzione (setup+lavorazione+attesa lotto), controllo, carico a magazzino
    - Indicatori prontezza
      - LT complessivo
      - LT produttivo
      - Delivery LT
    - Indicatori di puntualità
      - Ritardo (complessivo, pianificato, non pianificato)
    - Indice di programmazione = rapporto delivery LT (concesso dal cliente) / LT totale
      - Se < 1 è obbligatorio rispondere per magazzino: non c'è tempo per produrre al volo
  - Prontezza (tempestività)
    - Reattività del sistema, distanza tra emissione ordine e spedizione
    - Indicatori fisici
      - (Data consegna – data ordine) / N° ordini tot
      - (Data saldo consegna – data ordine) / N° ordini tot
      - N° ordini evasi entro x gg / N° ordini totali
      - N° righe evase entro x gg / N° righe totali
  - Puntualità
    - Scostamento data di consegna rispetto a quella concordata
    - Indicatori fisici
      - N° ordini / righe in ritardo
      - Ritardo medio

- Indicatori economici
  - Costo penali
  - Costo duplicazione attività gestionali
- **Misure di flessibilità**
  - Flessibilità di piano
    - Capacità di rispondere a variazioni inattese del programma di produzione
      - Indicatori fisici
        - Frozen period (no variazione ordini)
    - Flessibilità di mix
      - Capacità di adattarsi a variazioni di mix mentre siamo già a regime
        - Indicatori fisici
          - Dimensionamento del lotto produttivo
          - Lunghezza campagna produttiva
          - Tempo di setup
        - Indicatori economici
          - Costo di setup
      - Flessibilità di volume
        - Indicatori fisici
          - Grado di utilizzo della capacità produttiva
          - Disponibilità di straordinari
        - Indicatori economici
          - Curva costi-volumi
      - Flessibilità di prodotto
        - Capacità di riconvertirsi alla produzione di un nuovo prodotto
        - Difficile da quantificare, dipende da tempo e costo re-ingegnerizzazione e dalla durata transitorio
    - **Prestazioni interne**
      - Dipendono dagli stati dell'impianto
      - Alcuni si misurano in tempi e altri in quantità
      - Disponibilità = Tempo effettivo di utilizzo (sottratti i problemi interni) / Tempo teorico di utilizzo (tempo totale — tempi chiusura — cause esterne)
      - Saturazione = Tempo truciolo (sottratti i setup e fermate minori) / Tempo effettivo di produzione
        - Dipende da durata e frequenza dei setup
          - Vanno studiati affinché sia impedita ogni regolazione che potrebbe creare problemi
      - Resa = Tempo produzione buona (sottratti i tempi dovuti a riduzione di velocità e spesi a produrre unità non conformi) / Tempo truciolo
        - Si preferisce la misurazione in quantità: unità vendibili / unità producibili
      - Disponibilità =  $(T - MO - MM - SC - O - G - M) / (T - MO - MM - SC - O)$
    - **Produttività**
      - Volume produttivo / livello di impiego di un fattore produttivo
      - Si preferisce scinderlo in utilizzo e rendimento
      - Output sempre la produzione buona in h std, input variabile in base al fattore produttivo (macchine, MDO, materiali)
      - Per la produttività di energia, si usa il rapporto tra 2 grandezze fisiche, o 2 economiche, o 1 ed 1
      - Per le misure di produttività dei materiali, si fa come per l'energia
      - Per il capitale, si divide in fisso (impianti e strutture) e circolante (MP, WIP, PF)
      - Per il capitale circolante, si calcolano indice di rotazione (somma consumi nel periodo di riferimento/ giacenza media) e copertura (giorni nel periodo di riferimento/indice di rotazione)
      - Si usano le curve ABC per focalizzare gli interventi di miglioramento
      - Un'informazione più generale è la riconfigurabilità, funzione delle operazioni eseguibili e dell'efficienza facendole. Difficile da valutare.
    - **Capacità produttiva**
      - Misura l'output realizzabile in un periodo con riferimento ad un mix
      - Teorica (monoprodotto a regime) di mix (con mix multiprodotto e condizioni reali — Pmix)
      - La Pmix si può calcolare anche rispetto ad un prodotto di riferimento
      - $CP = P_{mix} * T * U * \eta$
      - $T * U =$  tempo utilizzato
      - $P_{mix} * \eta =$  potenzialità effettiva

## 30 — Job Shop

- Ciclo tecnologico non obbligato
- Rilevanza dei parametri tecnologici di prodotto, non di processo (possibilità percorsi alternativi)
- Processi analitici
- Organizzato per reparti per affinità tecnologica
- Produzione soprattutto per lotti
- Molto tempo in coda
- Spazi di immagazzinamento
- Flussi intrecciati
- Manopera specializzata
- Molti prodotti con volumi ridotti rispetto al totale
- Mix produttivo molto variabile
- PREGI
  - Flessibilità, le prove non sono un problema perché non bloccano tutta la fabbrica
  - Macchine generiche (lavorano molti prodotti, costano poco)
  - Resistente ai guasti, anche grazie ai cicli alternativi
- DIFETTI
  - Difficoltà nel seguire i flussi e prevedere i colli di bottiglia (si lascia 15-20% di capacità insatura)
  - Qualità variabile
  - Prestazioni dipendenti dal mix
  - Elevati WIP, LT e variazione LT
  - Scarsa saturazione
  - Manopera spesso risorsa critica
  - Difficile gestire la produzione
- Dimensionamento
  - Si può solo ottimizzare, non trovare l'ottimo per le troppe variabili e variabilità dei tempi
  - Trovare mix riferimento, cicli di lavorazione (e possibili alternative) e macchine necessarie
  - Somma tempi dei tipi-pezzo sulle macchine, calcolo fabbisogno e disponibilità di tempo
  - Calcolo numero macchine e turni, tenendo conto della saturazione

## 30 — Celle

- Macchine disposte per omogeneità di prodotti (famiglie)
- Non ci sono flussi tra le celle
- PREGI
  - Semplificazione flussi e distanze minori, layout razionalizzato
  - Riduzione tempi e costi di setup
  - Riduzione dimensione lotti, WIP, e LT
  - Migliore utilizzo spazio e capacità produttiva
  - Migliore stima dei tempi di consegna
  - Facilità di attribuzione di responsabilità
  - Qualità omogenea
- DIFETTI
  - Sbilanciamento carichi tra le celle
  - Potrebbero servire più macchine
  - Operazioni fuori cella difficili da gestire
  - Sensibilità ai guasti e alle turbolenze di mix
  - Rigidità rispetto ai nuovi prodotti
  - Difficile coesistenza con reparti non organizzati per celle, riducono i vantaggi
  - Costoso cambiare layout
- Passi di progetto
  - Raccolta dati sulle tipologie/cicli/quantità
  - Classificazione dei pezzi e standardizzazione dei progetti
  - Razionalizzazione cicli tecnologici e raggruppamento in famiglie
  - Creazione delle celle e assegnazione dei pezzi, per poter dimensionare le celle (come un JS)
- Il raggruppamento dei pezzi avviene classificando
  - A vista
  - Con codifica
    - Assegnazione di un codice ad un prodotto
      - In base a caratteristiche di

- Progettazione (forma/funzione)
- Fabbricazione (dimensioni, materiale, tolleranze, finitura...)
- Programmazione (lavorazione principale, sequenza operazioni, macchina preferita, tempo...)
- PREGI
  - Poco dipendenti da chi codifica
  - Ripetibili e applicabili a numero di pezzi illimitato
- DIFETTI
  - Costosi
  - Lunghi tempi di implementazione
- Classificazione strutturale
  - Gerarchica (monocodice): ogni simbolo dipende da quelli che lo precedono
  - A catena (policodice): simboli indipendenti
- Classificazione dimensionale
  - Codici brevi (sintetici)
  - Codici lunghi
- Classificazione funzionale
  - Morfologica
  - Tecnologica
  - Mista
- Codice Opiz
  - Non proprietario
  - Diffuso
  - Applicabile a molti pezzi
  - Considera sia design che produzione
  - Si creano celle in base alla "distanza" tra i codici
- Sulla base di caratteristiche morfologiche, direttamente a CAD
  - Famiglie ampie, ma qualche pezzo non assomiglia a nessuno
  - Affinità morfologica non implica stesse tecnologie necessarie, rischio di duplicare macchinari
- Sulla base di caratteristiche tecnologiche
  - Non standardizza il processo ma il progetto
- Con tecniche di production flow analysis (PFA)
  - ROC
    - Matrice con prodotti per righe e macchine per colonne, con un 1 quando si usa una macchina per un prodotto, 0 quando non si usa
    - Si ordinano alternativamente dal più alto al più basso i numeri binari letti per righe e per colonne
  - SLC (Single Linkage Clustering)
    - Partire dalla stessa matrice del ROC
    - Calcolare i coefficienti di somiglianza
    - Riunire le macchine con coefficiente superiore ad una soglia (tipicamente 0,5)
- Il dimensionamento del numero di macchine si esegue come per il JS

