

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali  
Corso di laurea triennale in Ingegneria Gestionale

Tesi di laurea

## Analisi del layout a postazione fissa

Relatore

Prof. Ilenia Zennaro

Laureanda

Angelica Zorzi

Anno accademico 2021/2022



## INDICE

Sommario.....	5
Introduzione.....	7
Specifiche dell'analisi di layout.....	17
Aziende su commessa.....	26
Analisi di layout a postazione fissa.....	41
Conclusione.....	48
Bibliografia e sitografia.....	49

## INDICE DELLE IMMAGINI E TABELLE

### Capitolo 1

Fig. 1.1 Classificazione dei sistemi produttivi.....	7
Fig. 1.2 Classificazione di Wortmann.....	8
Fig. 1.3 Matrice di classificazione delle modalità di produzione.....	9
Fig. 1.4 Diagramma P-Q.....	11
Fig. 1.5 Esempio di layout per prodotto.....	12
Fig. 1.6 Esempio di layout per processo.....	14
Fig. 1.7 Esempio di layout per processo.....	15
Fig. 1.8 Esempio di layout a postazione fissa.....	16

### Capitolo 2

Fig. 2.1 Chiave P, Q, C, S, T per la risoluzione dello progetto di Layout.....	19
Fig. 2.2 Differenti curve P – Q.....	20
Fig. 2.3 Fogli operativi (a) Foglio operativo monoprodotto, (b) Foglio multiprodotto (c) From-to chart.....	21
Fig. 2.4 Coefficienti di incidenza mag.....	22
Fig. 2.5 Simbologia ASME per la costruzione del diagramma di flusso tra le attività.....	23

### Capitolo 3

Fig. 3.1 Classificazione Wortmann.....	26
Fig. 3.2 Matrice prodotto-processo, Hayes e Wheelwright.....	27
Fig. 3.3 Vincoli di progetto.....	28
Fig. 3.4 Flowchart per la definizione dei costi di commessa.....	31
Fig. 3.5 Scomposizione 3D della struttura di produzione del prodotto...	36
Fig. 3.6 Interfaccia PPS di aggiornamento dei centri di lavoro in officina.....	36
Tab. 3.1 Differenza tra serie e commessa.....	29

### Capitolo 4

Fig. 4.1 Esempio di Product breakdown structure di 1° livello.....	42
Fig. 4.2 Esempio di From-to chart nell'officina navale.....	43
Fig. 4.3 Diagramma di flusso processo produttivo della nave.....	45
Fig. 4.4 Sintesi del layout.....	46

# SOMMARIO

Un sistema produttivo è definito come l'insieme di macchinari, attrezzature, uomini e organizzazione che partecipano attivamente alla trasformazione di materie prime in prodotti finiti con l'obiettivo di generare un utile.

Come verrà esposto ne primo capitolo, un'azienda e di conseguenza il suo sistema operativo può essere descritto con l'utilizzo di classificazioni che si basano su tre parametri principali: la risposta al mercato, la realizzazione dei volumi di produzione, la realizzazione del prodotto stesso.

Il risultato che ne consegue è la determinazione di due principali gruppi di aziende: la prima è rappresentata da aziende che applicano una logica di mercato di tipo push, realizzando beni ad elevati volumi e bassa varietà, che verranno stoccati con l'obiettivo di accorciare i tempi di consegna all'ordine del cliente; il tipo di layout applicato in queste aziende è quello del sistema produttivo in linea, che rispecchia completamente il ciclo tecnologico del prodotto; la seconda è rappresentata da aziende che applicano una logica pull, realizzando prodotti a volumi intermedi-bassi e varietà bassa, che verranno realizzati principalmente su richiesta del cliente; il tipo di layout utilizzato in queste aziende è quello dei sistemi produttivi per reparti o a postazione fissa, che permettono di avere una grande flessibilità nel continuo cambiamento dei prodotti richiesti.

Nel secondo capitolo verrà affrontato il tema del progetto di layout, definito come l'organizzazione ordinata di tutte le risorse affinché la produzione si svolga in maniera efficiente e minimizzandone i costi.

Verrà inoltre descritta la procedura generale per la stesura del layout di un impianto, iniziando dall'analisi del diagramma prodotto-quantità, fino alla determinazione delle attività lavorative e dei flussi che le collegano, calcolandone lo spazio necessario e l'allocazione migliore.

L'obiettivo finale di questa tesi è quello di descrivere e analizzare il sistema operativo e produttivo delle aziende che operano su commessa; per questo motivo il terzo capitolo pone il focus sul processo di realizzazione della commessa, analizzando le diverse fasi di vendita, progettazione, realizzazione e consegna della commessa.

Sono state evidenziate anche le difficoltà che aziende engineer to order affrontano costantemente a causa dell'elevata flessibilità richiesta dalla mutevolezza del prodotto e dei processi tipica dei progetti one of a kind. Queste difficoltà, come viene successivamente esposto, hanno trovato soluzione nell'applicazione della metodologia lean all'interno del sistema operativo-produttivo.

Il quarto capitolo si pone l'obiettivo di fornire un'analisi del progetto di layout a postazione fissa, tipico delle aziende ETO, tramite l'esempio di applicazione ad un cantiere navale.

Dalla letteratura dei due capitolo si è potuto comprendere come per la realizzazione di questa tipologia di layout e prodotti sia di fondamentale importanza l'esperienza che gli operatori acquisiscono commessa dopo commessa. Il layout a postazione fissa rappresenta infatti un sistema complesso, realizzati dall'unione di impianti più piccoli che convergono assieme nella fase di montaggio del prodotto finale.

Questa tipologia di produzione predilige l'investimento in manodopera qualificata piuttosto che in macchinari specializzati e dalle dimensioni ingombranti, in quanto è il prodotto a rimanere fisso mentre le risorse si muovono attorno ad esso.

Il cantiere navale è l'esempio perfetto di come questo tipo di layout consideri lo spazio la risorsa più importante per facilitare le movimentazioni di materiali che spesso risultano essere di grandi dimensioni e cercare di ridurre al minimo i costi.

# CAPITOLO 1

## Introduzione

In questo capitolo viene introdotto il concetto di sistema produttivo e ci si propone di definire i parametri e le relative classificazioni che permettono di comprenderne il funzionamento e la realizzazione tramite la creazione del layout più adeguato.

### 1.1 DEFINIZIONE DI IMPIANTO INDUSTRIALE

Un impianto industriale, o sistema di produzione, si definisce come un insieme di macchine, attrezzature e servizi atte alla trasformazione di materie prime e semilavorati in prodotti finiti.

Esso rientra nel complesso di beni organizzati, detto azienda, che ha lo scopo di generare utile producendo prodotti finiti con valore maggiore rispetto agli input.

Due tipologie di impianto formano il sistema di produzione:

- impianto tecnologico: macchinari e attrezzature specifiche a diretto contatto con le materie prime che partecipano attivamente alla produzione dei prodotti finiti;
- impianto di servizio: garantisce il funzionamento dell'impianto tecnologico a cui è legato.

