

Produzione di Processo e per Parti

Questa dispensa vale sia per il modulo M1 di introduzione, che per il modulo M3 di dimensionamento dei sistemi produttivi

1) Produzioni per processo

1.1 Introduzione

Nel Capitolo 1 abbiamo introdotto una classificazione dei sistemi produttivi secondo la logica a 3 assi (asse tecnologico, asse del mercato e asse gestionale). In particolare all'interno dell'asse tecnologico, che fa riferimento alle caratteristiche intrinseche del prodotto, abbiamo individuato produzioni per parti e produzioni per processo. In questo capitolo cercheremo di dettagliare meglio tali tipologie di produzione, andando ad analizzare quali sono le caratteristiche peculiari per ciascun tipo. Prima di tutto riprendiamo quanto già detto nel Capitolo 1; talvolta gli elementi che costituiscono il bene finale non sono facilmente identificabili: tali elementi hanno cambiato le proprie caratteristiche chimico-fisiche durante la lavorazione e il prodotto finale non è più scomponibile riottenendo i vari elementi iniziali. Questa è la caratteristica fondamentale delle produzioni per processo (acciaio, carta, cemento ne sono esempi) che tratteremo nel seguente paragrafo. A queste si oppongono invece le produzioni per parti in cui nel prodotto finito, ottenuto attraverso un processo di fabbricazione e di montaggio, si distinguono ancora gli elementi iniziali. Nella sezione 2 e 3 andremo a descrivere in dettaglio quest'ultima tipologia produttiva.

1.2 Caratteristiche della produzione per processo

Come detto sopra, la produzione per processo crea delle variazioni nelle caratteristiche chimiche e/o fisiche dei componenti iniziali tali da non renderli più distinguibili all'interno del prodotto finale. Di solito, tale tipo di produzione è anche caratterizzato da un ciclo tecnologico ben definito e vincolato, che spesso riproduce le condizioni opportune per realizzare una serie di trasformazioni chimico-fisiche (industria siderurgica). Si parla perciò di produzioni a *ciclo tecnologico obbligato*. In genere in questi casi l'impianto si presenta come un'unica grande macchina in cui si svolgono tutte le lavorazioni tipiche del processo.

Un concetto interessante riguarda il grado di complicità che è basso per prodotti semplici e cresce con la complessità del prodotto. In tale contesto, il livello di complicità minimo è quello delle produzioni per processo, mentre aumenta verso le produzioni per parti. Tale livello di complicità è però riferito al prodotto e non al processo. Anzi, molto spesso, con l'aumentare del livello di complicità del prodotto, diminuisce il livello di complicità del processo; si passa cioè da problemi strettamente tecnologici a problemi impiantistici e gestionali.

Inoltre, un altro aspetto interessante, riguarda il legame tra il modo di realizzare il prodotto e il modo di realizzare il volume produttivo. In questo caso, produzioni per processo si adattano bene per la produzione continua, caratterizzata da altissimi volumi e da altissima standardizzazione, mentre chiaramente non si adattano a produzioni unitarie.

1.3 Tipologie di flusso

All'interno della produzione per processo, in generale è possibile distinguere due tipologie di flusso:

- *Flusso continuo*: caratterizzato dall'evolversi delle fasi tecnologiche senza soluzione di continuità. Tali processi sono caratterizzati dall'assenza dei magazzini interoperazionali (buffer) e ciò va a ridurre le dimensioni dell'impianto e i costi (assenza di scorte di semilavorati tra le varie operazioni). Inoltre, a causa dell'alto grado di automazione possibile, si assiste ad una riduzione di manodopera e a qualità più omogenee fra prodotti.

- *Flusso discontinuo*: tra le varie fasi tecnologiche, il semilavorato è soggetto a pause. Al contrario di prima, in questi processi sono presenti i buffer che permettono di disaccoppiare due attività successive. Grazie a ciò, le produzioni a flusso discontinuo si configurano come meno sensibili ai disturbi rispetto a quelle a flusso continuo e più flessibili, caratteristica molto importante perché permette di adattare la produzione alle richieste del mercato.

In Figura 1 sono rappresentati gli impianti a flusso continuo e discontinuo dedicati alla produzione di Nylon 6-6.

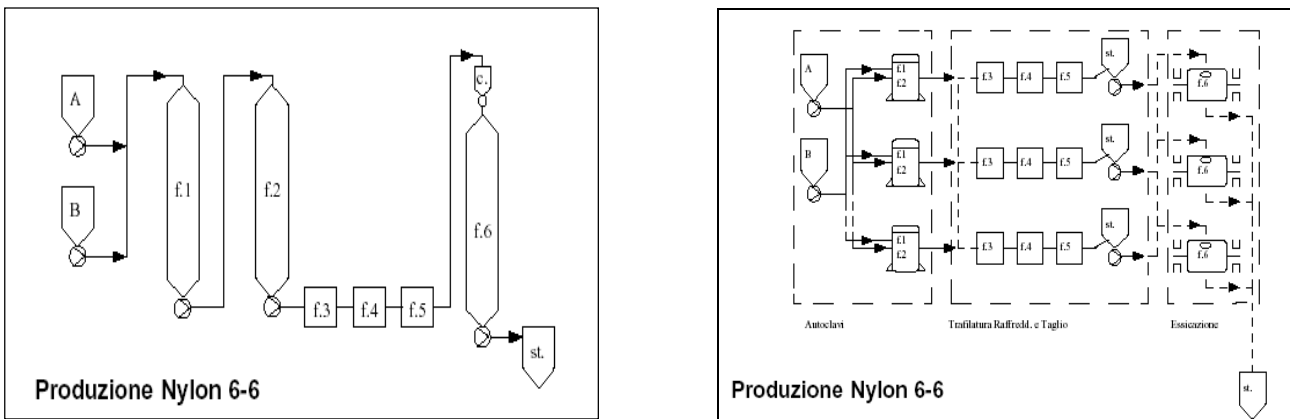


Figura 1: Impianto a flusso continuo per la produzione del Nylon 6-6 (a sinistra) e impianto a flusso discontinuo (a destra).

1.4 Dimensionamento degli impianti di processo

Il dimensionamento degli impianti di processo viene utilizzata per diversi obiettivi a seconda del tipo di impianto:

- Nel caso di un impianto a flusso continuo (monoprodotto) l'obiettivo è quello di determinare la capacità produttiva della singola stazione operativa.
- Nel caso di un impianto a flusso discontinuo (pluriprodotto), il dimensionamento serve a determinare il numero di macchine necessario per soddisfare la domanda.

1.4.1 Impianti a flusso continuo (monoprodotto).

In questo impianto, per determinare la capacità produttiva della singola stazione operativa, utilizzo la formula:

$$q = \frac{P}{C_s \cdot H_d}$$

dove abbiamo indicato:

q = capacità produttiva della singola stazione operativa [ton/h]

P = volume annuo di produzione [ton/anno]

C_s = coefficiente di scarto che tiene conto sia della fase di avviamento sia del normale funzionamento a regime dell'impianto.

H_d = ore disponibili dell'impianto.