## 40 — Linee di fabbricazione

- Macchine dedicate ad un prodotto/famiglia
- Ritmi elevati
- Soluzione efficiente ma rigida, flessibilità quasi nulla
- Elevati investimenti e rischio rapida obsolescenza, con macchine specifiche svendute a fine vita
- Grande vulnerabilità ai guasti
- Cadenza dipendente dall'interesse
- PREGI
  - Facilità di gestione
  - Poca manodopera e poco WIP
  - Tempo di attraversamento basso e costante
  - Elevata saturazione e qualità uniforme
- Tipi
  - Tavola rotante (rigida, rara, no buffer)
  - Macchine specifiche in sequenza
  - Centri di lavoro polifunzionali in sequenza (lenti e costosi ma più flessibili)
- Molto simile all'assemblaggio automatico
- Dimensionamento della situazione monoprodotto
  - Individuazione del ciclo (con quantificazione tempi) e assegnazione operazioni alle stazioni

- Ricerca similitudine tecnologica
- Controllo precedenza (da grafo fabbricazione, tabella precedenza o matrice di Hoffmann)
- Bilanciamento
- Calcolo della PT (potenzialità teorica) [pz/h]
- Calcolo PE (potenzialità effettiva) =  $PT * U * \eta$  ( $\eta \approx 1$  nelle linee)
- Definizione del tempo ciclo =  $3600 / PT$  e definizione del grado di saturazione =  $\sum t_i / TC$
- Dimensionamento organici
- Obiettivi
  - Minimizzare il numero di stazioni
  - Minimizzare il tempo ciclo
  - Minimizzare il tempo di inoperosità (cioè massimizzare la saturazione)
  - Minimizzazione dei costi operativi/massimizzazione dei profitti
- Modalità di approccio
  - Tempi deterministici
  - Tempi variabili statisticamente
- Sottoproblemi
  - Definizione della sequenza delle operazioni
  - Ribilanciamento/setup in caso di multiprodotto
- Modelli e algoritmi
  - Programmazione lineare (ottimale)
  - Massimo grado di saturazione imposto
    - Senza regole di priorità
    - Con regole di priorità locali
      - MaxDur
      - MaxNFol (massimo numero di operazioni immediatamente seguenti)
      - Eventualmente task-oriented (non riempie i buchi) o station-oriented
    - Con regole di priorità globali
      - MaxFol
      - Positional Weighting (somma tempi stazioni seguenti)
- Situazione multiprodotto
  - Finito di produrre un prodotto, si attende che l'ultimo della vecchia serie attraversi tutte le macchine, poi si può eseguire il setup delle macchine (ipotesi conservativa)
  - Individuazione mix di riferimento e sviluppo ciclo di lavorazione
  - Bilanciamento come nel caso monoprodotta
  - Calcolo tempo ciclo per la produzione di un lotto di pezzi di tipo j sulle stazioni i (pari al tempo della lavorazione sulla macchina collo di bottiglia)
  - Calcolo tempo necessario per realizzare un lotto di pezzi di tipo j:  $T_j = \sum TL_{ij} + TC_j * (Q_j - 1) + TPL_j$
  - Calcolo del tempo per una campagna =  $\sum T_j$
  - Calcolo della potenzialità media teorica =  $3600 * \sum Q_j / T$
  - Calcolo della potenzialità media effettiva

## 50 — Sistemi di assemblaggio

- Grande importanza dei parametri gestionali
- Poco capitale fisso (attrezzature semplici e generiche)
- Prevalenza di operazioni manuali
- Adatto per veicoli, elettronica e giocattoli
- Composto da stazioni + sistemi di trasporto + contenitori per minuteria
- Necessaria corretta alimentazione, con piccoli magazzini di stazione, trasportatori aerei e kit (semilavorato + componenti)
- Tre tipi di classificazione
  - Per configurazione impiantistica
    - Posto fisso
    - Linea
    - Assembly shop
  - Per modalità di gestione del mix di produzione
    - Sistemi dedicati
      - Una linea per prodotto
      - Adatti ad elevati volumi e sostanziale stabilità
      - Pochi problemi gestionali ma poco flessibili

- Sistemi a lotti (multi model)
  - Più di un prodotto per linea
  - Tempi di setup non trascurabili
  - Serve buon bilanciamento
  - Elevate scorte di PF (domanda non soddisfatta puntualmente)
- Sistemi misti (mix model)
  - Rispetto alle linee dedicate si assembla più di un prodotto
  - Rispetto alle multi-model, la produzione non avviene più a lotti (setup qui = 0), ma è a lotto unitario
  - Realizzati con linee a trasferimento continuo oppure asincrono
  - Seguono bene la domanda ma serve un corretto sequenziamento dei modelli, è difficile la gestione dei flussi e delle stazioni in parallelo
- Per modalità di organizzazione del lavoro
  - Parcellizzati (poche operazioni per operatore)
  - Ricomposti (molte operazioni per operatore, spesso anche un primo controllo qualità)
  - A isole (responsabilità affidata ad un gruppo)
- **Montaggio manuale a posto fisso**
  - Le attrezzature e i componenti convergono sul pezzo
  - Adatto a
    - Oggetti grandi/pesanti
    - Oggetti semplici, con pochi componenti (linee sconvenienti) e in volumi medi (non conviene automatizzare)
  - Bene per produzioni dedicate e lotti
  - Incompatibile con il montaggio parcellizzato
  - PREGI
    - Lavoro vario
    - Rapido avvio nuove produzioni
    - Investimento ridotto (attrezzature generiche e disponibili su più stazioni, che si prestano le cose)
  - DIFETTI
    - Flusso intrecciato
    - WIP abbondante
    - Occupazione di spazio
    - MDO costosa e difficile da addestrare
  - Dimensionamento: Numero stazioni = Potenzialità richiesta [pz/h] \* Tempo montaggio [h/pz]
  - Gli scarti vengono di solito rilavorati
  - Il tempo ciclo corrisponde al tempo totale di assemblaggio, per volumi elevati bisogna parallelizzare, complicando ulteriormente i flussi
- **Montaggio manuale in linea**
  - Prodotti assemblati lungo la linea, con tempo di attraversamento costante
  - Operazioni ripetitive
  - Volumi elevati
  - TC parametro fondamentale =  $1/P$
  - Lower bound =  $[\sum t_i / (TC * GS)]^+$
  - Allocazione alle stazioni come per le linee di fabbricazione
  - Tipi
    - Trasferimento sincrono (o vincolato)
      - Stazioni collegate da convogliatore
      - Assenza di buffer
      - Rischio non completamento
        - Aumentare il TC
        - Aumentare il numero stazioni
        - Linee "a consenso", che portano il TC ad essere variabile
    - Trasferimento asincrono (o non vincolato)
      - Stazioni collegate da convogliatore
      - Presenza di buffer tra le stazioni
      - TC può essere oltrepassato occasionalmente, tranne in caso di blocking o starving
      - Buffer dimensionabile con
        - Approccio analitico (teoria delle code, difficile da applicare ma economico)
        - Approccio tramite simulazione (costoso ma descrive bene la realtà)
      - Più cresce la CP, più l'aumento di capacità dei buffer aiuta a ridurre la variabilità della CP
      - Il buffer tende a disporsi in modo calante lungo la linea, ma  $CP_{max}$  si ha con buffer equidistribuito