### 1.2 CLASSIFICAZIONE DEGLI IMPIANT INDUSTRIALI

Ogni sistema produttivo ha caratteristiche specifiche e differenti da quelle di altri impianti; essi però possono essere classificati secondo tre principali parametri di analisi (fig. 1.1):

- secondo le modalità di risposta al mercato;
- secondo le modalità di realizzazione dei volumi di produzione;
- secondo le modalità di realizzazione del prodotto;

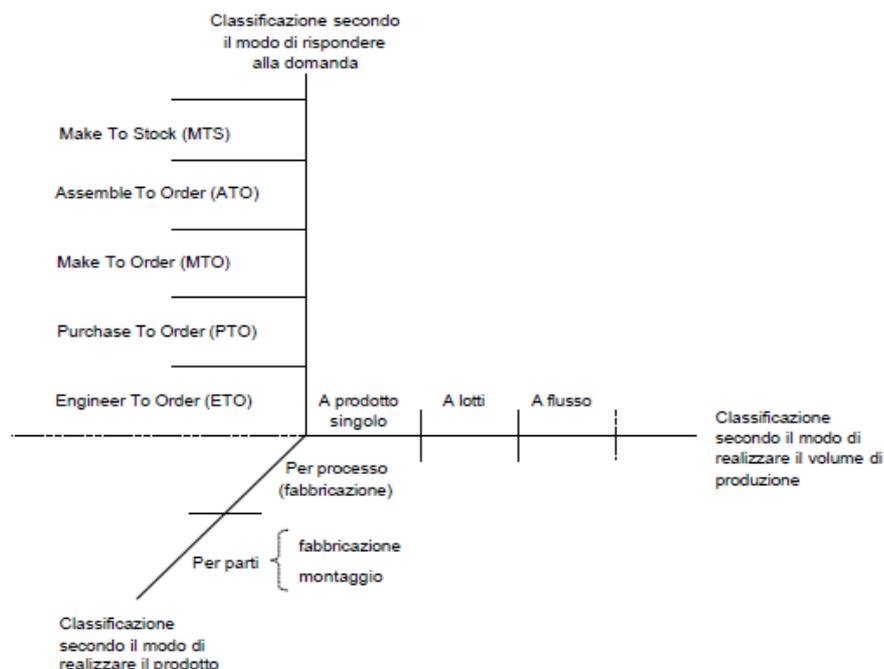


Fig. 1.1 Classificazione dei sistemi produttivi

### 1.2.1 Classificazione secondo la risposta al mercato

Le modalità con cui un'azienda può rispondere al mercato sono varie e dipendono dai tempi delle attività di sviluppo, produzione e consegna del prodotto. Ci si basa sulla logica push e pull in cui viene definito il decoupling point: punto che divide le attività che l'azienda svolge su previsione (logica push) e le attività realizzate dopo il ricevimento dell'ordine del cliente (logica pull).

Basandosi su questa logica si ottiene la classificazione di Wortmann (fig. 1.2):

- aziende make to stock (MTS), in cui i prodotti finiti fabbricati su previsione vengono versati a magazzino e spediti su ordine del cliente;
- aziende assemble to order (ATO), in cui i semilavorati fabbricati su previsione vengono assemblati a prodotto finito su ordine del cliente;
- aziende make to order (MTO), in cui i prodotti finiti vengono prodotti e spediti su ordine del cliente;
- aziende purchase to order (PTO), in l'acquisto delle materie prime, la produzione e la spedizione dei prodotti finite sono svolte su ordine del cliente;
- aziende engineer to order (ETO), in cui l'intero flusso logistico (progettazione inclusa) è svolto su ordine del cliente.

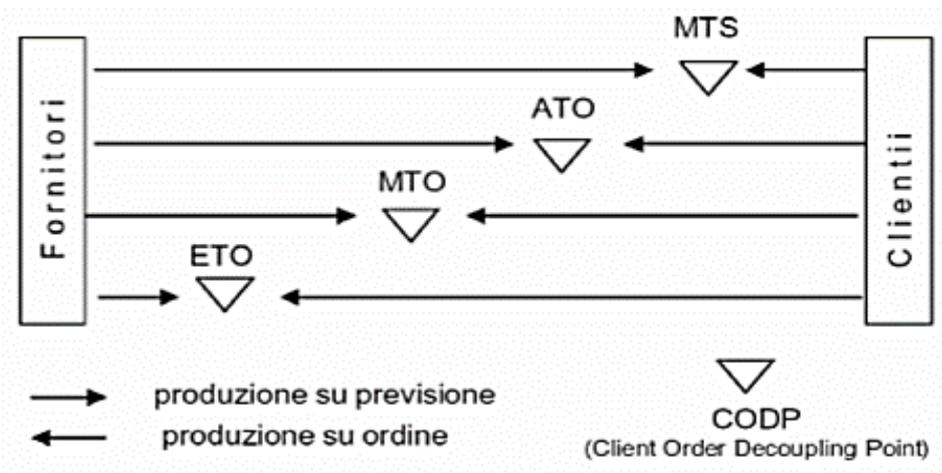


Fig. 1.2 Classificazione di Wortmann

### 1.2.2 Classificazione secondo la realizzazione dei volumi di produzione

I parametri che permettono di definire differenti volumi produttivi sono la ripetitività delle operazioni e la continuità del flusso di input e output nei reparti.

Vengono classificati

- sistemi a flusso, caratterizzati da massima ripetitività e da un flusso input/output continuo con tempo di attraversamento basso; in questi sistemi i macchinari sono specifici e funzionano a regime costante;
- sistemi a lotti, caratterizzati dalla lavorazione e dalla movimentazione di quantità predefinite di materiali, con ripetitività e flusso medi; in questi sistemi i macchinari sono generici e vengono raggruppati in reparti per funzionalità;

- sistemi a prodotto singolo, la cui ripetitività delle operazioni è pressoché nulla ed il flusso input/output è discontinuo; in questi sistemi ogni prodotto finito è diverso dagli altri ed è generalmente prodotto su commessa del cliente.

### 1.2.3 Classificazione secondo la realizzazione del prodotto

Questa classificazione deriva dalla natura delle materie utilizzate per la fabbricazione dei prodotti finiti.

Vi sono casi in cui le materie prime utilizzate non sono più individuabili nel bene finale, detto prodotto dimensionale, perché hanno mutato forma o non sono distinguibili tra loro; ciò avviene nei sistemi produttivi “per processo”, detti processi obbligati, in quanto le operazioni del ciclo tecnologico sono determinate e vincolanti.

Vi sono altri casi in cui è possibile distinguere un numero finito di materie prime e semilavorati nel prodotto finale, detto prodotto integrale; i sistemi produttivi di questo tipo sono detti “per parti” ed i cicli tecnologici variano a seconda di ogni componente che viene fabbricato.

Come mostrato in fig. 1.3, incrociando le caratteristiche di ogni classe è possibile individuare diversi sistemi produttivi, influenzati, come riportato in precedenza, dal rapporto azienda-cliente, dal tipo e dalla quantità di prodotto. La produzione singola per parti è tipica delle grandi costruzioni, come l’industria navale o la costruzione di infrastrutture (quadrante 1), mentre la produzione singola per processo interessa sistemi produttivi “una tantum” (quadrante 4); nella produzione a lotti si distingue quella intermittente (quadrante 2), tipica del settore meccanico, dove i vari componenti vengono fabbricati e montati a lotti, e quella discontinua (quadrante 5), tipica della produzione alimentare in cui i prodotti vengono realizzati a “infornate”; la produzione ripetitiva si riscontra nel settore automobilistico con la realizzazione della linea di montaggio (quadrante 3), mentre la produzione continua prevede la realizzazione di linee processo ed è diffusa nell’industria chimica (quadrante 6).