Le ore disponibili dell'impianto non coincidono con le ore di apertura dell'impianto stesso. Bisogna infatti considerare, attraverso dei coefficienti, dei tempi in cui l'impianto è aperto ma non è produttivo.. Tali tempi, nel caso di flusso continuo sono:

- Tempi per manutenzione, presenti in ogni impianto indipendentemente dal tipo di manutenzione scelta. Tali tempi vengono considerati utilizzando il coefficiente C_m (compreso tra 0 e 1).
- Tempi dovuti a perdite per imprevisti del personale (coefficiente C_{ip} compreso tra 0 e 1).

Ponendo H_a le ore annue contrattuali, la determinazione delle ore disponibili H_d avviene secondo la seguente formula:

$$H_d = H_a \cdot C_m \cdot C_{ip}$$

In questa tipologia di impianto, non si devono considerare perdite temporali dovute a inefficienze degli operatori poiché questi non partecipano attivamente alle lavorazioni ma hanno soprattutto una funzione di supporto

1.4.2 Impianti a flusso discontinuo (pluriprodotto)

Come detto precedentemente, scopo del dimensionamento in questo caso è determinare il numero di macchine necessarie per soddisfare la produzione richiesta. Dobbiamo ancora determinare il calcolo delle ore disponibili annue ed il fabbisogno annuo di ore per la fase tecnologica i -esima. Il rapporto tra i due valori mi darà il numero di macchine necessarie.

➤ Calcolo fabbisogno ore annue per la fase tecnologica i -esima

Indicando con H_{fi} il fabbisogno di ore annue per la fase tecnologica i -esima, per la sua determinazione utilizziamo la seguente formula.

$$H_{fi} = \sum_{j=1}^m \left[\frac{P_j}{C_{Sij} \cdot q_{ij}} + TPM_{ij} \cdot NC_j \right]$$

dove abbiamo posto:

j = indice del prodotto

m = numero totale dei prodotti considerati

P_j = volume totale annuo richiesto del prodotto [ton/anno]

C_{Sij} = coefficiente di scarto per la macchina i durante la lavorazione del prodotto j

TPM_{ij} = tempo di set-up: tempo di preparazione macchina i per la produzione del prodotto j [h]

NC_j = numero di lotti del prodotto j mandati in produzione in un anno (campagne annue).

➤ Calcolo delle ore disponibili

Similmente a quanto fatto nella produzione a flusso continuo, calcoliamo le ore disponibili. Oltre a considerare un coefficiente manutenzione ed un coefficiente imprevisti del personale, nel caso di flusso discontinuo consideriamo anche un coefficiente di saturazione del personale (C_u) che tiene conto del rendimento degli operatori, ed un coefficiente (C_p) che considera l'organizzazione generale del lavoro (tempi morti per cambio produzione, efficace programmazione della sequenza dei lavori,...).

$$H_d = H_a \cdot C_m \cdot C_u \cdot C_{ip} \cdot C_p$$

➤ Determinazione del numero delle macchine necessarie

Determinati i fabbisogni di ore annue e le ore disponibili, il numero di macchine necessario per ogni reparto è:

$$Z_i = \frac{H_{fi}}{H_d}$$

in generale tale valore difficilmente sarà un intero. In generale, per assicurare la produzione di tutti i prodotti, si approssima all'intero successivo. Tuttavia l'approssimazione adottata dipende anche dal costo della macchina e dai coefficienti utilizzati nel calcolo delle ore.

1.5 Conclusioni

In generale, la produzione di processo viene utilizzata per quei prodotti che hanno un volume di domanda tale da giustificare un impianto dedicato, altamente efficiente poiché facilmente

automatizzabile ma anche altamente rigido (non flessibile) e scarsamente elastico. L'alto volume in gioco permette, malgrado gli impianti siano di elevate dimensioni, di avere un basso costo del capitale per unità prodotta. Inoltre, visto l'alto grado di automazione, tali impianti presentano anche il vantaggio di contenere i costi di manodopera bilanciando quindi gli alti costi di progettazione (macchinari dedicati) e presentando forti rischi di obsolescenza. Inoltre, se da una parte risultano semplici dal punto di vista logistico, dall'altra presentano controlli di processo sofisticati. Infine, a causa della scarsa flessibilità, non è possibile adeguare la produzione a quella del mercato: non è dunque possibile una conduzione "market driver". In Tabella 1 sono riassunti i principali vantaggi e svantaggi della produzione per processo.

Pregi della produzione per processo	Difetti della produzione per processo
Consentono e giustificano l'uso di impianti dedicati, in cui di solito l'efficienza è alta	Sono molto rigidi dal punto di vista delle caratteristiche del prodotto finale
Sono facilmente automatizzabili	Richiedono alti costi di progettazione
Comportano bassi costi di manodopera	Richiedono macchinari dedicati e/o speciali.
Presentano un valore del costo di capitale per unità prodotta più favorevole al crescere della dimensione dell'impianto	Presentano forti rischi di obsolescenza del processo
Sono abbastanza semplici dal punto di vista logistico	Presentano una forte elasticità
	Richiedono controlli di processo sofisticati a causa della interdipendenza tra le varie stazioni del processo
	Non permettono una agevole conduzione "market driver".

Tabella 1: pregi e difetti della produzione per processo

2) Produzione per parti: sistemi di Fabbricazione

2.1 Introduzione

Sempre all'interno dell'asse tecnologico, oltre alla modalità di produzione per processo, l'altra modalità di produzione è quella per parti, caratterizzata dalla prima fase di fabbricazione e dalla seconda fase di montaggio. Ci concentreremo ora sulla fase di fabbricazione, analizzando le diverse tipologie impiantistiche utilizzate nelle diverse realtà aziendali lasciando alla prossima sezione l'analisi delle caratteristiche di montaggio. In Figura 3 sono riassunte le principali modalità di fabbricazione. Nel seguito del capitolo ne affronteremo tre: job shop, celle di fabbricazione e linea transfer.

2.2 Sistemi di fabbricazione

Come si vede dalla Figura 3, sono possibili diverse tipologie di sistemi di fabbricazione che si differenziano per:

- *Volumi unitari di produzione*
- *Valore unitario dei pezzi*
- *Ampiezza mix di produzione*

2.2.1 Fabbricazione per reparti: Job Shop

Tale tipologia di sistema produttivo è utilizzata quando si ha a che fare con una produzione per parti di tipo intermittente (o a lotti) in piccoli volumi ed alta varietà. A differenza della produzione per processo, stavolta ogni prodotto ha un proprio ciclo tecnologico ma sono spesso presenti cicli alternativi: ciò rende i flussi dei prodotti estremamente intrecciati. Per produrre una buona varietà di

mix sono necessarie una varietà di macchine non specializzate, che sono impegnate per tempi diversi in relazione alla specifica operazione da seguire. Tra una lavorazione e la successiva è spesso necessario un tempo di set-up. In tale contesto risulta molto complessa la programmazione della produzione il cui obiettivo è quello di trovare la configurazione delle lavorazioni che permetta, tenendo conto dei vincoli delle macchine, di massimizzare la saturazione delle macchine e di minimizzare la presenza di WIP.