- Si può dimensionare il buffer per minimizzare il WIP totale (dimensioni crescenti lungo la linea), ma fare ciò penalizza la CP
  - Si tende a distribuire in maniera equidistribuita oppure simmetricamente rispetto al centro
- Si può dimensionare per massimizzare la CP
  - Maggiore capacità attorno al collo di bottiglia
  - La variabilità dei tempi richiede aumento capacità dei buffer adiacenti
  - L'aumento dei buffer aumenta il tempo medio di attraversamento
- Trasferimento continuo
  - Trasportatore in moto costante e lento
  - Operatore fermo su un nastro in movimento o in lento movimento autonomo
  - Il tempo ciclo vale Distanza pezzi sul nastro / Velocità nastro
  - La lunghezza di una stazione deve essere almeno pari alla distanza tra due pezzi
    - Se è maggiore, il nastro stesso funge da buffer
  - Buffer maggiori non aumentano la CP ma riducono il rischio di mancato completamento a spese dell'occupazione di spazio, del WIP e del LT
  - Variable Rate Launching
    - Viene lanciata una nuova unità appena si libera la prima stazione
    - Oppure si lanciano unità ad intervalli di tempo dipendenti dalla stazione collo di bottiglia
  - Linee a consenso
    - Blocco deciso dall'operaio che non completa la propria operazione
    - Applicabile se c'è collaborazione tra MDO
    - Tipico del JIT
  - Le stazioni sono solitamente aperte (migliore bilanciamento, favoriscono la collaborazione)
- Sezionamento della linea
  - Quando non è possibile mettere un buffer, si hanno sezioni di linea indipendenti. Cresce il WIP.
- Parcellizzazione delle stazioni
  - Delle stazioni che dovevano funzionare in linea vengono accorpate in una unica divisa in più postazioni in parallelo
  - PREGI
    - Maggiore affidabilità e bilanciamento
    - Recupero di capacità produttiva e allargamento mansioni degli operai
  - DIFETTI
    - Aumento tempi di apprendimento e dei costi
    - Più difficile gestire i flussi
- Isole di montaggio
  - Gruppi di lavoro indipendenti cui si assegna gran parte o tutto il ciclo
  - Arricchimento mansioni
  - I gruppi lavorano in parallelo e indipendentemente, con tutti gli operatori del gruppo che lavorano in contemporanea sullo stesso prodotto
  - Gruppi in sequenza, occupandosi ciascuno di una parte significativa del ciclo di lavorazione
  - PREGI
    - Lavoro vario
    - Facile gestione delle assenze e del bilanciamento
    - Facile produzione contemporanea di modelli diversi
    - Riduzione LT complessivo e miglioramento della qualità
  - DIFETTI
    - Complessità dei flussi
    - Attrezzature duplicate e occupazione di spazi
    - MDO costosa e difficile da addestrare
- PREGI LINEE
  - Flusso razionale
  - WIP ridotto
  - Ridotta occupazione dello spazio
  - MDO economica e facilmente addestrabile
- DIFETTI LINEE
  - Lavoro ripetitivo
  - Elevato tempo di avvio nuove produzioni
  - Difficile bilanciamento per pezzi complessi
  - Poco flessibile
- Dimensionamento dal grafo di assemblaggio, dalla matrice di Hoffmann o dalla tabella delle precedenze
  - Determinazione tempi delle singole operazioni

- Definizione TC e bilanciamento linea
- Dimensionamento MDO
- Vincoli
  - Rispetto TC e precedenze
  - Incompatibilità tra operazioni/necessità di assegnarne diverse alla stessa stazione
  - Gestione flusso materiali e spazio
  - Diversa qualificazione della MDO
- Obiettivi
  - Tecnici
    - Minimizzare n° stazioni/TC/tempo di inoperosità/probabilità di superare TC
  - Economici
    - Minimizzare il costo totale atteso (CTA = costo linea (MDO+stazioni) + costo non completamento)
    - Minimizzare i costi operativi
    - Massimizzare il profitto
- Modelli e algoritmi
  - Programmazione lineare
  - Massimo grado di saturazione imposto (con/senza regole di priorità locali), euristico
  - Priorità delle operazioni (euristico)
  - Probabilità di non completamento imposta (euristico)
    - Unici vincoli le precedenze e rispetto TC
    - MDO retribuita indipendentemente dal carico di lavoro
    - Inizio operazione solo se completate tutte quelle con vincoli di precedenza
    - Tempo necessario per ogni operazione distribuisce come una normale indipendente dalle altre e dall'ordine
    - Se un'operazione risulta incompleta, l'assieme continua a viaggiare sulla linea e vengono fatte le successive operazioni possibili
    - Le lavorazioni incomplete sono ultimate fuori linea, ad un costo indipendente dalla % completata
    - Si calcola la probabilità che allocando un'operazione ad una stazione, questa non sia completata
      - Se sotto una soglia si alloca, altrimenti si apre una nuova stazione
  - Kottas e Lau (euristico)
    - Unici vincoli le precedenze e rispetto TC
    - MDO retribuita indipendentemente dal carico di lavoro
    - Tempo necessario per ogni operazione si distribuisce come una normale indipendente dalle altre e dall'ordine
    - Se un'operazione risulta incompleta, l'assieme continua a viaggiare sulla linea e vengono fatte le successive operazioni possibili
    - Operazione disponibile = tutte le precedenti già allocate
    - Operazione desiderabile = disponibile per la quale costa di più aprire una nuova stazione ( $L_k = \text{Costo stazione per unità di tempo} * \text{tempo medio dell'operazione}$ ) rispetto al potenziale costo dato dalla PNC ( $PNC * I_k$ , dove  $I_k$  è il tempo costo di completamento fuori linea dell'operazione  $k$  e di quelle da essa dipendenti)
    - Operazione critica = operazione che non è desiderabile nemmeno a stazione vuota
    - Operazione sicura = operazione desiderabile con PNC inferiore ad una soglia (spesso 0,5%)
- **Montaggio manuale in Assembly Shop**
  - Alternativa alla linea per prodotti molto diversi
  - Assemblaggio scomposto in fasi cui possono essere assegnate stazioni in parallelo, ciascuna in grado di portare a termine il ciclo
  - Ogni stazione ha un buffer in ingresso e in uscita
  - Analogo al JS
  - Movimentazione
    - TAXI: quando AGV spostano i pezzi tra i buffer
    - A flusso passante: se il pezzo viene spostato da AGV dotati di piano di lavoro; usato solo con TC basso
  - Dispatching: stabilire per ogni stazione l'ordine di lavorazione dei pezzi in attesa
    - Rispettando date di consegna, saturazioni massime e quantità di WIP
  - Adatto per pezzi molto diversi da produrre in piccoli volumi
  - PREGI
    - Eliminazione vincolo di rispetto sistematico del TC, perché le stazioni sono disaccoppiate
    - Flessibilità
  - DIFETTI
    - Costo elevato
    - Difficoltà di programmazione

## 60 — Introduzione alla gestione della produzione

- Cosa/quanto/quando/dove/come produrre, rispettando i vincoli e ottimizzando gli obiettivi
- **Difficoltà**
  - Incertezza esterna (clienti/fornitori) ed interna (guasti, scioperi...)
  - Vincoli da rispettare, esterni ed interni
  - Criteri di ottimizzazione
  - Volume e qualità dei dati da gestire
- **Obiettivi**
  - Commerciale (disponibilità prodotto)
  - Produzione (utilizzo macchinari)
  - Personale (utilizzo MDO minimizzando straordinari e cassa integrazione)
  - Amministrazione (riduzione scorte)
- **Fasi**
  - Budget risorse produttive
  - MPS (mese per mese, orizzonte annuale)
  - Pianificazione bisogni (gestione scorte e MRP) (per giorno o settimana, orizzonte annuale)
  - Programmazione operativa (scheduling) (turno per turno, revisione continua)
  - Controllo
  - Misura delle prestazioni
- **Voci di costo**
  - Straordinario
  - Subfornitura
  - Stockout
    - Recuperabile (si pagano penali e extra-costi amministrativi e logistici)
    - Non recuperabile (si perde margine di contribuzione perché il cliente annulla l'ordine)
  - Mantenimento a scorta
    - Costi vivi effettivamente sostenuti
    - Costi opportunità ("come avrei potuto utilizzare il denaro se non fosse immobilizzato in scorte?")
    - Dipende da
      - Giacenza media
      - Costo variabile di produzione sostenuti per mettere a magazzino
      - Tasso di mantenimento (dimensionalmente [1/tempo])
  - Setup
    - Costo della miglior alternativa che si perde per il fatto di realizzare un setup
    - Dipende dal tempo impiegato
    - Costi vivi
    - Costi opportunità
      - Con impianto saturo
        - Costo di realizzazione setup in straordinario
        - Costo di subfornitura
        - Costo di stockout
      - Con impianto non saturo
        - Zero se la manodopera non partecipa al setup o non è utilizzabile altrove
        - Costo della manodopera se partecipa al setup e il suo costo è variabile oppure fisso ma sarebbe stata utilizzabile altrove
  - **Costi rilevanti**
    - Futuri
    - Evitabili
    - Differenziali