Classificazione secondo il modo di realizzare il volume di produzione	PRODUZIONE SINGOLA	PRODUZIONE A LOTTI	PRODUZIONE A FLUSSO
Classificazione secondo il modo di realizzare il prodotto	1 PRODUZIONE UNITARIA PER PARTI	2 PRODUZIONE INTERMITTENTE	3 PRODUZIONE RIPETITIVA
PRODUZIONE PER PARTI (prodotti integrali)			
PRODUZIONE PER PROCESSO (prodotti dimensionali)	4 PRODUZIONE UNITARIA PER PROCESSO	5 PRODUZIONE DISCONTINUA	6 PRODUZIONE CONTINUA

Fig. 1.3 Matrice di classificazione delle modalità di produzione

## 1.3 IL LAYOUT

Nella determinazione di un sistema produttivo, il passo successivo è la costruzione del layout di processo.

Il layout consiste nella disposizione delle attrezzature industriali, inclusi i macchinari, i servizi accessori e la manodopera, inseriti nella struttura più adatta al tipo di sistema produttivo.

### 1.3.1 Lo studio di layout

La progettazione viene svolta con lo scopo di semplificare e rendere efficiente il processo produttivo, minimizzando le scorte ed il costo di trasporto dei materiali all'interno dell'impianto, massimizzando il grado di utilizzo dei macchinari e della manodopera e occupando lo spazio efficacemente.

Lo studio di layout si articola in cinque livelli: globale, supra, macro, micro e submicro; la progettazione inizia con la scelta dell'ubicazione, basandosi su diversi criteri che verranno esposti nei capitoli successivi, per poi proseguire con l'analisi delle principali aree produttive e il loro posizionamento nella planimetria della struttura scelta per la costruzione dell'impianto. Una volta definita la stesura generale, viene analizzata nel dettaglio ogni area lavorativa, definendo il numero di macchine e operatori necessari per il raggiungimento della corretta potenzialità produttiva ed i flussi dei materiali tra i diversi macchinari.

I cinque livelli di studio vengono sviluppati in otto fasi operative che analizzano gli aspetti fondamentali per la progettazione dell'impianto:

1. disposizione delle macchine: dal diagramma P-Q si sceglie il tipo di produzione e la conseguente disposizione dei macchinari;
2. analisi del flusso dei materiali: a seconda del ciclo produttivo scelto si crea il foglio di processo operativo, ossia una rappresentazione tabellare o grafica del flusso dei materiali nei vari step di lavorazione;
3. studio delle attività di servizio: è necessario per l'integrazione dei servizi ausiliari con il flusso dei materiali;
4. diagramma di flusso e rapporto tra le attività: dal foglio di processo operativo e dall'analisi dei servizi necessari si ricava il diagramma del rapporto tra le attività, che rappresenta graficamente tutte le attività nel layout e il flusso tra di esse;
5. determinazione dello spazio richiesto;
6. diagramma del rapporto tra gli spazi: si aggiungono al diagramma del punto 4 le misure di ogni postazione prevista;
7. stesura del primo layout;
8. eventuale riordinamento del diagramma di rapporto tra gli spazi.

### 1.3.2 Tipologie di layout

Per descrivere i vari layout di un impianto produttivo è possibile utilizzare il diagramma P-Q, costruito considerando l'intera gamma di prodotti presenti in azienda ed i corrispettivi volumi.

Come mostrato in figura 4, in ascissa è riportata la varietà dei prodotti e in ordinata la quantità riguardante la gamma.

Un importante parametro per misurare l'efficienza dei layout che conseguono da questa classificazione è il coefficiente di utilizzo dei macchinari, calcolato come nella seguente formula:

$$U = \frac{\text{tempo di effettivo utilizzo}}{\text{tempo disponibile}}$$

A seconda del tipo di layout applicato è previsto un minimo valore accettabile sotto il quale il sistema produttivo scelto non risulta essere conveniente per la realizzazione della potenzialità produttiva scelta e per la riduzione dei costi ad essa correlati.

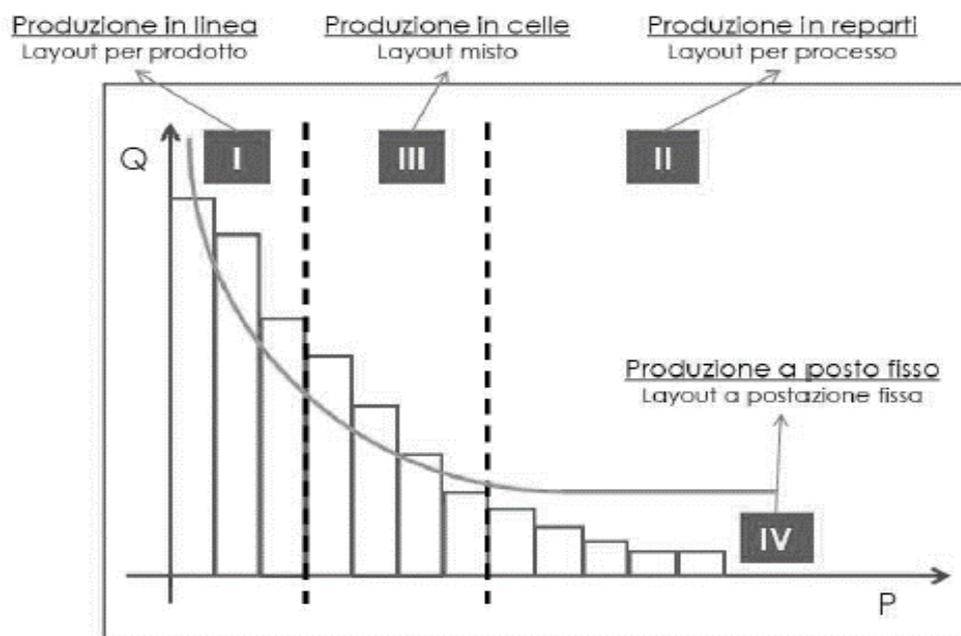


Fig. 1.4 Diagramma P-Q

Come mostrato in fig. 1.4, nel diagramma P-Q si distinguono quattro zone in cui sono individuati quattro tipologie differenti di layout.

### 1.3.2.1 La produzione in linea

La produzione in linea prevede la realizzazione di elevati volumi di prodotti con varietà bassa, se non nulla; questa scelta è dovuta principalmente alla necessità di abbattere i costi di macchinari e impianti dedicati alla produzione specifica di un determinato prodotto, come si può riscontrare nell'industria automobilistica o elettronica.

Il ciclo produttivo risulta essere unidirezionale, ripetitivo e rigido: trattando un unico prodotto, omogeneo e costante, non sono necessari macchinari in cui è possibile eseguire il set-up.

Per questa tipologia produttiva la fase di progettazione dell'impianto è di fondamentale importanza, a causa dei consistenti investimenti nei macchinari e nelle attrezzature e a

causa dei volumi che l'impianto deve rilasciare come output nel rispetto delle tempistiche previste.

Il layout, definito "layout in linea" o "per prodotto" è idealizzato quindi come lo specchio della sequenza produttiva del prodotto e presenta dei vantaggi riguardo l'avanzamento dei semilavorati.

L'organizzazione delle stazioni operative deve essere bilanciata affinché i carichi di lavoro vengano equilibrati in tutte le stazioni della linea: il ritmo di produzione viene scandito dalla stazione di lavoro più lenta e l'obiettivo dell'impianto è quello massimizzare l'efficienza e ridurre i costi di produzione, prestando quindi attenzione a non sovraccaricare i colli di bottiglia, ossia le stazioni che si saturano per prime, e a non sotto saturare altre stazioni, principalmente quelle con gli ammortamenti maggiori.