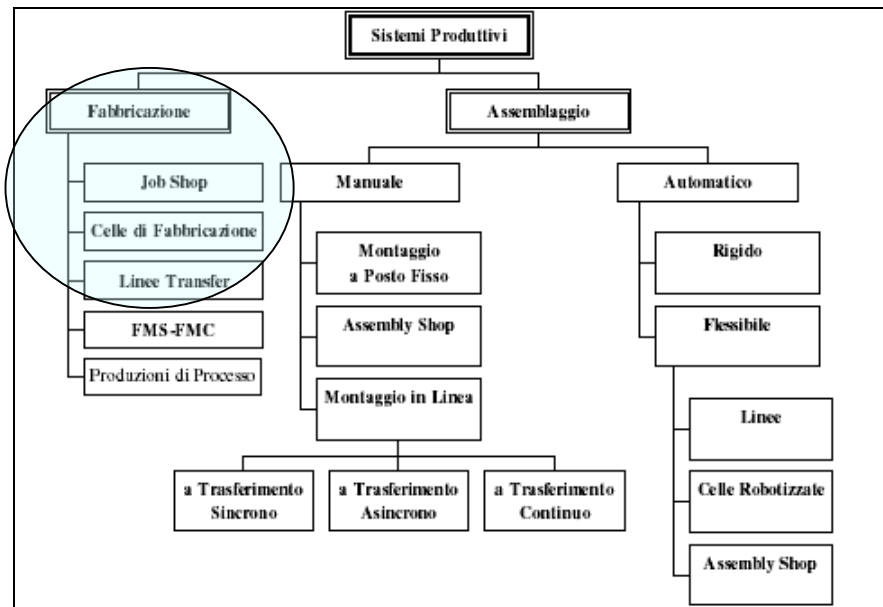


Figura 2: schema riassuntivo delle tipologie dei sistemi di fabbricazione e di montaggio.

Le macchine vengono disposte per processo; in diverse zone aziendali vengono disposte macchine con tecnologia simile che svolgono la stessa funzione tecnologica (disposizione per reparti). Tale disposizione facilita una specializzazione dei reparti e ciò favorisce una flessibilità al mix di prodotto (capacità di cambiare la tipologia di prodotto con tempi brevi in un reparto). La manodopera in questo ambiente è dunque specializzata e, di conseguenza, si presentano elevati costi per la stessa. Se da una parte abbiamo elevati costi di manodopera, dall'altra abbiamo un basso investimento iniziale con scarsi rischi di obsolescenza.

Viste le precedenti condizioni operative, risulta che i tempi di attesa tra due lavorazioni successive sono molto elevati e con una forte variabilità; ciò comporta un elevato valore del capitale investito nei prodotti di lavorazione (il costo del minuto lavorato risulta aggravato dal valore del tempo improduttivo).

Tale tipologia di fabbricazione si adatta alle produzioni su commessa, in cui non si conoscono a priori i tipi e le quantità precise del prodotto da fabbricare, ma tali parametri sono noti solo all'atto dell'acquisizione della commessa.

Pregi del sistema Job-Shop	Difetti della produzione per processo
Alta flessibilità	Alti Lead Time e WIP
Elevata elasticità	Elevata varianza dei tempi di attraversamento
Investimento ridotto	Scarsa prevedibilità dei tempi di consegna
Scarso rischio di obsolescenza	Bassa saturazione media delle macchine
Scarso impatto dei guasti sulle prestazioni del sistema	Alti costi di manodopera
Rapido avvio di nuove produzioni	Qualità non omogenea
Trasferimento competenze all'interno della medesima tecnologia	Elevata ricorrenza di colli di bottiglia e, contemporaneamente, di reparti o di centri di lavoro insaturi

	Difficoltà di programmazione della produzione
	Difficile reperibilità manodopera specializzata

Tabella 2: pregi e difetti di un sistema job-shop

In definitiva lo schema di produzione a job-shop risulta adatto per produzioni ad elevato mix, ma basso volume, ed offre una elevata flessibilità (capacità della stazione di cambiare il tipo di prodotto in tempi brevi e a costi bassi), pagando però una bassa produttività e costi unitari di produzione piuttosto alti. In Tabella 2 sono riassunti i principali vantaggi e svantaggi di un sistema job-shop.

2.2.2 Dimensionamento di un sistema job-shop.

Per il dimensionamento di un job-shop è necessario basarsi su un mix produttivo annuo di riferimento: nel caso di produzione su commesse si fa riferimento al budget annuo di commesse, nel caso invece di una commessa singola si stima un mix campione significativo della produzione annua prevista. Un altro dato di partenza fondamentale è la definizione dei diversi cicli tecnologici almeno in prima approssimazione. Il dimensionamento di un sistema job-shop può essere affrontato seguendo una serie di fasi:

➤ Individuazione del mix produttivo di riferimento

Come detto sopra, si devono identificare le tipologia di componenti da produrre, la domanda annua e il calcolo del lotto di produzione

➤ Sviluppo cicli di lavorazione

Si deve definire il ciclo di lavorazione valutando eventualmente la presenza di cicli alternativi.

➤ Identificazione delle macchine necessarie

Data la domanda annua e i cicli produttivi si determinano le macchine necessarie per soddisfare questi due vincoli.

➤ Calcolo dei tempi di lavorazione di un singolo pezzo sulla singola macchina

Tale tempo sarà dato dalla somma delle operazioni che vengono fatte sulla singola macchina

➤ Calcolo del fabbisogno di ore produttive annue HN_i per ogni tipo di macchina i .

$$HN_i = \sum_{j=1}^N \left[\frac{T_{ij} \cdot Q_j}{CS_{ij}} + \frac{TPM_{ij}}{60} \cdot NL_{ij} \right] \cdot \frac{1}{Cm_i} \cdot \frac{1}{Cu_i}$$

dove abbiamo definito:

j = indice del tipo di pezzo

N = numero delle tipologie di pezzi diversi

T_{ij} = tempo di lavorazione del pezzo j sulla macchina i [secondi/pezzo]

Q_j = quantità annua da produrre del tipo pezzo j [pezzi/anno]

CS_{ij} = coefficiente di scarto del pezzo j sulla macchina i

TPM_{ij} = tempo di set-up della macchina i per produrre il pezzo j .

NL_{ij} = numero lotti anno prodotti del pezzo j sulla macchina i

Cm_i = Coefficiente di manutenzione (disponibilità della macchina i)

Cu_i = Coefficiente uomo (misura l'efficienza di conduzione della macchina i da parte dell'uomo)

➤ Calcolo ore annue HD_i disponibili per ogni tipo di macchina i

$$HD_i(t) = Ha_i(t) \cdot Cp \cdot Cip$$

dove abbiamo definito:

Ha_i = ore lavorate annuo (dipendente dal numero di turni al giorno e dalle ore di apertura impianto al netto delle pause).

Cp = coefficiente di programmazione [0[Cp [1].

Cip = coefficiente di imprevisti personale (scioperi).

- Calcolo numero macchine $NM_i(t)$

$$NM_i(t) = \frac{HN_i}{HD_i(t)}$$

Analogamente a quanto detto per la produzione a processo, tale valore non sarà un intero ma dovrà essere approssimato all'intero superiore o inferiore. La scelta dipende dal costo della macchina, dal tasso di saturazione della stessa, dalla possibilità di ricorrere in outsourcing e da eventuali cicli alternativi.