## 70 — Previsione della domanda

- **Obiettivi**
  - Prevedere la domanda futura
  - Influenzarla
  - Interpretare quella passata
  - Gestire commercialmente vincoli di capacità produttiva (ad es. avere prodotti con stagionalità opposta)
- **Attività principali**
  - Previsione della domanda, come variabile esogena
  - Gestione della domanda, come variabile endogena

- Deve generare un piano previsionale e calcolarne l'accuratezza, al fine di:
  - Pianificare la distribuzione
  - Definire parametri di gestione delle scorte
  - Dimensionare la capacità delle risorse
- A seconda del contesto cambia l'obiettivo di gestione della domanda
  - MTS: Previsioni di vendita
  - ATO: Previsioni di vendita per sapere cosa tenere a stock, interpretare esigenze cliente
  - MTO: Interpretare le esigenze del cliente
- Cambia anche in base al termine
  - Lungo termine: configurazione impianto
  - Medio termine: dimensionamento di massima dei piani
  - Breve termine: piani di distribuzione/produzione/acquisto
- Oggetto delle previsioni
  - N° ordini
  - Volume vendite
  - Fatturato
- Valorizzato in
  - UdC
  - Unità
  - €
- **Parametri di tempo**
  - Orizzonte previsionale: fino a dove si prevede (ad esempio un anno)
  - Time bucket: con quale dettaglio si prevede all'interno dell'orizzonte (ad es. settimana per settimana)
  - Frequenza: ogni quanto si aggiorna la previsione (ad esempio ogni mese)
- **Accuratezza**
  - Dipende dal livello di dettaglio: se è basso l'accuratezza è alta perché gli errori tendono ad annullarsi
  - Cresce avvicinandosi al momento previsto
- **Costo della previsione**
  - Le previsioni hanno un loro costo, tendenzialmente proporzionale all'accuratezza
  - Al crescere dell'accuratezza, calano i costi sostenuti a causa di previsioni errate
- **Errore di previsione**
  - Differenza tra il valore effettivo della domanda e quello previsto in un periodo
  - Si confronta la domanda con la previsione fatta con un anticipo pari al LT
  - La domanda deve essere valutata dagli ordini, non dalle fatture/pagamenti
  - Varie misure derivate
    - ME (Mean Error)
      - Può annullarsi se errori per eccesso e difetto si compensano
      - Può indicare un bias dell'errore
    - MAD (Mean Absolute Deviation)
      - Errori di segno opposto non si auto-compensano
      - Non coglie correlazione tra gli errori
    - MAPE (Mean Absolute Percent Error)
      - Divide l'errore assoluto per la domanda
      - Penalizza gli errori commessi in periodi a bassa domanda
      - Non ha senso con domanda nulla
    - MSE (Mean Square Error)
      - Penalizza gli errori elevati in errore assoluto
      - Unità di misura poco pratica
    - SDE (Standard Deviation of Errors)
    - TS (Tracking Signal)
      - Divide la somma degli errori per il MAD
      - Varia tra -n e n, dove n è il numero di periodi considerati
      - Se TS supera una certa soglia bisogna verificare le cause dello scostamento
    - CVE (Coefficiente di Variazione dell'Errore)
      - Divide la SDE per la domanda media
- **Principi di base**
  - Il sistema deve essere un veicolo di comunicazione tra chi genera e chi usa i piani
  - Bisogna usare un insieme di tecniche, non una sola
  - Sia misure quantitative che qualitative
  - Includere meccanismi per la gestione di eccezioni (ad esempio promozioni)
  - Deve comunicare anche il valore stimato dell'accuratezza

## • Metodi

- Causali, basati su correlazione
  - Regressione
    - Si ipotizza un legame causale tra una variabile  $y$  ed una o più variabili indipendenti
    - Se il legame è lineare, il modello si dice di regressione lineare semplice
      - Coglie una relazione semplice e tendenziale
      - Il coefficiente di correlazione lineare (che varia tra -1 e 1) indica la qualità del modello
  - PREGI
    - Considera le variabili esterne
  - DIFETTI
    - Necessita di una lunga analisi dei dati
    - Si deve costruire e validare la relazione funzionale
    - Bisogna saper prevedere le variabili causali
- Modelli di estrapolazione (ed eventualmente analisi) delle serie storiche
  - Cercano di individuare componenti di
    - Trend (andamento crescente o decrescente del volume di vendita)
      - Causato da variazione complessiva del volume del mercato, variazione quota di mercato...
    - Stagionalità
      - Causato da clima, ricorrenze...
      - Domanda periodo (ad esempio mensile) / media complessiva (ad esempio annuale)
    - Ciclicità
      - Dovuta alla congiuntura economica generale. Esistono settori ciclici, neutri e anticiclici
  - PREGI
    - Identificazione di trend e stagionalità
    - Aggiornamento tempestivo
    - Stima abbastanza facile dell'accuratezza
  - CONTRO
    - Considerano poco i fattori esterni
    - Non adatti per domanda poco ripetitiva o per nuovi prodotti
    - Servono lunghi periodi di taratura
  - Esempi
    - Medie mobili
      - Si fa la media solo sugli ultimi  $k$  periodi della serie storica
      - Eliminano le rapide oscillazioni del breve periodo
    - Decomposizione/proiezione trend
    - Smorzamento esponenziale
      - Usato per pianificazione materiali, distribuzione, produzione e approvvigionamenti
      - Usato in settori con ciclo di vita lungo e domanda medio-alta
      - Aggregazione a livello di SKU (stock keeping unit)
      - Orizzonte previsionale di medio periodo ( $\leq 12$  mesi)
      - Servono almeno due anni di dati storici riferiti al venduto settimanale/mensile
    - Brown (smorzamento semplice)
      - Per la previsione utilizza la domanda del periodo precedente e la previsione per il periodo precedente, pesate rispettivamente rispetto ad  $\alpha$  e  $1-\alpha$ , con  $\alpha$  coefficiente di smorzamento
      - Richiede di tarare il coefficiente  $\alpha$ : se tende a 1 dà maggiore importanza alla domanda (maggiore peso ai dati recenti), se tende a 0 dà maggiore importanza alle previsioni (maggiore peso al passato)
      - Adatto in assenza di trend e stagionalità
    - Winters
      - Adatto anche in presenza di trend e stagionalità, che vengono costantemente corretti
      - Richiede di definire tre coefficienti ( $\alpha$ ,  $\gamma$  e  $\beta$ ) per media, trend e stagionalità
      - Richiede almeno due anni di dati (ovvero due cicli di stagionalità) per l'inizializzazione
- Qualitativi
  - Esempi
    - Forza vendita, che ha una certa idea delle intenzioni dei clienti
    - Panel di esperti (che svolgono diverse mansioni in azienda)
    - Metodo Delphi (interrogazione di esperti mediante questionario)
    - Scenari futuri
    - Indagini di mercato
  - PREGI
    - Considerano tutti i fattori "mai accaduti" o non ricavabili dalle serie storiche

- Creano consenso sul risultato del processo previsionale
- DIFETTI
  - Limitata capacità di analisi quantitativa (ad esempio: la macchina piace, ma quanto venderà?)
  - Onerosità in termini di dati e riunioni
  - Correlazioni illusorie a supporto delle proprie tesi, effetto di conformismo in un gruppo
- **Fattori che influenzano la domanda**
  - Promozioni sell-in (si spinge la merce verso i rivenditori) e sell-out (si incentivano i clienti all'acquisto)
  - Variazioni di prezzo
  - Fase del ciclo di vita
  - Concorrenza
  - Campagne pubblicitarie