Il risultato di questa progettazione è la riduzione al minimo del WIP, ossia l'inventario dei componenti o prodotti in fase di attesa di lavorazione.

La capacità produttiva è di facile calcolo, in quanto dipende unicamente dal ritmo di produzione e dallo stato di disponibilità dell'impianto, al netto dei tempi di manutenzione. La struttura di questi impianti prevede l'utilizzo di macchinari e attrezzatura altamente specializzati con sistemi di movimentazione automatici e scorrevoli, così da poter controllare il ritmo di avanzamento della produzione. La presenza di punti di stoccaggio è prevista principalmente in due fasi della produzione: all'inizio, come buffer delle materie prime per l'avviamento della prima stazione di lavoro, e al termine, come stoccaggio dei prodotti finiti in attesa di essere consegnati al cliente.

In un impianto per la produzione in linea, dove il massimo investimento è eseguito in macchinari e strumenti di movimentazione automatizzati, la manodopera risulta essere di supporto al funzionamento delle macchine, per questo motivo non è necessaria la presenza di operatori specializzati. A causa del poco coinvolgimento degli operatori nella produzione attiva del prodotto, si incorre nel rischio di avere un staff poco motivato e frustrato, perché privato di ogni stimolo e responsabilità. Per ovviare a questo problema, nelle aziende di produzione in linea si applica spesso la job rotation, ruotando gli operatori tra le varie mansioni, o la metodologia del job enrichment, arricchendo l'operatore di responsabilità e mansioni.

Il coefficiente di utilizzo di un layout per prodotto è elevato (80%-90%).



Fig. 1.5 Esempio di layout per prodotto

### 1.3.2.2 La produzione per reparti

La produzione per reparti consiste nella realizzazione di prodotti ad elevata varietà e volumi bassi. La gamma di prodotti di queste aziende è progettata anticipatamente all'ordine del cliente, ma la produzione, come già anticipato, può avvenire su ordine o su previsione; esempi di questo tipo di produzione sono l'industria calzaturiera.

La varietà dei prodotti si traduce in un'elevata varietà dei cicli produttivi, infatti nella produzione per reparti il layout non risulta essere trasparente come nella produzione in linea, in quanto la disposizione delle macchine e i flussi dei materiali non rappresentano le sequenze produttive dei prodotti.

Gli ordini sono solitamente realizzati a piccoli lotti e per rendere chiaro a tutti gli operatori la sequenza produttiva di ogni lotto, esso viene accompagnato sempre da un documento che precisa il ciclo produttivo di quel codice.

Spesso capita che i prodotti all'interno di un lotto risultino essere troppo numerosi per essere gestiti correttamente, così si applica il lot splitting: il lotto originale viene suddiviso in lotti di volume inferiore; questo permette di gestire più facilmente le lavorazioni e lo spostamento dei prodotti ma provoca una sovrapposizione dei lotti all'interno dell'impianto.

Il layout è costruito raggruppando i macchinari con le stesse funzionalità e tecnologie in un'unica unità, per questo motivo è definito "per processo"; esso risulta spesso ingombrante per facilitare la movimentazione dei lotti tra le varie unità.

L'investimento in questo tipo di produzione è in macchine di tipo universale, capaci di lavorare differenti codici di prodotto e adattabili a qualsiasi produzione; la manodopera invece è altamente preparata e specializzata, caratterizzata da un forte job enlargement, in quanto è richiesta che ogni operatore sia in grado di lavorare tutti i codici e sappia svolgere più attività.

L'obiettivo di questo tipo di produzione è quello di abbattere i costi e ridurre i tempi di set-up per la preparazione delle macchine alla produzione di prodotti continuamente differenti.

Nella produzione in reparti il lead time viene calcolato come somma di quattro componenti di tempo: il tempo in coda, il tempo di attrezzaggio macchina, il tempo di lavorazione e il tempo di movimentazione.

Un parametro importante per misurare l'efficienza della produzione in reparti è il rapporto Value Add Time e Total Time, ossia il rapporto tra il tempo medio di esecuzione effettiva delle operazioni e il tempo totale di attraversamento del lotto.

Il coefficiente di utilizzo dei macchinari è molto basso (40%) ma l'obiettivo di questo layout è principalmente l'abbattimento dei costi di set-up dei macchinari per essere adattati alla produzione di ogni codice di prodotto.

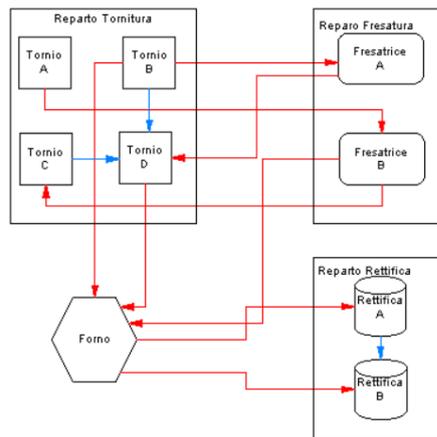


Fig. 1.6 Esempio di layout per processo

### 1.3.2.3 La produzione in celle

La produzione in celle rappresenta il punto di incontro tra l'elevata produttività della produzione in linea e l'elevata varietà della produzione per reparti.

La filosofia applicata in questa produzione è quella della Group Technology, che mira a standardizzare la varietà individuando famiglie di prodotti con parametri simili affinché possano essere raggruppati e prodotti all'interno della stessa cella.

La standardizzazione è ottenibile tramite tre steps:

1. Razionalizzazione del prodotto: vengono analizzate e individuate specifiche nei progetti comuni tra vari prodotti;
2. Razionalizzazione del ciclo tecnologico: vengono analizzate le fasi produttive delle varianti per individuare similarità;
3. Razionalizzazione del processo e layout: vengono controllati i macchinari e le attrezzature necessarie alla produzione, individuando i prodotti che prevedono l'utilizzo degli stessi.

La cella viene quindi considerata un'unità di lavoro ben definita e organizzata attorno ad un prodotto o alla più ampia famiglia di prodotti simili ad esso.

Per la sua progettazione è richiesta una profonda conoscenza dei parametri del processo, come il numero di macchina, i set up da apportare, i sistemi di movimentazione e il numero di operatori che lavoreranno nella cella.

Una volta a conoscenza del numero di macchine disponibili si valuta la loro disposizione all'interno della cella secondo il metodo di Hollier, in cui viene calcolato il rapporto tra i pezzi uscenti ed i pezzi entranti di ogni macchina (ricavati dalla From-to chart) e si posizionano le macchina per ordine decrescente di tale rapporto, o secondo il criterio di carico/scarico delle macchine, prediligendo le macchine a maggior capitale investito o favorendo il completamento più breve dell'intero processo.

Dopo aver determinato il posizionamento delle macchine, si calcola il numero di operatori necessari ed il loro collocamento, considerando sempre il limite massimo di saturazione dell'operatore.

Il layout della cella può essere disposto frontalmente, disponendo tutte le macchine in linea di fronte agli operatori; ad U, con gli operatori circondati dai macchinari; a disposizione rettilinea, con due file parallele di macchinari e gli operatori al centro.

La produzione in celle, specialmente se disposte a U, comporta a numerosi vantaggi tra i quali quello di avere linea continua di flusso produttivo, riducendo così il WIP; poter regolare più facilmente il takt time, riducendo così il tempo critico di realizzazione della linea; lo spazio occupato risulta inferiore che nella produzione per reparti in quanto i mezzi di spostamento dei materiali sono automatizzati ed integrati con le macchine di lavorazione; il controllo della produzione è maggiore.