2.2.3 Produzione per celle

Tale soluzione prevede la disposizione delle macchine in modo intermedio fra quanto previsto dalla fabbricazione in linea e per i reparti. Per cella si intende un gruppo di macchine non tecnologicamente omogenee, ma capaci di lavorare completamente gruppo di pezzi (famiglie) simili sia dal punto di vista morfologico, sia dal punto di vista tecnologico. In questo modo si evitano i cicli alternativi tra le varie celle e si linearizzano i flussi. La *Group Technology* permette di definire tali famiglie omogenee di prodotti. Le caratteristiche della cella in termini di flessibilità, elasticità, presenza di WIP e lead time sono intermedie tra quelle di un job-shop e quelle di una fabbricazione in linea. Analogamente a prima, la Tabella 3 riassume i principali pregi e difetti di tale soluzione. La progettazione di un sistema produttivo organizzato per celle prevede la definizione delle famiglie di pezzi da produrre. Fatto ciò, si esegue la procedura utilizzata per un job shop:

- Determinazione mix di progetto
- Calcolo dei fabbisogni orari per risorsa tecnologica
- Calcolo di numero di macchine per ciascun tipo.

La produzione per famiglie nasce dalla constatazione che se i pezzi da lavorare sono simili sia morfologicamente che tecnologicamente, avranno cicli di lavorazione simili e potranno essere lavorati sulle stesse macchine. La Group Technology è una tecnica che consente, a fronte di costi relativamente bassi, una razionalizzazione dei flussi produttivi. Infatti se si possono utilizzare attrezzature simili, si riducono i tempi di set-up, e se le macchine vengono disposte vicine a formare una cella, si riducono anche i tempi di movimentazione dei pezzi tra le varie macchine.

Il problema fondamentale è dunque quello del riconoscimento e della formazione delle diverse famiglie di prodotti. A tale proposito, si possono distinguere fondamentalmente tre approcci differenti:

- *Classificazione a vista*: le caratteristiche morfologiche e tecnologiche dei pezzi viene effettuata in modo intuitivo, attribuendo dunque intuitivamente i pezzi alle diverse famiglie. Tale metodo è semplice ed economico ma, d'altro canto, è soggettivo, poco ripetibile ed applicabile solo se il numero dei pezzi è limitato. Peraltro con tale metodo potrebbero venire trascurati particolari che invece risultano importanti.
- *Production Flow Analysis (PFA)*: le famiglie sono formate in base alla similitudine dei cicli di lavorazione. Si parte da una tabella che riporta sulle righe le macchine richieste e sulle colonne i pezzi da lavorare. Permutando righe e colonne è possibile raggruppare famiglie di prodotti realizzati su macchine simili.
- *Classificazione con codice*: i pezzi vengono codificati mediante l'uso di un opportuno sistema di codifica morfotecnologica e la somiglianza dei pezzi viene riconosciuta attraverso la somiglianza del codice che li contraddistingue. È un metodo ripetibile, indipendente dalla persona e dal numero di pezzi, e implementabile su un calcolatore. Malgrado sia, naturalmente, più costoso dei metodi visti in presenza, si configura come il metodo migliore a patto di disporre di un buon codice.

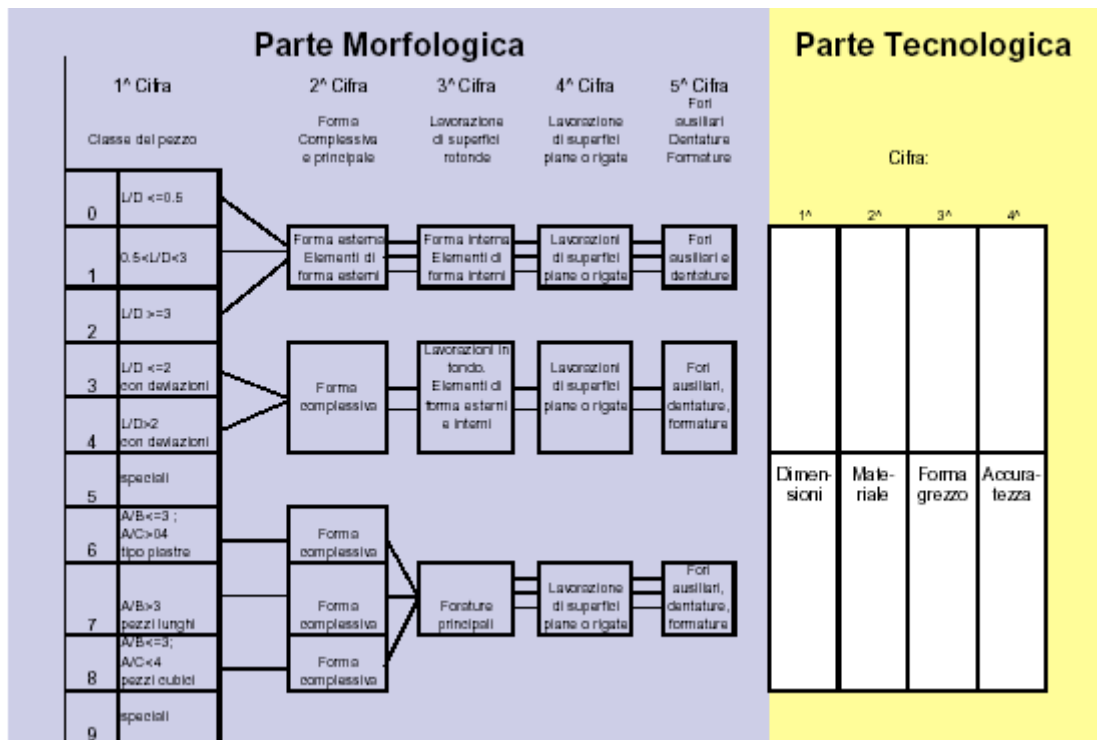


Figura 3: Tavola iniziale del sistema di classificazione OPITZ.

Pregi del sistema a celle	Difetti del sistema a celle
Semplificazione dei flussi di materiali	Difficoltà bilanciamento carichi fra celle
Maggiore semplicità gestionale	Maggiore rigidità a variazioni di mix, volume e a introduzione di nuovi prodotti
Riduzione dei tempi di set-up	Impiego talvolta di un numero di macchine superiori rispetto all'organizzazione per reparti
Riduzione dimensioni lotti	Presenza di operazioni fuori cella difficili da gestire
Riduzione tempi di attraversamento	Maggiore esposizione ai guasti
Riduzione WIP	Problemi di consistenza con sistemi non organizzati in celle
Riduzione occupazione spazio	
Riduzione variabilità tempi di consegna	
Allargamento delle mansioni	
Arricchimento delle mansioni	
Identificazione responsabilità di prodotto e di processo	
Maggiore livello di conformità qualitativa del prodotto	

Tabella 3: pregi e difetti della soluzione per celle.

2.2.3.1. Il codice Opitz

Tale codice (Figura 3), studiato per il settore delle lavorazioni meccaniche per asportazione di truciolo ma applicabile anche in altri campi, è una buona base per capire l'utilizzo di un codice sebbene sia ormai stato sostituito da codici più moderni e complessi. Esso non è un codice proprietario e prende in considerazione sia aspetti di design (morfologia) che di produzione (tecnologici). Esso si compone di due parti fondamentali: la prima di 5 cifre che descrive la parte

morfologica del prodotto (forma principale e complessiva del pezzo, lavorazione di superfici tonde e piane, lavorazioni speciali), la seconda di 4 cifre ne descrive la parte tecnologica (dimensione, materiale, provenienza del grezzo, tolleranze). Le ultime tipologie di questo codice prevedono l'aggiunta di una terza parte composta da 4 campi alfanumerici.