## 80 — Programmazione aggregata della produzione e MPS

- Elabora un piano di produzione sulla base di domanda, vincoli e obiettivi
- Scende a livello di singolo codice/famiglia/tipo
- Al calare dell'orizzonte considerato, cala l'impatto economico ma cresce il numero di vincoli da considerare
- **Programmazione strategica**
  - 2-5 anni
  - Pianifica la produzione complessiva
  - Decide su adeguamenti di capacità, alloca la produzione e decide come rispondere alla domanda
  - Unità di tempo annuale, ripetuta ogni anno
- **Budget di produzione**
  - ?????????
  - DISPENSE
  - ?????????
- **Programmazione aggregata**
  - 1 anno
  - Pianifica le famiglie di prodotti da produrre per soddisfare la domanda al minimo costo
  - Decide quando/quanto/cosa produrre in ogni periodo, make or buy tattico, ecc
  - L'unità di tempo è il mese, ripetuta mensilmente/trimestralmente/annualmente
- **Master Production Schedule (MPS o piano di produzione)**
  - È la versione disaggregata per prodotto e per periodo della programmazione aggregata
  - Scopo delle decisioni di programmazione aggregata è far incontrare domanda e capacità
    - Pianificazione scorte e ricorso a subfornitura
    - Piccoli investimenti di espansione
    - Gestione organico (turni e straordinari)
  - Ci sono numerose soluzioni fattibili
  - Bisogna valutare le decisioni in termini di costo totale del piano
  - Algoritmi esistenti
    - Programmazione lineare
      - Semplice
        - Domanda stagionale prevedibile deterministicamente
        - Monoprodotto
        - Monomacchina
        - Risorsa critica: manodopera, con possibilità di ricorrere allo straordinario
        - Obiettivo: minimizzare i costi connessi al piano
      - A numeri interi
        - Domanda stagionale prevedibile deterministicamente
        - Multiprodotto
        - Monomacchina
        - Risorsa critica: ore macchina
        - Setup modellizzato solo come costo
        - No backlog
        - Obiettivo: minimizzare i costi connessi al piano
  - Magee - Boodman
  - Wagner Whitin
  - Karni - Roll
  - Aucamp

## 85 — Programmazione aggregata — Modelli

### • Magee - Boodman

- Derivato dai modelli di gestione delle scorte (una specie di EOQ multiprodotto)
- Adatto a situazioni multiprodotto e monomacchina con domanda prevedibile statisticamente
- Ricerca il numero economico  $n_0$ , cioè il n° ottimo di campagne svolte nell'intervallo di programmazione
- Si prevede di realizzare tutti i prodotti in ogni campagna
- Mantenimento a scorta, produzione e setup considerati solo come costi monetari, non di tempo
- Il costo di setup non tiene conto né del tempo di mancata produzione né della sequenza di produzione
- È possibile predeterminare la sequenza ottima di produzione e mantenerla fissa in tutte le campagne
- Limiti del modello
  - Campagne degeneri: devo davvero produrre tutti i codici in ogni campagna?
    - Si calcola il lotto economico per ciascun prodotto considerato separatamente. Se il numero è molto minore di quanto prevede per ciascuna campagna il modello di Magee Boodman, si considera la produzione a campagne alterne/occasional, in base ai costi complessivi
  - Incertezza nelle previsioni di domanda
    - Si devono mantenere scorte di sicurezza
  - Setup dipendenti dalla sequenza ottima stabilita a priori
  - Vincoli di capacità non considerati
  - Tempi di setup non considerati
  - Per il controllo si usa  $R(k)$ , rapporto tra scorta massima e media del ciclo, calcolato appena dopo  $n_0$ 
    - Si calcola costantemente  $R'(k)$ , rapporto tra scorta istantanea e media del prodotto  $k$
    - Quando  $R'(k) = R(k)$  si ferma la produzione e si passa al prodotto con il minimo  $R'(k)$

### • Wagner - Whitin

- Ipotesi
  - Monoprodotto
  - Domanda prevedibile (deterministica)
  - Capacità infinita
  - Costo di produzione/acquisto costante nel tempo
  - Setup considerati solo come costi, non come tempi
  - No backlog
- Si utilizza in ogni istante un funzionale ricorsivo come funzione da minimizzare
  - Con  $T$  periodi, abbiamo  $2^{T-1}$  possibili funzioni
- Limiti del modello
  - Soluzione enumerativa, bisogna mostrare le alternative possibili
  - Si parte dai periodi più lontani nel tempo, quelli con valore di domanda meno affidabile
- Esistono delle osservazioni che consentono di semplificare il problema
  - Esiste una soluzione ottima per la quale (scorta ad inizio periodo)  $X(t) = 0$  per ogni  $t$ 
    - Significa che o si produce o si smaltisce la scorta, non un po' e un po' (avrei costi di mantenimento e costi di setup)
  - Se in un periodo  $h_0$   $INV = 0$ , cioè devo attivare la produzione, i periodi successivi saranno indipendenti dai precedenti (teorema dell'orizzonte di pianificazione)
  - Esiste una soluzione ottima per la quale la produzione di un periodo soddisfa la domanda per un numero intero di periodi successivi
  - Se la domanda di un periodo è soddisfatta da uno precedente, anche la domanda di tutti i periodi intermedi tra i due è soddisfatta
  - Se in un periodo  $t$  si ottiene il minimo producendo in un periodo precedente (ad esempio  $t-2$ ), nei periodi successivi a  $t$  è sufficiente considerare l'avvio della produzione solo tra  $t-2$  e gli istanti stessi

### • Karni - Roll

- Ipotesi
  - Multiprodotto
  - Domanda di forma qualsiasi ma nota deterministicamente
  - Capacità produttiva limitata
  - Setup considerati come costi e non come tempi
  - No backlog
- Formulazione simile alla PL a numeri interi, ma con soluzione euristica (per tentativi, non fornisce la soluzione ottima ma una soluzione buona e ottenibile in tempi ragionevoli)
- Si parte dalla soluzione di Wagner - Whitin per il caso monoprodotto (si calcola per ciascun prodotto), che rappresenta il limite inferiore del costo, ottenibile con capacità infinita (che è un'ipotesi di WW)
- L'algoritmo cerca una soluzione ammissibile effettuando degli shift tra i periodi, rendendo fattibile la soluzione tenendo conto dei limiti di capacità