Il coefficiente di utilizzo dei macchinari è nella media tra la zona I e II (60%-70%).

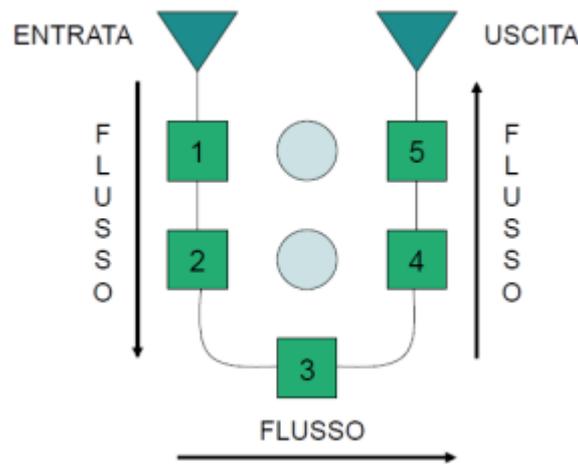


Fig. 1.7 Esempio del layout per celle

#### 1.3.2.4 La produzione One of a kind

La produzione One of a kind (OKP) prevede la realizzazione di prodotti su commessa, con varietà massima e volumi unitari o di modeste quantità. Questo tipo di produzione è tipico delle aziende che trattano prodotti speciali e di particolare progettazione; esse fanno parte del gruppo di aziende che operano secondo la filosofia Make to order/Engineer to order.

La necessità di realizzare un nuovo prodotto da zero spinge le aziende a rielaborare i progetti costantemente e l'elevata varietà delle caratteristiche del prodotto rende difficile la pianificazione della sequenza produttiva del prodotto, infatti a differenza della produzione in linea, l'OKP è sistema produttivo sintetico, che da varie ramificazione (attività produttive) converge nella fase finale di assemblaggio o fabbricazione del prodotto finale.

Come anticipato sopra, il layout generale è definito "a postazione fissa" ed è organizzato in tanti reparto allocati attorno alla zona di costruzione finale del prodotto, che è il fulcro di questo sistema produttivo; ciò avviene perché spesso le aziende che operano secondo questo sistema produttivo realizzano prodotti di grandi dimensioni e pesanti, con tecnologie e strutture particolari, spingendo i progettisti a valutare un impianto i cui sono le macchine, le attrezzature, i mezzi di movimentazione e gli operatori e muoversi e adattarsi al prodotto. L'investimento è quindi fatto in macchinari generici, di facile utilizzo e spostamento, idonei all'utilizzo di più lavorazioni, ma in operatori altamente specializzati e flessibili, in grado di intervenire in più casi, e nella loro formazione

professionale. Questa filosofia viene definita “job enlargement”, ossia allargamento del lavoro, riferendosi allo sviluppo trasversale delle abilità e competenze della manodopera. È prevista la presenza di diverse zone di stoccaggio, per ogni officina di produzione, possibilmente vicine alla zona di assemblaggio finale. Per questo motivo il WIP risulta essere sempre elevato.

Due risorse fondamentali per la produzione OKP sono lo spazio e la comunicazione: il primo è necessario affinché vi sia la possibilità di movimentare e stoccare i prodotti senza incorrere in ostacoli di vario genere; la seconda è determinante per il corretto avanzamento della produzione, in quanto spesso ci si ritrova ad operare in impianti di dimensioni notevoli con processi estremamente complicati ed interdipendenti tra loro. Questo comporta ad un a rigidità nel rispetto di tempi e dell'utilizzo dei sistemi informativi.

La produzione OKP è quindi il risultato di un layout estremamente flessibile ed elastico, in grado di adattarsi costantemente alla rinnovata pianificazione del prodotto.

Il coefficiente di utilizzo risulta difficile da calcolare, vista l'unicità e l'elevata mutevolezza della progettazione e del ciclo tecnologico della commessa richiesta.

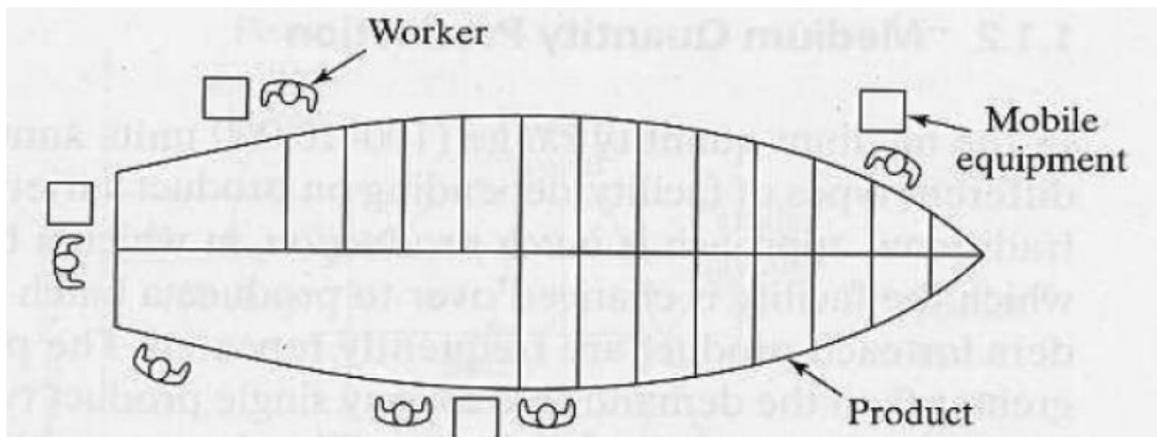


Fig. 1.8 Esempio di layout a postazione fissa

Nei prossimi capitoli si affronteranno nel dettaglio i sistemi produttivi che operano su commessa secondo le modalità eto e mto, studiandone il layout con i relativi problemi e punti di forza.

## CAPITOLO 2

### Specifiche dell'analisi di layout

“Il progetto di layout può considerarsi un prodotto: il progetto di un prodotto e l'armonizzarsi di un numero di componenti, parti ed ingredienti in una unità finale funzionale; è certo che questo prodotto per la sua forma, per le sue caratteristiche chimiche, per la felice integrazione delle sue parti componenti, ha valore in quanto può essere venduto e utilizzato dal cliente.

In modo analogo il layout è una combinazione di differenti reparti, aree, attività, che posti insieme funzionano efficientemente ed ha valore in quanto viene installato ad uso degli utenti che in questo caso sono il personale di produzione e i proprietari dell'impianto.” (Manuale del layout, R. Muther, Etas Kompass, 1967).

In questo capitolo verrà trattata la tematica del layout: verrà inizialmente descritto il progetto di layout per poi eseguire l'analisi del processo di creazione dello stesso.

#### 2.1 DEFINIZIONE DEL PROGETTO DI LAYOUT

Come anticipato nel capitolo 1, il layout è l'insieme degli impianti, delle attrezzature e delle risorse, sia umane che materiali, organizzate in modo tale da rendere massima l'efficienza della struttura produttiva e da ridurre al minimo i costi.

Il progetto di layout è quindi definito come il processo tramite il quale viene costruita la struttura produttiva, dalla scelta dell'ubicazione alla disposizione dei macchinari e dei servizi ausiliari alla produzione. Questo studio ha lo scopo di portare ordine nella successione dei mezzi a disposizione del processo produttivo, così da massimizzare l'utilizzo dei macchinari e delle risorse umane, ridurre le scorte, evitare lo spreco di spazio e conseguentemente di tempo nel trasporto dei materiali. Il raggiungimento di questo obiettivi, come già scritto, ha ovviamente l'effetto di migliorare l'efficienza produttiva dell'impianto e di abbattere i costi di produzione.