2.2.4 Fabbricazione per linee.

Nel layout per linee, le risorse vengono disposte sequenzialmente e sono destinate alla produzione di un unico prodotto o, al massimo, di una gamma di prodotti molto limitata e poco diversificata. La linea risulta dunque fortemente specializzata: la materia prima entra in un lato della linea e subisce di seguito tutte le lavorazioni con bassi tempi di trasporto tra una stazione e la successiva. Non esistono cicli alternativi e la produzione risulta scandito da un ritmo (tempo di ciclo). Tale configurazione è l'opposto rispetto a quanto riscontrato nel job-shop: assenza di set-up e dei WIP (almeno teoricamente), elevata rigidità e forte problemi di obsolescenza delle macchine. Questo layout risulta adatto per tutte quelle aziende manifatturiere con produzione di massa (automobili, elettrodomestici, rubinetteria,...). Con tale layout è possibile conseguire un costo di produzione più basso, a patto di avere una richiesta del prodotto elevata e stabile. Un fattore molto importante è avere la linea bilanciata per non avere scompensi tra le varie stazioni e conseguire elevati tassi di saturazione (circa 80%). Spesso si ricorre alla standardizzazione, cioè alla ripetizione di nei prodotti di alcuni moduli in modo da aumentare ulteriormente i volumi produttivi.

Oltre alla linea possiamo anche avere una configurazione a transfer rotante che hanno un funzionamento analogo alle linee ma in cui le stazioni sono poste intorno ad una tavola circolare che ruota di un angolo fissato ogni fase di lavoro (Figura 4). La Tabella 4 riassume le principali caratteristiche, in termini di pregi e difetti, della fabbricazione per linee.

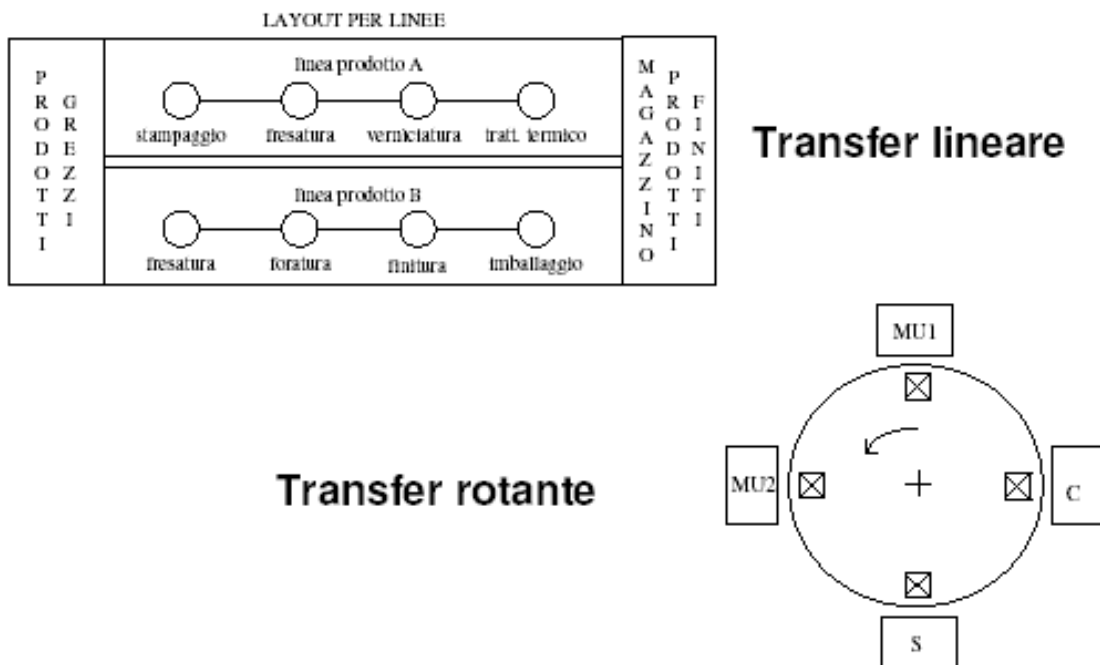


Figura 4: Layou per linee

Pregi del layout per linee	Difetti del layout per linee
Facilità gestionale	Notevole rigidità
Ridotto fabbisogno di manodopera non specializzata.	Investimento elevato
Limitata superficie per unità di prodotto	Esigenza di un corretto bilanciamento
Elevata uniformità delle caratteristiche qualitative dei prodotti	Rischio di rapida obsolescenza
Elevata saturazione delle macchine	Elevata vulnerabilità ai guasti
Ridotto WIP	Elevato tempo di avvio di nuove produzioni
Ridotti tempi di attraversamento	
Ridotta variabilità dei tempi di attraversamento	

Tabella 4: pregi e difetti della produzione per linee

2.2.5 Conclusioni

Riprendendo quanto già detto inizialmente, la scelta di un sistema di produzione dipende dal mix produttivo, dai volumi produttivi e dal valore unitario dei prodotti (che è fortemente legato al mix produttivo). In particolare, la produzione su job-shop, valutata l'elevata flessibilità, si configura come un sistema di produzione adatto alla produzione di una varietà di mix con bassi volumi. All'opposto, la produzione per linee risulta adatta nel caso in cui il mix di prodotto sia basso (gamma di prodotti omogenei) ma le quantità in gioco siano rilevanti. La soluzione a celle è una soluzione intermedia che permette una maggiore flessibilità della linea e volumi maggiori di un job-shop.

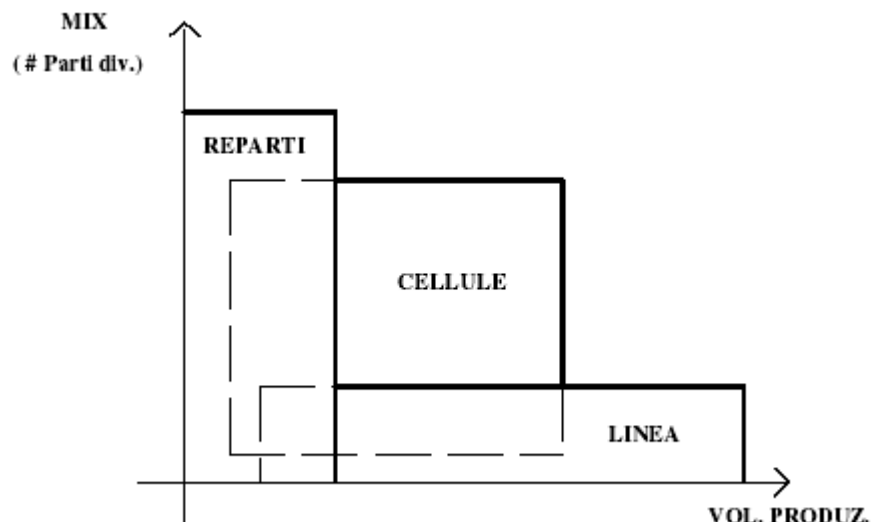


Figura 5: Campi tipici di impiego.