- Se l'infattibilità si presenta al primo periodo, il problema è a priori irrisolvibile, a meno di non rilassare il vincolo di assenza di backlog
- Gli shift si caratterizzano per dimensione (quantità spostata) e direzione di spostamento
- Gli obiettivi degli shift sono la rimozione dell'infattibilità al minimo costo e la minimizzazione del costo complessivo
- Regole degli shift:
  - Spostare la minor quantità possibile per eliminare le infattibilità (generalmente riguarda gli anticipi)
  - Spostare la maggior quantità possibile per ridurre il costo di mantenimento
  - Spostare tutta la quantità possibile per
    - Eliminare un setup
    - Ridurre il costo di mantenimento senza generare nuovi setup
  - Spostare a destra (posticipare) la maggior quantità possibile senza generare infattibilità
  - Spostare a sinistra (anticipare) la minor quantità possibile senza generare infattibilità
- L'effetto di ciascuno shift si valuta in termini di riduzione del costo del piano
  - Spostare a sinistra (anticipare) porta ad aumentare i costi, quindi la riduzione di costo è negativa
  - Si deve tenere conto della variazione nel numero di setup necessari
- 5 subalgoritmi
  - Eliminare le infattibilità tra 1 e  $\tau$
  - Eliminare tutte le infattibilità di una soluzione (applica ricorsivamente il primo)
  - Ridurre i costi di setup con shift a sinistra (accorpamento lotti)
  - Ridurre costi di mantenimento spostando a destra (dopo ogni shift richiama l'algoritmo 3)
  - Perturbare la soluzione (per evitare di trovarsi in un minimo locale)
- Si parte da WW, quindi si comincia a lavorare facendo crescere il costo piano man mano che si tolgono le infattibilità, quindi si riduce il costo di setup e si fa calare il costo del piano, che scende ancora riducendo le scorte e portandosi asintoticamente ad un valore buono
- VANTAGGI
  - Più efficiente della PL a numeri interi: 140 volte più veloce a fronte di soluzione peggiore di solo l'1%
- SVANTAGGI
  - Elaborazione comunque lunga
  - Non si tengono in considerazione i tempi di setup, che potrebbero rendere infattibile un piano
  - Prestazioni influenzate dallo shift factor  $SF = \text{costo di setup} / \text{costo di mantenimento}$ 
    - Per SF bassi la soluzione di partenza di WW è poco significativa
    - Per SF alti le prestazioni sono scarse, dato che introducendo i tempi di setup su potrebbe superare la capacità massima
- **Aucamp**
  - Ipotesi
    - Multiprodotto
    - Domanda di forma qualsiasi ma nota deterministicamente
    - Capacità produttiva limitata
    - Setup considerati come tempi, non hanno un costo esplicito ma riducono la capacità
    - No backlog
    - Euristico
    - Costo di mantenimento non è esplicito ma è quantificato dal tasso barriera che attualizza i costi
  - Si fa un bilancio sui materiali
  - Si fa un bilancio sulla MDO
  - Legame produzione - tempo
  - Vincoli ulteriori sul setup
    - Tempi spesi in produzione e setup dagli operai devono essere minori dell'orario complessivo
    - Tempi spesi in produzione straordinaria e setup straordinari devono essere minori del massimo
  - La funzione obiettivo da minimizzare è quella dei costi totali attualizzati rispetto al tasso barriera
    - Il costo della manodopera è fisso per l'intero orario normale indipendentemente dalle ore effettivamente lavorate, mentre è proporzionale alle ore in straordinario
  - Si può calcolare la dimensione del lotto di ciascun prodotto
  - Si impone che la giacenza media sia superiore alla somma delle SS e della metà del lotto
  - Cambiare la dimensione del lotto fa cambiare le ore di setup
  - Il modello può essere esteso
    - Per considerare i backlog, modificando il bilancio dei materiali (si sottrae il BL) e si aggiungono i costi di BL alla funzione costo
    - Inserendo una limitazione alla giacenza
    - Inserendo una subfornitura differenziata, con costi e limiti di capacità diversi per i vari terzisti

- Il modello è strutturalmente di PL, a meno dei termini di perturbazione del lotto (k)
- La particolarità del modello è la considerazione dei setup come tempi che causano riduzione della capacità e come costo implicito di mancata produzione, ma non considera i costi vivi di setup e considera il tempo di setup come indipendentemente dalla sequenza
- Il costo di mantenimento a scorta è considerato solo come costo opportunità

## 90 — Pianificazione dei fabbisogni e gestione delle scorte

- Cosa/quanto/quando ordinare ad ogni stadio del processo produttivo
- **Gestione pull, a scorta** (tradizionali o JIT)
  - La domanda di PF si ripercuote sulle fasi precedenti generando i fabbisogni/ordini
  - Istante e quantità di riordino decisi solo in base al livello attuale delle scorte
  - Pura reazione alla domanda, gestione tirata dal consumo del passato
  - Adatta a:
    - Domanda estremamente costante
    - Domanda impossibile da prevedere
    - Fasi produttive molto elastiche e flessibili
    - Beni di largo consumo, dove valgono le ipotesi di normalità
  - Si sfruttano le scorte per
    - Assorbire la variabilità della domanda
    - Disaccoppiare le fasi operative, consentendo ritmi di produzione diversi
    - Scorte speculative
    - Minimizzare i costi complessivi di gestione (riduzione setup/costo di emissione ordini)
  - Prestazioni delle scorte
    - Efficacia: livello di servizio, entità e durata degli stock-out
    - Efficienza: costi fissi/MDO/setup/acquisto risparmiati
  - La politica di gestione impatta sui costi, e deve considerare i vincoli di CP e di capienza del magazzino
  - Il grado di controllo sulle scorte impatta sul costo di controllo ed è vincolato dalle risorse di controllo disponibili (persone, elaboratori...)
  - Domanda complessiva come somma di numerose e piccole domande indipendenti con distribuzione normale degli errori e utilizzo graduale delle scorte
  - **PROBLEMI**
    - Effetto "bullwhip": in presenza di molti stadi produttivi, una domanda costante si può trasformare in una domanda impulsiva negli stadi precedenti a causa dell'effetto della lottizzazione. Effetto particolarmente rilevante con distinte base profonde (alte)
    - Servono parecchie scorte se la distinta base è larga (molti sottoassiemi)
  - **Obiettivo**: minimizzare i costi e massimizzare il livello di servizio
    - Rappresentato dalla minimizzazione di una funzione globale contenente tutti i costi (scorta, ordini, setup, controllo, stock out)
  - **Classificazione**
    - Per tipo di controllo: continuo/discontinuo (ad intervalli)
    - Per intervallo emissione ordini: fisso/variabile
    - Per quantità ordinata: fissa/variabile
    - Per tipo di riordino: a voci indipendenti/congiunte
  - **Modelli switch**
    - Controllo continuo, con quantità e intervallo emissione ordini variabili
    - Uno o più livelli di controllo
      - Attraversato il livello, parte l'ordine
      - Ad un livello funziona bene solo se c'è un ritardo dato dal LT
      - A molti livelli si hanno anche ordini di variazione del ritmo produttivo, non solo on/off
  - **Modello del lotto economico (EOQ)**
    - Controllo continuo
    - Intervallo di emissione variabile, quantità ordinata fissa
    - Riordino a voci indipendenti
    - Obiettivo: identificare la quantità q da riordinare che minimizza il costo totale
    - Ipotesi
      - Consumo costante nel tempo
      - Costo di ordinazione, valore, tasso di mantenimento e LT a scorta costanti
      - Ritmo di ripristino scorte e capacità magazzino infiniti
      - Costo di trasporto trascurabile o compreso nel costo di ordinazione
    - Giacenza media = quantità di ordine / 2

- Numero ordini/anno = domanda annua / quantità d'ordine
- Punto di riordino =  $d \cdot LT + SS$
- Se il tempo per realizzare un lotto è elevato, l'invio a magazzino non sarà immediato, cambia EOQ
- La scorta di sicurezza previene lo stockout
  - Dipende da variazioni di domanda e LT rispetto alla previsione, e dal livello di servizio richiesto
- Senza considerare le scorte di sicurezza, l'EOQ prevede costi di mantenimento a scorta pari a quelli di ordine
- PREGI
  - Livello medio scorte contenuto (grazie al controllo continuo)
  - Minimizzazione dei costi rilevanti
- DIFETTI
  - Difficoltà nel pianificare le attività di riordino a voci congiunte
  - Molti ordini
  - Controllo oneroso
- **Modello a intervallo fisso di riordino**
  - Controllo discontinuo (discreto)
  - Intervallo di riordino fisso ma quantità variabile
  - Riordino a voci indipendenti o congiunte
  - Obiettivo: identificare la quantità da riordinare allo scadere di ogni intervallo, per portare la disponibilità al livello obiettivo
  - Ipotesi
    - Le stesse dell'EOQ
  - Questo metodo è più gravoso sui costi di mantenimento a scorta, perché bisogna coprire non solo il LT ma anche l'IR, dato che ordiniamo solo di tanto in tanto
  - Si controlla la disponibilità = giacenza fisica + ordini emessi ma non ancora arrivati
  - Si emette un ordine  $Q = LO - \text{disponibilità}$
  - $LO = (LT + IR) \cdot D + SS$
  - Giacenza media =  $D \cdot (IR/2) + SS$
  - La scorta di sicurezza è calcolata come per EOQ, ma sull'intervallo di riordino + il LT
  - PREGI
    - Buona pianificazione della attività di riordino a voci congiunte
    - Controllo semplice
  - DIFETTI
    - Livello medio delle scorte elevato (a causa del controllo periodico)
- **Gestione push, a fabbisogno**
  - Si parte da un'idea di quanto voglia il cliente e si torna indietro mediante al distinta base
  - Adatto a sistemi complessi con molti componenti e stadi di montaggio