#### 2.2 IL PROGETTO DI LAYOUT

Il layout viene definito sulla base di cinque livelli:

1. Globale: riguarda l'area geografica in cui verrà posizionato il layout. Spesso non si tratta della scelta di una nuova area per l'insediamento del layout, ma la valutazione riguardo le alternative tra una nuova ubicazione e l'inserimento di un nuovo layout nella struttura già in uso;
2. Supra: ci si occupa della stesura della planimetria dell'intero sito geografico;
3. Macro: in questa fase viene definito un layout di massima, in cui vengono assegnate le aree operative all'interno delle strutture;
4. Micro: in questa fase il layout viene organizzato in maniera dettagliata, definendo i servizi e la disposizione planimetrica delle stazioni di lavoro;
5. Sub-micro: ogni stazione di lavoro viene organizzata, specificando la posizione e il numero di macchinari, oltre alle risorse umane necessarie correlate.

Il primo livello prevede la valutazione dell'ubicazione migliore per l'impianto tra varie alternative; diversi fattori influenzano questa scelta:

- Reperimento delle risorse: la facile reperibilità delle materie prima rappresenta un vantaggio per l'azienda, come la presenza nella zona geografica di manodopera qualificata e in line con i coati previsti;
- Mercato: è conveniente posizionare l'impianto dove vi è maggiore concentrazione di clienti per l'azienda;
- Trasporto: viene verificata la presenza di infrastrutture ed i relativi costi di trasporto;
- Fattori politici, economici e ambientali;

La scelta dell'ubicazione avviene utilizzando metodi qualitativi, come il rating pesato, o metodi quantitativi, che prevedono due alternative per la scelta dell'ubicazione: il calcolo dei costi d'investimento ed esercizio o il calcolo dei costi di trasporto.

Una volta definita l'ubicazione migliore per l'impianto, si prosegue nei livelli successivi di analisi.

L'organizzazione e la progettazione della struttura produttiva interna dell'impianto rappresenta importante investimento per l'azienda, dato che risulta più semplice ed economico riprogettare una schermata video che movimentare fisicamente macchinari e costruzioni.

Come riportato in fig. 2.1, il progetto di layout si basa su cinque elementi fondamentali:

- il Prodotto, ossia l'insieme di beni che l'azienda produce per soddisfare la domanda del mercato; esso comprende anche tutti i materiali (materie prime, semilavorati) che vengono utilizzati per la realizzazione del prodotto finito. Ogni prodotto finito verrà sempre indicato con un numero di matricola;
- la Quantità, o volume di produzione, che indica l'insieme di prodotti finiti e materiali fabbricati o impiegati nel ciclo produttivo. La quantità potrà essere espressa in una grandezza dimensionale (es. peso, lunghezza) o in valore monetario rispetto alla produzione o alle vendite;
- il Ciclo tecnologico, ossia il processo vero e proprio, composto di tutte le operazioni ordinate coinvolte direttamente nella realizzazione del prodotto. Esso è solitamente rappresentato in fogli di processo o di lavorazione;
- i Servizi ausiliari, che comprendono tutte le attività coinvolte indirettamente nella produzione e che hanno lo scopo di facilitare e rendere efficiente il ciclo tecnologico. Essi racchiudono attività come la manutenzione, i magazzini e le aree adibite alle risorse umane;
- il Tempo, poiché per porre in sequenza le operazioni, il tempo sarà uno dei primi elementi da considerare per raggiungere l'equilibrio delle lavorazioni, delle macchine, la saturazione della mano d'opera<sup>1</sup>; questo influenza anche i servizi ausiliari, data la dipendenza di essi dalle attività del ciclo tecnologico. Inoltre nella creazione del layout è necessario porre un obiettivo temporale, definendo il termine di consegna del prodotto e la durata dell'intero ciclo.

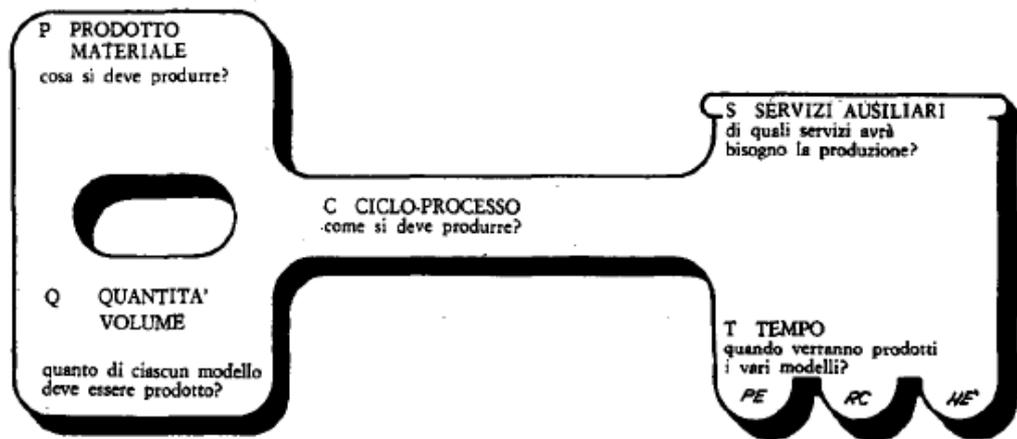


Fig. 2.1 Chiave P, Q, C, S, T per la risoluzione dello progetto di layout

## 2.2.1 LE FASI DEL PROGETTO O STUDIO DI LAYOUT

Dai cinque livelli di progettazione si sviluppano diverse fasi operative

### 1- Analisi del diagramma P – Q

Il diagramma P – Q è strettamente legato al layout che deve essere progettato, in quanto la definizione della curva permette di capire se si è proiettati ad una produzione di massa, con prodotti ad elevata quantità e bassa varietà, o ad una produzione orientata alla commessa, con prodotti ad elevata varietà e basse quantità. Ne consegue che diverse tipologie di produzione richiedono diverse tipologie di layout: nel primo caso ci si concentra nella realizzazione di un layout per prodotto, con macchinari e trasportatori automatizzati, mentre nel secondo caso il layout realizzato sarà per reparti nei processi di trasformazione e a postazione fissa nelle fasi di montaggio, con macchinari standard e trasportatori molto flessibili.

È da notare, come riportato in figura 2.2, che la scelta del tipo di layout dipende anche dalla pendenza della curva: se essa risulta tendenzialmente piatta sarà possibile progettare un layout generale adatto alla produzione di tutti i modelli con un sistema di trasporto universale, poiché la maggior parte della produzione sarebbe raccolta nella zona centrale della curva e l'efficienza della produzione non verrebbe intaccata dalla diversità dei prodotti alle estremità della curva; se la curva risulta essere invece molto ripida, è necessario creare diversi layout per i vari gruppi di prodotti, con sistemi di trasporto separati.