3) Produzione per Parti: sistemi di assemblaggio

Con il termine montaggio si intende la serie di operazioni di composizione di parti mediante inserzione, giustapposizione e unione che permettono l'ottenimento di prodotti d'assieme. In questa sezione presenteremo due tipologie di sistemi di assemblaggio: a posto fisso in cui l'assieme rimane fisso in una stazione operativa e in linea in cui l'assieme di montaggio si muove attraverso più stazioni messe in serie e cresce passando da una stazione alla successiva. Nel contesto del montaggio in linea, si può ulteriormente distinguere tra trasferimento non vincolato e vincolato sulla base della modalità di trasferimento dell'assieme in montaggio.

3.1 Ciclo di Montaggio

Il ciclo di montaggio può essere descritto mediante un grafo che identifica le precedenze tra le operazioni. Ogni operazione è caratterizzata da un tempo medio (M_k) e da una deviazione standard (S_k) nel caso di operazione manuale. In genere si assume che la funzione di distribuzione del tempo dell'operazione sia di tipo gaussiano (normale), ovvero i tempi siano casualmente distribuiti attorno al loro valor medio. Il calcolo dei tempi di montaggio manuale (M_k e S_k) può essere fatto con due metodi differenti:

- a. **Work sampling:** metodo sperimentale che consiste nel ricavare i tempi medi cronometrando più volte l'operatore nell'esecuzione delle attività di montaggio. È un metodo molto preciso che richiede però l'esistenza della stazione di lavoro con le attrezzature necessarie per eseguire il montaggio di cui devono essere rilevati i tempi.
- b. **Tempi standard:** tale metodo a sua volta si presenta con due alternative differenti:
 - a. **MTM (Motion Time Measurement):** in funzione del tipo di movimento (ampiezza, peso del componente da muovere), esistono tabelle che riportano il tempo medio di esecuzione dello stesso e la sua deviazione standard. È quindi sufficiente scomporre le operazioni di montaggio nei movimenti elementari che le costituiscono. A questo punto il tempo medio di ogni operazione e la sua deviazione standard saranno date dalle seguenti espressioni:

$$M_k = \sum_{i \in k} m_i \qquad S_k = \sqrt{\sum_{i \in k} s_i^2}$$

dove si è indicato con i il singolo movimento elementare in cui scomporre l'operazione k .

- b. **Tempi standard:** tale metodo è simile al precedente soltanto che stavolta si utilizzano i dati di operazioni semi-elementari di cui si conoscono già i tempi di esecuzione. Tali tempi, infatti, sono stati precedentemente rilevati sperimentalmente e registrati nell'archivio dei tempi standard aziendali. Componendo i tempi standard come tempi di operazioni semi-elementari si ottengono i tempi medi delle operazioni di montaggio desiderate.

3.2 Tipologie di sistemi di assemblaggio

3.2.1 Montaggio a posto fisso

Questo è il caso in cui le parti vengono convogliate verso l'assieme in fase di assemblaggio il quale resta fisso in una stazione operativa mentre si compiono tutte le operazioni di montaggio. È l'analogo dei sistemi job-shop nel caso di fabbricazione. È adatto per volumi di produzione bassi, ha un investimento ridotto ma elevati costi di manodopera ed è molto flessibile al prodotto (il tempo di avvio di nuove produzione è molto limitato). Questa soluzione si presta bene a due tipici casi; il primo è quello di macchine di peso e volumi rilevanti, che richiedono il montaggio di molti componenti difficili da movimentare (macchine utensili), il secondo è quello di oggetti relativamente semplici, formati da pochi componenti richiesti in volumi medi (ad esempio semplici giocattoli).

Infine tale soluzione si presta bene per la realizzazione di isole di montaggio: per l'assemblaggio di prodotti complessi e di grandi dimensioni si delega a un gruppo di persone la responsabilità del montaggio dell'intero oggetto, con la possibilità anche di effettuare forme di job rotation all'interno del gruppo.

In Tabella 5 sono riassunte le principali caratteristiche di un sistema di montaggio a posto fisso. La progettazione di tale soluzione richiede l'effettuazione di due attività:

➤ Determinazione del numero di stazioni di montaggio

Lo scopo è quello di ricavare il numero di posti N necessari a soddisfare una domanda annua di n prodotti diversi. L'ipotesi da cui si parte è la conoscenza del ciclo di montaggio di ogni prodotto e del tempo totale di montaggio (T_{tm_i}). Si procede ora al calcolo delle ore necessarie a soddisfare i volumi di prodotto e al calcolo delle ore disponibili al netto delle varie perdite e considerando la saturazione del personale. Ponendo H_m le ore necessarie e le H_d le ore disponibili ottengo:

$$H_m = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Ttm_i \cdot V_i}{C_s} \right)$$

$$H_d = H_a \cdot C_u \cdot C_{ip} \cdot C_{su}$$

dove abbiamo chiamato:

H_m = ore di montaggio annue totali

Ttm_i = tempo totale di montaggio del prodotto i

V_i = volume annuo richiesto del prodotto i

H_d = ore annue disponibili

H_a = ore annue contrattuali

C_u = coefficiente di saturazione dell'operatore (considera varie componenti, spesso soggette a contrattazione aziendale).

C_{ip} = coefficiente imprevisti personale (malattia, scioperi,...).

C_s = coefficiente di scarto (presenza di prodotti difettosi da scartare).

C_{su} = coefficiente di set-up (dovuto alla presenza di tempi per cambio prodotto).

A questo punto è facile determinare il numero N di stazioni di montaggio necessarie:

$$N = \frac{H_m}{H_d}$$

➤ *Progettazione ergonomia del posto di lavoro*

La progettazione ergonomia del posto di lavoro serve a determinare la corretta disposizione del tavolo di lavoro, degli attrezzi, dei contenitori della componentistica e di tutto ciò che è necessario all'operatore per svolgere le proprie attività di montaggio. È una fase molto importante all'interno della progettazione del posto fisso per ridurre la fatica dell'operatore, evitare posture e movimenti inadeguati, evitare che l'ambiente di lavoro sia dannoso per la salute, ottenere una buona qualità del lavoro effettuato.

Pregi del montaggio a posto fisso	Difetti del montaggio a posto fisso
Lavoro vario (l'operatore di fatto compie l'intero ciclo di montaggio).	Flusso delle parti intrecciate
Rapido avvio di nuove produzioni	Elevato WIP
Investimento ridotto	Notevole occupazione di spazio
	Difficile addestramento della manodopera (un operatore deve essere in grado di eseguire tutte le lavorazioni di assemblaggio)
	Elevati costi di manodopera

Tabella 5: pregi e difetti del montaggio a posto fisso.

3.2.2 Montaggio in linea

L'idea di base è che un prodotto viene progressivamente assemblato durante l'attraversamento delle varie stazioni; la movimentazione degli assiemi in corso di montaggio avviene a opera di un convogliatore; le stazioni sono rigidamente collegate fra loro e, quindi, l'ordine con cui vengono attraversate si mantiene costante nel tempo. Il processo di assemblaggio viene scomposto in una serie di operazioni elementari che devono poi essere assegnate alle diverse stazioni. A ciascuna stazione viene poi assegnato un operatore che esegue in modo ripetitivo le operazioni attribuitegli. Il montaggio in linea è tipicamente adottato in tutti i casi in cui i volumi produttivi siano elevati. Definiamo ora i parametri fondamentali per tale modalità di assemblaggio:

➤ T_s = tempo di stazione: tempo disponibile per ogni stazione operativa.