## 95 – Gestione a fabbisogno (push)

- Preferibile con
  - Prodotti complessi, che altrimenti richiederebbero scorte abnormi
  - Prodotti con domanda dipendente (ad esempio su commessa): quando arriva l'ordine mi organizzo
  - Prodotti con tempo di produzione lungo, con il push posso pianificare gli ordini perché arrivino al momento giusto
  - Prodotti costosi, che è estremamente dispendioso mantenere a scorta
- Le richieste di produzione dipendono direttamente dalla MPS
- Obiettivo: coordinamento degli appuntamenti produttivi, calcolando cosa serve in ogni momento per realizzare l'MPS
- Il fabbisogno di ogni componente è calcolato e non stimato, a differenza della gestione a scorta (pull)
  - Fabbisogno informativo molto superiore
- La procedura che realizza le elaborazioni richieste per il push è l'MRP (Material Requirements Planning)
  - L'MRP consiste nel proiettare su periodi futuri di tempo di lunghezza predeterminata la situazione scorte di ogni articolo
  - Per ogni periodo e ogni codice
    - Si tiene conto del fabbisogno totale lordo, delle scorte disponibili e degli ordini/produzioni in corso
    - Si determinano fabbisogni netti, lottizzati opportunamente e tempificati considerando il LT
    - Sulla base di ciò, si pianificano ordini di acquisto/fabbricazione, che potrebbero richiedere approvvigionamento di altre parti/assiemi, da analizzare analogamente in modo ricorsivo
- Le informazioni richieste sono
  - MPS

- Provenienza/coefficiente di scarto di ogni codice
  - Per tenere conto del fabbisogno netto considerati gli scarti, si moltiplica per 1+scarti, anziché dividere per 1-scarti
- Coefficienti di impiego
- Coefficienti di scarto del processo
- LT e sua correzione
- SS e criteri di lottizzazione
- Fasi per la creazione dell'MRP
  - Determinazione dei fabbisogni netti per periodo
    - Si calcola la scorta disponibile, cioè la giacenza fisica meno scorte di sicurezza e scorta prenotata
    - Si parte dal fabbisogno lordo e si sottrae quanto disponibile a scorta
  - Lottizzazione
    - Si riordina esattamente quanto serve (lot for lot)
    - Si riordina un multiplo di una quantità fissa (EOQ)
    - Si riordina una quantità variabile dinamicamente
  - Tempificazione dell'emissione degli ordini in base al LT
    - Si stabilisce la data di emissione ordine anticipando l'ordine di LT rispetto alla data richiesta
  - Determinazione dei fabbisogni lordi dei componenti
    - Si espone la distinta base, e per ciascun componente si ripete il ciclo a partire dal fabbisogno lordo
- Problemi dei dati
  - Errori
  - Incertezza
  - Il LT è variabile per natura, sottostimandolo si rischia stock-out, sovrastimarne aumenta i costi di scorta
- **Planning bills**, gruppi artificiali di codici per facilitare la pianificazione
  - Family Bills
    - Struttura
      - A livello 0 è presente un gruppo di famiglie (ad esempio: ingranaggi)
      - A livello 1 sono presenti le famiglie (ad esempio: coppie coniche)
      - A livelli inferiori ci sono le sottofamiglie, i prodotti medi o al limite i codici dei PF (Ad esempio coppie coniche per autocarri → Iveco → Pignone/corona)
    - Tramite i coefficienti di utilizzo e la struttura si possono disaggregare le previsioni di medio-lungo termine nei dati previsionali a livello di famiglia/PF
  - Super bills
    - Utile soprattutto a monte dell'MRP per rendere più affidabile la formulazione dell'MPS
    - A livello 0 c'è un prodotto medio, che a volte può essere l'ultimo livello di una family bill
    - Adatte quando il prodotto è offerto con molte funzioni ciascuna con opzioni
    - Permette di organizzare le distinte in distinte modulari, cioè distinte fittizie che contengono tutti i codici appartenenti ad una stessa opzione
    - Consente di pianificare scorte non sul prodotto assemblato ma sui macrocomponenti necessari
- LIMITI dell'MRP
  - Problemi di dati (errori, portano impatto organizzativo), LT e capacità produttiva
  - Errori nei dati possono essere mitigati con sistemi di identificazione automatica (codici a barre, smart card, RFID...)

## 100 – Programmazione di breve periodo

- Decide cosa/quanto/quando/dove produrre
  - A livello di lotti di ciascun articolo e singole macchine
  - Su un breve orizzonte
  - Con dettaglio giornaliero/orario
  - Molti dati disponibili: ordini pianificati nella fasi precedenti, disponibilità di risorse e scorte
- **Fasi**
  - Caricamento tempificato del sistema produttivo e generazione ordini di produzione, in accordo con il piano fissato da MPS/MRP
  - Allocazione operazioni produttive alle risorse disponibili
  - Sequenziamento produzione (cosa conviene produrre?)
- **Criticità**
  - Grande mole di dati
  - Incertezza dei dati (variabilità, imprevedibilità ed aleatorietà), seppur minore rispetto all'MPS. Per contro non c'è tempo per correggere il tiro
- Difficoltà nella definizione degli obiettivi (meglio efficienza (saturazione) o efficacia (velocità)?)

- **Dati richiesti**
  - Ordini di produzione (cosa/quanto/quando)
  - Distinta base
  - Ciclo di lavorazione/assemblaggio (macchine/attrezzature/tempi/rese/setup)
  - Calendario disponibilità risorse
  - Stato del sistema (lavori in corso/risorse/scorte)
- **Lessico**
  - Routing: sequenza operazioni presenti in un ciclo di un job
  - Preemption: interrompere una lavorazione in corso per lavorare un job più urgente
  - Passing: sorpasso tra job in coda
- **Ipotesi**
  - La programmazione fatta a monte è bloccata
  - Le risorse non sono modificabili
  - Una sola risorsa critica (di solito le macchine), le altre (ad esempio gli operai) sono sempre disponibili
  - Job completamente definiti dal punto di vista tecnico
  - Tempi di trasporto dei job tra due fasi successive del ciclo trascurabili
  - Non si considera l'influenza di punti di disaccoppiamento
  - Una macchina può lavorare un solo job alla volta
  - Un job può essere lavorato solo da una macchina
    - No parallelo su macchine uguali
    - No inizio su macchina successiva prima della fine della precedente
  - Costi mantenimento a scorta trascurabili dato il breve orizzonte
- **Sistemi gestibili**
  - Macchina singola
  - Macchine parallele
  - Open shop (JS senza legami di precedenza, usato per determinare massima capacità di un JS)
  - Flow shop (JS con ordine obbligato, no cicli alternativi)
  - Job Shop
- **Vincoli**
  - Tempi di setup
    - Dipendenti o indipendenti dalla sequenza
    - Dipendenti o meno dallo stato della macchina è dalla sua storia pregressa
  - Preemption ammessa o meno
  - Passing ammesso o meno
  - Tempi di lavoro deterministici o stocastici (molto raro, incertezza bassa su intervalli così brevi)
- **Obiettivi**
  - Lateness = data completamento - data consegna concordata
  - Tardiness =  $\max(0, \text{lateness})$  (anticipi non compensano ritardi)
  - Flowtime (singolo job) = data completamento - data inizio lavorazione
  - Lateness media
  - Tardiness media
  - Flowtime medio
  - Numero di job in ritardo
  - Makespan: MAK =  $\max(\text{data completamento}) - \min(\text{data inizio lavorazione})$ 
    - Tempo completamento di tutto l'insieme di job
  - Coefficiente di saturazione di una macchina
  - Coefficiente di saturazione medio
  - WIP
  - Tempo di setup complessivo
- **Classificazione**
  - Per tipo di sistema produttivo
  - Per tecnica risolutiva adottata
    - Ottimizzazione: trovano la miglior soluzione possibile
      - Analitici: risolvono una formula o un sistema di equazioni
        - Continui
        - Discreti
      - Algoritmici: esecuzione sistematica di una serie di passi
        - Enumerativi: confrontano tutte le possibili soluzioni
        - Di calcolo: arrivano alla soluzione con tecniche di calcolo, ad esempio il simplesso
    - Euristici: trovano una soluzione ragionevolmente buona, non necessariamente quella ottima
      - Sostituzione di obiettivi, ricercano un altro obiettivo con effetti simili ma più semplice da gestire