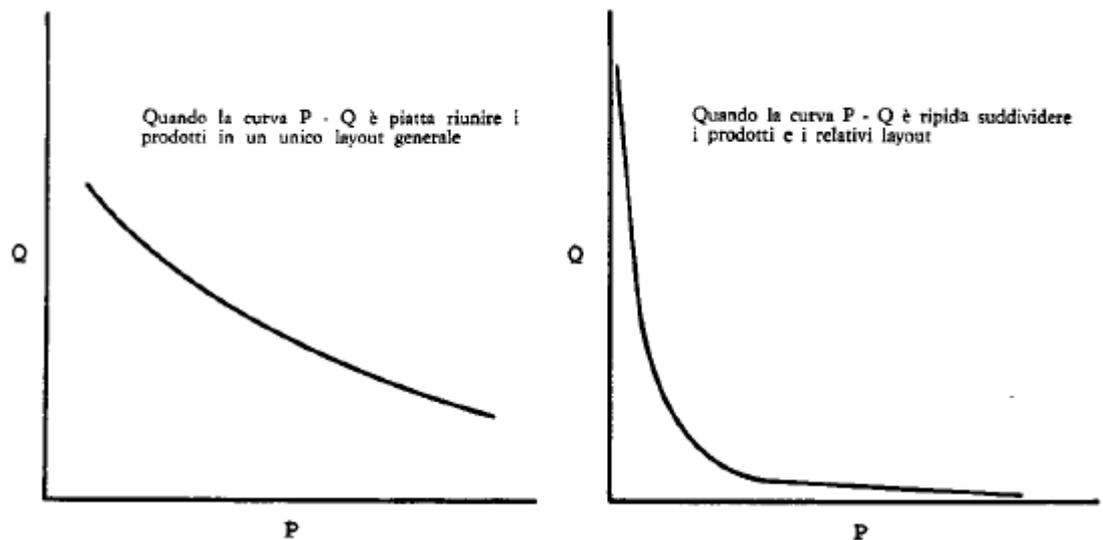


Fig. 2.2 Differenti curve P - Q

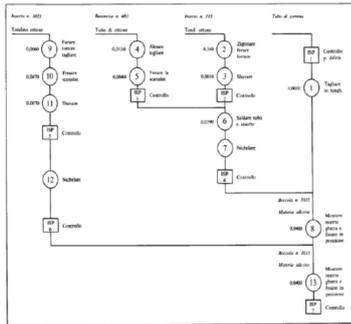
Un esempio di come l'analisi del diagramma P-Q comporti uno strumento utile per la scelta del layout è riportato ne "Il manuale del layout" (Richard Muther): un'azienda che si occupa di apparecchiature per l'illuminazione inizialmente aveva strutturato l'area di montaggio come una sequenza di isole, prevedendo un operatore per ogni postazione che completava il montaggio di un pezzo alla volta. Dopo aver svolto un'analisi riguardo i volumi produttivi rispetto l'intera varietà dei prodotti, si realizzò che il 63% della produzione era costituito da 19 prodotti, il 28% era costituito da 35 modelli ed il restante 9% da 100 modelli, deducendone che per più della metà del volume dei prodotti conveniva organizzare una produzione in serie, ottimizzando la movimentazione dei materiali per la costruzione delle apparecchiature. Ne seguì la riorganizzazione delle postazioni: per i primi 19 prodotti vennero create delle linee di montaggio, per i 35 modelli vennero raggruppate più isole e più operatori a collaborare per la creazione di più modelli in contemporanea, per i restanti 100 modelli vennero mantenute le postazioni singoli.

Il risultato fu un aumento della produzione del 17 %.

## 2- Analisi del flusso dei materiali

L'analisi del flusso dei materiali è fondamentale in quanto consente di individuare le più efficienti sequenze di spostamenti di materiali nelle diverse operazioni di processo, evitando deviazioni, attese o ritorni.

Per analizzare il flusso dei materiali esistono diversi metodi, che sono strettamente correlati alla curva P-Q: per ogni zona della curva esiste uno specifico modello di flusso; infatti per uno o pochi prodotti standardizzati è adatto il foglio di processo operativo mono-prodotto (fig. 2.3a), mentre se il numero di prodotti è rilevante, essi vengono raggruppati per similarità ed il foglio è riferito alla famiglia di prodotti e non al singolo, ottenendo un foglio operativo multi-prodotto (fig. 2.3b). Se il numero di prodotti è elevato ed essi sono tra loro differenziati, il metodo più efficace è quello del from-to chart, o foglio origine-destinazione (fig. 2.3c).



(a)

TO	Mat. Prime	Taglio	Tornitura	Foratura	Fresatura
FROM					
Mat.prime		208		216	
Taglio			120		576
Tornitura				160	528
Foratura				96	80
Fresatura					128

(b)

	Prodotto A	Prodotto B	Prodotto C	Prodotto D	Prodotto E	Prodotto F
1. Tranciatura	1	1	1		1	1
2. Dentellatura	2	2	2	1		
3. Tracciatura		3	3	2	3	3
4. Punzonatura			3		2	2
5. Piegatura	2	4		3	4	4
6. Finitura	4	5	5	4	5	

(c)

Fig. 2.3 Fogli operativi (a) Foglio operativo monoprodotta, (b) Foglio multiprodotta (c) From-to chart

Un fattore da considerare è l'intensità del flusso tra un'operazione e l'altra: essa infatti indica la grandezza dei movimenti di materiali tra le varie stazioni di lavoro e misura l'importanza di ogni tracciato.

Accade spesso che i materiali trasportati presentino grandezze differenti e risultati quindi difficile dare una stima della quantità movimentata; in questi casi per valutare l'intensità dei flussi si ricorre al cosiddetto conteggio dei mag: si tratta di un'unità di misura standard atta a quantificare la trasportabilità dei materiali ad omogeneizzare i flussi di grandezze eterogenee.

Il mag di fatto è considerato come un pezzo di materiale generico che può essere tenuto in mano con facilità, è solido, ha una forma compatta, è poco predisposto al danneggiamento ed è pulito; esso è calcolabile secondo la seguente espressione algebrica:

$$\text{MAG} = A * (1 + 0,25 * (B + C + D + E + F))$$

dove i termini letterali rappresentano dei coefficienti incidenti sullo spostamento dei materiali e sono riportati in figura 2.4.

A	COEFFICIENTE DI VOLUME	*
B	COEFFICIENTE DI DENSITÀ	$-2 \leq B \leq +3$
C	COEFFICIENTE DI FORMA O ACCATABILITÀ	$-3 \leq C \leq +4$
D	COEFFICIENTE DI RISCHIO DI DANNEGGIAMENTO	$-2 \leq D \leq +4$
E	COEFFICIENTE DELLO STATO FISICO	$0 \leq E \leq +4$
F	COEFFICIENTE DI COSTO	Non tabellato

Fig. 2.4 Coefficienti di incidenza mag

Per il calcolo del mag solitamente si fa riferimento ad un cubo di legno delle dimensioni di 5x5x5 cm facilmente maneggiabile in una sola mano: comparando l'insieme dei materiali di studio a questo esempio è facilmente calcolabile il numero di mag, ad esempio un bullone vale 1/50 di mag, mentre una scatola di vernice da 1 litro vale 3 mag.

### 3- Analisi del rapporto tra le attività

Come riportato nel paragrafo precedente, per determinare la sequenza delle operazioni e la disposizione delle attrezzature ci si basa sul flusso dei materiali; questo fattore però non porta sempre allo schema più efficiente e sicuro. È necessario infatti considerare anche la presenza di attività di servizio, ausiliarie al ciclo tecnologico.

L'analisi dei rapporti tra le attività ha lo scopo di integrare queste attività secondarie al flusso dei materiali tra le attività primarie; la motivazione di questa integrazione risiede in diverse cause/scopi a seconda dei casi, come il grado di comunicazione tra una stazione di lavoro e l'altra, la supervisione dell'operato, l'impiego delle stesse attrezzature o dello stesso personale o la presenza di sporcizia o pericolo.