➤ T_c = tempo di ciclo: tempo intercorrente tra l'uscita di un assieme e il successivo dalla linea.

- T_{mi} = tempo di montaggio attribuito alla stazioni i-esima (sommatoria dei tempi medi M_k delle operazioni assegnate alla stazione i-esima).
- T_{tm} = tempo totale di montaggio (contenuto di lavoro dell'assieme).
- $s_i = \frac{T_{m_i}}{T_s}$: saturazione dell'operatore della stazione i-esima.

Le linee di montaggio possono essere classificate in tre categorie, a seconda della modalità di funzionamento del sistema di movimentazione:

Linea a trasferimento sincrono (o a trasferimento vincolato intermittente)

In questo tipo di linee, le stazioni non sono separate da buffer interoperazionali e il sistema di movimentazione è di solito un convogliatore al quale sono fissate le basi sulle quali assemblare i diversi componenti. Arrivato ad una stazione, il convogliatore si ferma per un tempo pari al tempo di ciclo permettendo all'operatore di svolgere tutte le sue attività.

Un problema di questo tipo di linea è la possibilità di mancato completamento delle operazioni assegnate ad una stazione; tale problema deriva dalla variabilità dei tempi delle operazioni, per cui l'operatore, anche se il tempo medio complessivo delle operazioni di sua competenza è minore del tempo di ciclo, può occasionalmente non riuscire a terminare le operazioni a lui assegnate. Per limitare tale fenomeno è possibile ricorrere a due alternative:

- dilatare il tempo di ciclo (diminuire la saturazione dell'operatore) comportando però una diminuzione della capacità produttiva delle linee
- a parità di tempo di ciclo aumentare il numero di stazioni necessarie comportando un aumento dei costi di installazione della linea.

In questo tipo di linea il tempo di ciclo è dato dalla somma tra il tempo di stazione e il tempo di trasferimento.

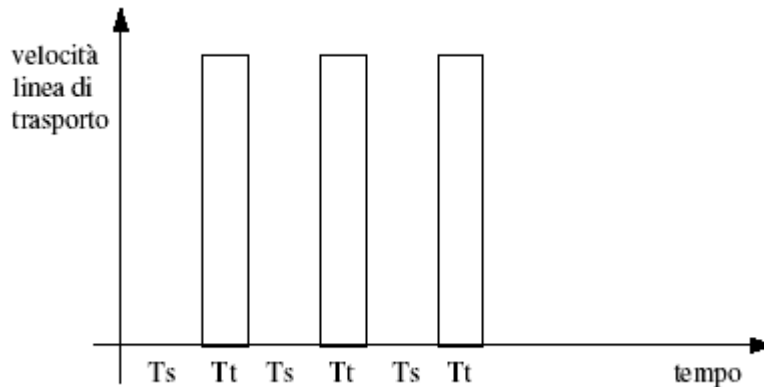


Figura 6: funzionamento di una linea a trasferimento vincolato a intermittenza.

Linee a trasferimento vincolato continuo

In questo caso, il trasportatore si muove con velocità costante e molto bassa. Quando un pezzo entra in una stazione, l'operatore sale sulla piattaforma di trasporto ed esegue in movimento le operazioni di assemblaggio; al termine scende e torna indietro a piedi. Fissata la velocità del convogliatore v_c , la distanza L tra due sottoassiemi consecutivi in corso di assemblaggio definisce il valore del tempo di ciclo. Ovvero:

$$T_c = \frac{L}{v_c}$$

La determinazione della velocità del convogliatore è molto importante poiché, a parità di tempo di ciclo, una velocità troppo alta determina una lunghezza della linea eccessiva, dall'altra una velocità bassa costringe operatori differenti a lavorare a distanza ridotte l'uno dall'altro.

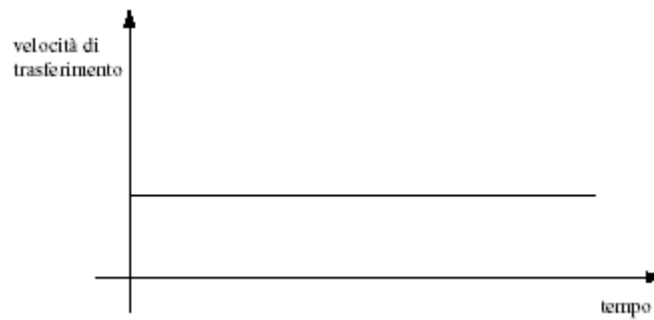


Figura 7: funzionamento di una linea a trasferimento vincolato continuo.

Linee a trasferimento asincrono (o a trasferimento non vincolato)

In questo caso le stazioni sono separate da buffer interoperazionali in grado di accogliere un certo numero di pezzi. In questo caso per gli operatori non esiste più il vincolo di terminare le operazioni di propria competenza rigorosamente entro il tempo di ciclo, che può quindi essere oltrepassato, sia pure occasionalmente: infatti, se in una stazione viene occasionalmente superato il tempo di ciclo, il suo buffer a monte accoglie i pezzi della stazione precedente, senza causare arresti della linea. Il generico assieme di montaggio attende un tempo T_a (tempo di attesa) prima di entrare in una stazione operativa; quando entra vi resta per il tempo di stazione T_s . Infine vi è il tempo di trasferimento T_t . I tempi T_a e T_t in questa tipologia di linea sono mascherati dalla presenza dei polmoni.

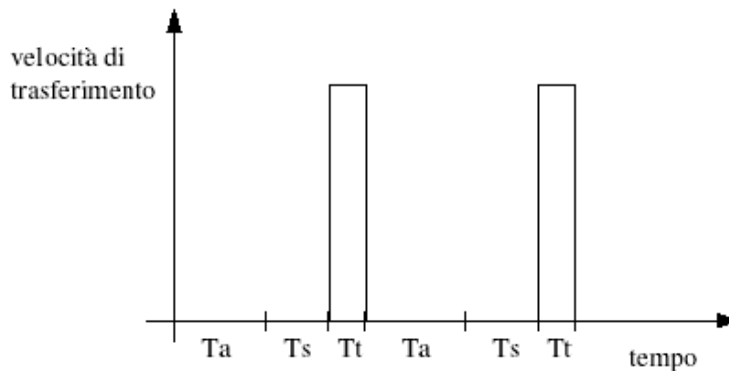


Figura 8: Funzionamento di una linea a trasferimento non vincolato.

Pregi del montaggio in linea	Difetti del montaggio in linea
Flusso dei materiali razionale	Lavoro ripetitivo
WIP ridotto	Elevato tempo di avvio di nuove produzioni
Ridotta occupazione di spazio	Difficile bilanciamento
Facile addestramento della manodopera	Minore flessibilità rispetto alle altre soluzioni
Ridotto costo della manodopera	

Figura 9: punti di forza e di debolezza del montaggio manuale in linea.