- Ad esempio bilanciare i carichi invece che minimizzare il makespan
- Miopi: ipotizzano che trascurare alcuni aspetti non peggiori molto il risultato
  - Rispetto allo spazio (considerano solo alcune delle soluzioni accettabili)
  - Rispetto al tempo (scindono il problema in sottoproblemi più semplici risolti separatamente)
- Simulazione
- Interattivi, costruiscono la soluzione progressivamente con l'intervento umano
- Per obiettivi specifici
- **Due grandi classi di approcci risolutivi**
  - Programmazione operativa
    - Cercano di risolvere a priori tutto quanto
    - La soluzione vale solo se si mantengono le condizioni assunte per la soluzione, ma essa tende ad essere migliore
  - Controllo della produzione (o regole di carico)
    - Operano scelte produttive di breve termine via via che sono richieste
    - Sempre di tipo euristico
- **Algoritmi di programmazione operativa**
  - Karg & Thompson
    - Caratteristiche
      - Macchina singola con setup dipendenti dalla sequenza
      - No preemption
      - Obiettivo: minimo setup complessivo = minimo makespan
      - Tecnica: euristica miope nel tempo
    - Procedimento
      - Selezionare casualmente due job
      - Selezionarne un altro e porlo in ciascuna posizione della sequenza, calcolando il tempo di setup complessivo corrispondente
      - Posizionare il job secondo la sequenza più conveniente e tornare al passo 2 fino alla fine dei job
      - Ripetere il tutto cambiando i 2 job iniziali
  - Hodgson
    - Caratteristiche
      - Macchina singola con setup nulli o indipendenti dalla sequenza
      - No preemption
      - Obiettivo: minimo numero di job in ritardo
      - Tecnica: ottimizzazione algoritmica
    - Procedimento
      - Creare due insiemi, job in ritardo (L) e non in ritardo (E)
      - Inserire tutti i job in E ed ordinarli per data di consegna crescente
        - Tra i job in E che sono in ritardo, spostare in L quello con il tempo di lavorazione massimo
        - Se non ci sono job in ritardo, la sequenza ideale è quella trovata di E seguita da L (il cui ordine non importa)
  - Johnson
    - Caratteristiche
      - Flow shop con 2 macchine
      - Setup nulli o indipendenti dalla sequenza
      - No preemption
      - No passing
      - Obiettivo: minimo makespan = massima saturazione
      - Tecnica risolutiva: ottimizzazione algoritmica
    - Procedimento
      - Tra tutti i job disponibili, prendere quello con il minimo tempo di lavorazione
        - Se il tempo minimo trovato per questo job è sulla prima macchina, metterlo al primo posto libero nella lista della sequenza
        - Se il tempo minimo trovato per questo job è sulla seconda macchina, metterlo all'ultimo posto libero nella lista della sequenza
      - Rimuovere il job trovato e precedere fino all'esaurimento dei job disponibili
  - Campbell, Dudek e Smith
    - Caratteristiche
      - Flow shop con M macchine
      - Setup nulli o indipendenti dalla sequenza
      - No preemption
      - No passing

- Obiettivo: minimo makespan = massima saturazione
- Tecnica: euristica per sostituzione di obiettivi
- Procedimento
  - Costruire M-1 coppie fittizie di macchine, sommando per ciascun job i tempi delle prime k e delle ultime k macchine (con k da 1 a M-1)
  - Trovare la sequenza ottimale per ciascuna coppia fittizia con l'algoritmo di Johnson
  - Calcolare il makespan di ciascuna delle sequenze trovate e scegliere il valore più basso
- **Regole di carico**
  - Rinunciano a formare un piano di produzione che predefinisca le assegnazioni e sequenza
  - Forniscono regole con cui prendere decisioni
  - Approccio euristico ma flessibile
  - Decisioni
    - Timing: quando rilasciare ordini al reparto
    - Loading: quali e quanti job rilasciare
    - Dispatching: quale job tra quelli in coda deve essere lavorato
    - Routing: a quale risorsa produttiva inviare il job terminata l'operazione
  - Classificazione in base
    - Alle variabili usate per la decisione
      - Si usa una cifra di merito calcolata su una o più tra tempo di lavorazione/setup/data di consegna/stato job/stato macchina/stato impianto/costo ritardo
    - Alle modalità di aggiornamento
      - Statiche: la priorità reciproca di 2 job in coda alla stessa macchina non cambia nel tempo
      - Dinamiche: la priorità reciproca di 2 job in coda alla stessa macchina varia nel tempo e va ricalcolata
    - All'origine delle informazioni
      - Locali: se per calcolare la cifra di merito bastano le informazioni sulle lavorazioni su quella macchina
      - Globali: se per calcolare la cifra di merito servono informazioni relative anche ad altre macchine
  - Regole
    - SPT — Shortest Processing Time
      - Variabile: tempo di lavorazione
      - Statica e locale
      - Per primo il job con il minimo tempo di lavorazione sulla macchina
      - Su macchina singola minimizza il flowtime medio
      - Rischia di ritardare molto i job più onerosi
    - EDD — Earliest Due Date
      - Variabile: data di consegna
      - Statica e locale
      - Per primo il job con data di consegna più vicina
      - Buoni risultati in termini di numero di job in ritardo
      - Trascura i tempi di lavorazione, sfavorendo i job più onerosi
    - OPNDD — Operation Due Date
      - Variabili: data di consegna, tempi di lavorazione, operazione corrente
        - Considerandone diverse, diventa più oneroso
      - Statica e globale
      - Calcola per ogni operazione una OPNDD suddividendo l'intervallo tra ingresso del job e due date tra tutte le operazioni in parti uguali (se la durata delle lavorazioni è simile) oppure in parti proporzionali ai tempi di lavorazione
      - Per primo il job con la OPNDD più vicina per l'operazione corrente
      - Buoni risultati nel rispettare i tempi
    - S/OPN — Slack per Operation
      - Variabili: data di consegna, tempi di lavorazione, operazione corrente
      - Dinamica e globale
      - Calcola per ogni job lo slack = due date - istante attuale - tempo di lavorazione totale residuo
        - L'istante attuale la rende dinamica
      - Calcola il rapporto  $S/OPN = \text{slack} / \text{numero operazioni residue}$
      - Dà buoni risultati in termini di puntualità di consegna
  - PREGI
    - Semplicità e flessibilità
    - Richiedono poche informazioni
    - Non sono legate rigidamente alle caratteristiche del sistema
    - Decisioni ritardate, permettendo di resistere a variazioni
    - Buoni risultati pratici

- **Il modello di Bechte**

- Adatto a JS generico
- Obiettivi:
  - Autoregolazione del sistema rispetto al consumo da valle
  - Bilanciamento dei carichi di lavoro alle stazioni
  - Controllo delle scorte di processo e dei carichi di lavoro in ingresso
- Si mette in relazione il LT con il WIP (carico)
- All'aumentare del carico cresce in modo proporzionale il tempo di attraversamento medio (coda FIFO)
- Uguaglianza rapporti  $WIP/LT = \text{capacità}/\text{periodo di riferimento}$
- Si definisce un load limit sotto il quale mantenere il carico per garantire il rispetto di LT e WIP pianificati
  - $LL = 100 * (CAPACITÀ + WIP) / CAPACITÀ$
- Carico totale = carico attuale (ciò che è già in coda) + carico in transito (ciò che finirà in coda)
  - Il carico in transito viene deprezzato, per tenere conto del fatto che potrebbe arrivare anche dopo il PP attuale: carico in transito = ore macchina \* probabilità che arrivi entro il PP
- Probabilità che un job venga rilasciato dal centro m al successivo entro il PP = capacità pianificata di m / carico pianificato di m
  - Se tutti i centri sono gestiti con carico controllato, esso può essere approssimato con LL, quindi la probabilità definita prima diventa  $100 / LL$  del centro m
  - La probabilità di raggiungere la macchina m + n è la produttoria di tutte le probabilità da m a n
- Procedimento
  - Lista O di tutti gli ordini pervenuti dall'ultima procedura di rilascio e per i quali ci sono tutte le risorse necessarie
  - Calcolare per ciascun ordine in O la data di previsto rilascio sottraendo alla data di consegna richiesta il LT di tutti i centri dove dovrà passare l'ordine
  - Disporre O in ordine crescente di previsto rilascio e posizionarsi sul primo ordine
    - Calcolare il carico corrente dei centri di lavoro del sistema
    - Calcolare il carico indotto ai centri dal rilascio dell'ordine
    - Se per ciascun centro si è sotto al LL, rilasciare l'ordine
  - Iterare fino alla fine