3.2.3 Dimensionamento di linee a montaggio manuale

Il dimensionamento di una linea di montaggio manuale è un processo che passa attraverso i seguenti punti:

- *Definizione del grafo di montaggio:* tale grafo esprime in modo facile le relazione di precedenza tra le varie operazioni.
- *Predeterminazione dei tempi di esecuzione delle singole operazioni:* esistono differenti modalità per determinare i tempi delle operazioni; in particolare le più diffuse sono metodi MTM che

impiegano opportune tabelle e metodi che si basano sul cronometraggio dell'operazione per un numero di volte statisticamente significativo

- *Definizione del tempo di ciclo*: nota la potenzialità produttiva opportunamente maggiorata per considerare gli scarti, il tempo di ciclo non è altro che il suo inverso
- *Bilanciamento della linea*: allocare le operazioni da eseguire alle diverse stazioni, nel rispetto di determinati vincoli e sulla base di obiettivi specifici. Di tale argomento tratteremo con maggior dettaglio nel prossimo paragrafo.
- *Dimensionamento della manodopera*: è possibile anche avere più di un operatore all'interno della stessa stazione (oggetti di grosse dimensioni che permettono l'intervento di più operatori senza intralciarsi). È importante anche il dimensionamento di operatori jolly che intervengono nel caso che altri operatori si allontanino dalla linea.

3.2.4 Bilanciamento della linea

Il termine bilanciamento deriva dal fatto che, in generale, nell'effettuare la ripartizione delle operazioni tra le stazioni è sempre conveniente fare in modo che il tempo complessivo delle operazioni allocate a ogni stazione sia il più possibile uniforme. Il bilanciamento di una linea può essere effettuato con riferimento a diversi obiettivi che possono essere classificati in due categorie:

- *Obiettivi tecnici*:
 - Dato il tempo di ciclo, si minimizza il numero di stazioni necessario per soddisfare una data potenzialità
 - Nel caso di linee a trasferimento sincrono o a trasferimento continuo in cui è problematico il mancato completamento, un obiettivo può essere la minimizzazione della probabilità che in una o più stazioni venga superato il tempo di ciclo. Il rischio in questo contesto è quello di generare un numero di stazioni troppo elevato.
- *Obiettivi economici*: si hanno le seguenti ipotesi di partenza
 - Il sottoassieme incompleto continua a viaggiare lungo la linea e su di esso verranno effettuate solamente le operazioni che non richiedono la precedenza di quella non completata
 - Vi è solo un operatore per ogni stazione

A partire dalle precedenti ipotesi l'obiettivo è quello di minimizzare il costo totale atteso dato dalla somma del costo di linea e del costo di mancato completamento (Figura 10).

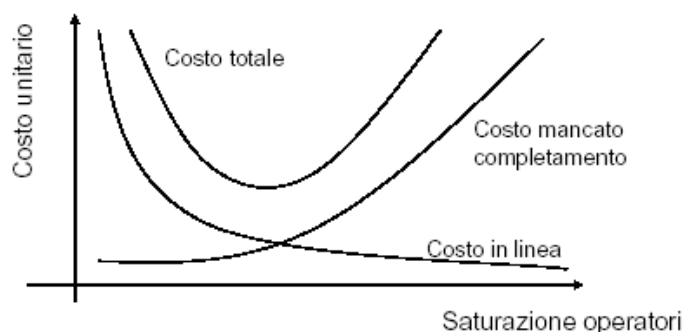


Figura 10: Minimizzazione del costo totale.

Nella realtà, il perfetto bilanciamento non esiste per la presenza di vincoli tecnici e per il fatto che ciascuna delle operazioni elementari con cui divido un'attività di montaggio ha un tempo diverso dalle altre operazioni elementari. I vincoli che ostacolano la ricerca di una soluzione del bilanciamento sono i seguenti:

- *Rispetto del tempo di ciclo*: il carico di lavoro di ogni stazione non deve superare il tempo di ciclo per non generare incompleti
- *Rispetto delle relazioni di precedenza*: ci sono vincoli di natura tecnologica che impongono di eseguire alcune operazioni prima di altre (grafo di montaggio).

- *Incompatibilità fra operazioni che non possono essere assegnate alla stessa stazione:* ad esempio per problemi di sicurezza o di ingombro.
- *Opportunità o necessità di allocazione di alcune operazioni presso la stessa stazione:* ci sono operazioni che richiedono la stessa attrezzatura o lo stesso posizionamento per cui risulta conveniente allocarle sulla stessa stazione
- *Vincoli derivanti dalla gestione dei flussi dei materiali:* ad esempio raggruppare il materiale in un numero ridotto di stazioni per esigenze di movimentazione.
- *Vincoli di spazio*
- *Necessità od opportunità di utilizzare più operatori per stazione:*
- *Diversa qualifica degli operatori:* non tutti gli operatori sono in grado di svolgere le medesime mansioni; ad esempio gli operatori jolly dovranno essere in grado di svolgere più mansioni per sopperire alle mancanze di diverse stazioni.

Un metodo utilizzato per il bilanciamento di una linea è il *massimo grado di saturazione degli operatori imposto*. Definiti:

t_i = tempo d'esecuzione dell'operazione i -esima

S = insieme delle operazioni assegnate all'operatore

TC = tempo di ciclo

Definiamo il massimo grado di saturazione dell'operatore come:

$$GS = \frac{\sum_{i \in S} t_i}{TC}$$

A questo punto, fissando un valore limite α del grado di

saturazione, per ogni stazione deve risultare che: $0 \leq GS \leq \alpha$. Alla

base di tale metodo c'è il fatto di considerare i tempi di esecuzione delle operazioni deterministici.

Naturalmente questa è un'ipotesi che nel reale non si realizza. Tuttavia questo metodo è utilizzato in quanto è molto semplice e non richiede di essere implementato su un calcolatore.

3.2.5 Conclusioni

Similmente a quanto fatto nei sistemi di fabbricazione, anche qui la scelta di un sistema di produzione dipende dal mix produttivo, dai volumi produttivi e dal valore unitario dei prodotti. In riferimento alla Figura 11, per bassi volumi di produzione ma elevato mix il montaggio a posto fisso è il più adatto poiché flessibile e rapido al cambio produzione. All'aumentare dei volumi di produzione, è invece preferibile adottare una soluzione a linee che permette un costo unitario minore e giustifica l'elevato investimento per una linea (eventualmente dedicata). In una situazione intermedia, come per le celle nei sistemi di fabbricazione, anche le celle di montaggio permettono una maggiore flessibilità della linea e sono adatte a volumi maggiori rispetto ad un montaggio a posto fisso.

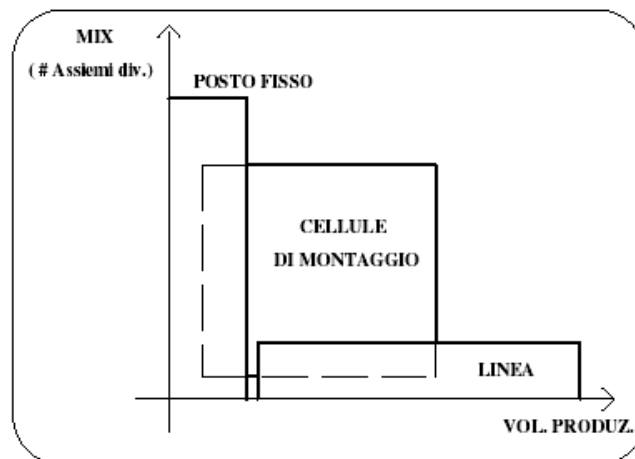


Figura 11: Campi tipici di impiego