Un metodo efficace per questo tipo di analisi è la tabella dei rapporti di vicinanza, atta a mostrare la presenza e la qualità dei rapporti tra le varie stazioni di lavoro: in essa verrà calcolata l'importanza tra coppie di attività, susseguita dalle relative considerazioni e giustificazioni. Di seguito il procedimento per la stesura della tabella:

- Identificazione di tutte le attività in azienda e raggruppamento delle attività simili o gestite dallo stesso gruppo di persone; tendenzialmente di cerca di non inserire più di cinquanta attività a tabella;
- Distinzione tra le operazioni di produzione e le attività secondarie;
- Determinazione delle relazioni tra ogni coppia di attività per mezzo della conoscenza degli operatori di reparto e dei dati raccolti come avviene per il flusso dei materiali;
- Sviluppo della tabella finale.
- 

A questo punto è necessario dare un'immagine dei flussi analizzati e dei rapporti ricavati tra le attività, creando un diagramma di flusso che mostri il posizionamento delle stazioni lavorative e le movimentazioni dei materiali tra esse.

Nella stesura del diagramma è importante utilizzare una simbologia comune e semplice nell'identificazione di ogni attività, come il gruppo di simboli ASME (American Society Mechanical Engineers) riportati in figura 2.5, in cui i simboli geometrici rappresentano le operazioni mentre i segmenti indicano l'importanza del flusso in ogni coppia di stazioni.

	Montaggio	A	Assolutamente necessario	
	Fabbricazione	E	Eccezionalmente importante	
	Trasporto	I	Importante	
	Ispezione	O	Di ordinaria importanza	
	Magazzino	U (N)	Non importante	
	Servizi	X	Indesiderato	
	Uffici/edifici esterni	Z	Altamente indesiderato	

Fig. 2.5 Simbologia ASME per la costruzione del diagramma di flusso tra le attività

Generalmente vengono inserite nel diagramma prima le attività più importanti e con i flussi più numerosi, poi le attività minori.

Con l'utilizzo dell'analisi dei flussi e della tabella dei rapporti è possibile creare un unico diagramma di flusso in cui vengono inseriti anche i flussi destinati alle stazioni ausiliarie.

In presenza di più prodotti le alternative permettono di creare un diagramma per ogni prodotto o di conglobare i flussi di tutti i prodotti in un solo diagramma; questa seconda opzione risulta essere la più corretta in quanto i dati di tutti i prodotti vengono raccolti e comparati nella tabella dei rapporti, la cui conseguenza è la creazione di un unico diagramma di flusso.

#### 4- Determinazione dello spazio e stesura finale del layout

In seguito alla stesura topografica dei flussi e delle attività, si assegna lo spazio necessario ad ogni attività.

Esistono vari metodi per la determinazione dello spazio, come:

- il calcolo diretto dello spazio occupato da macchinari, operatori, magazzini, dopo aver determinato il numero di attrezzature necessarie;
- l'utilizzo di spazi standard indicati da tabulati ufficiali, ricavati nella pratica industriale;
- la conversione di layout pre-esistenti in base alle esigenze delle stazioni da realizzare;
- la suddivisione dello spazio disponibile in opportune sagome, dove verranno inserite le varie attrezzature;

il calcolo diretto risulta essere il metodo più attendibile e diffuso.

Per poter effettuare il calcolo dello spazio richiesto è vantaggioso avere a disposizione l'inventario delle attrezzature coinvolte nel nuovo layout, contenente le loro caratteristiche fisiche. La preparazione dell'inventario permette inoltre di classificare le attrezzature per reparto.

Il metodo del calcolo diretto prevede che si ricavi la superficie occupata da ogni elemento di macchinario o attrezzatura, moltiplicata per la quantità necessaria ad eseguire un progetto e che vengano sommate le superfici non riconducibili ad alcun elemento.

Il numero di macchine e attrezzature si ricava dal rapporto:

$$N^{\circ} \text{ macchine} = \frac{\text{pezzi all'ora previsti dalla produzione}}{\text{pezzi all'ora producibili dal macchinario}}$$

Per ogni attività produttiva vengono poi determinati gli spazi e le condizioni di lavoro richiesti affinché le lavorazioni avvengano senza ostacoli, sempre in base

a prodotto, volumi, costi e tempo; nel calcolo dello spazio richiesto vengono considerate anche tutte le attività di servizio.

Il risultato di quest'analisi, adattata al diagramma dei rapporti tra le attività, ricavato nella fase precedente, è il diagramma del rapporto tra gli spazi che rappresenta un layout allo stato grezzo.

Un problema fondamentale in questa fase è il confronto tra spazio richiesto e spazio disponibile, in quanto deve essere verificata la sufficiente disponibilità di spazio e se esso possa contenere le varie aree di produzione e reparti, in base alla distribuzione fisica del luogo. Se lo spazio dovesse rivelarsi insufficiente, sono possibili diverse alternative per la risoluzione del problema. Una prima possibilità è quella di ridurre lo spazio occupato, definendo il peso e l'importanza delle varie attività, con lo scopo di minimizzare il danno all'attività aziendale.

Nel caso questa possibilità non sia considerabile, si è obbligati ad intervenire sulla progettazione del prodotto, così da semplificarne il progetto ed il ciclo produttivo, o sulla catena di produzione, valutando una redistribuzione della manodopera, come l'inserimento di turni di lavoro, o un ridimensionamento dell'approvvigionamento e dello stoccaggio dei materiali, valutando l'alternativa di esternalizzare la produzione di alcuni elementi o puntando alla riduzione al minimo dello stoccaggio di materiali cosicché lo spazio occupato dai magazzini possa essere utilizzato per la riorganizzazione dei macchinari.

### 2.3 I SISTEMI EURISTICI DI PROGETTAZIONE DI LAYOUT

Terminata l'organizzazione a livello macro del progetto di layout, si passa all'analisi micro e sub-micro che tratta il dimensionamento e l'organizzazione delle varie stazioni lavorative, determinando il numero di macchinari e di operatori necessari al funzionamento della stazione di lavoro.

Il dimensionamento di una linea produttiva e del suo layout è un processo di rilevante importanza e difficoltà; per questo motivo si ricorre spesso all'utilizzo di sistemi euristici per l'ottenimento del progetto.

Il termine euristico indica un metodo algoritmico con l'obiettivo di individuare delle soluzioni ammissibili ad un problema. I passaggi per la risoluzione del problema di dimensionamento sono i seguenti:

1. Assegnazione di un peso ad ogni compito;
2. Aggiornamento dei compiti ammissibili (i cui predecessori risultano tutti assegnati);
3. Assegnazione del compito con peso maggiore alla prima stazione disponibile.

Un euristico applicabile al problema di dimensionamento è la RPWT (Ranked Positional Weight Technique). Esso permette di risolvere il problema di dimensionamento basandosi sui vincoli di precedenza delle operazioni e assegnando ad ogni stazione il massimo carico possibile di lavoro. Di seguito vengono elencati i passaggi di questo euristico:

1. Costruzione del grafico delle precedenze delle attività;
2. Definizione delle attività successive  $S_i$ , per ogni attività  $i$ ;
3. Calcolo del peso di ogni operazione  $i$ , dato dalla somma dei tempi di svolgimento dell'operazione e di quelle appartenenti a  $S_i$ ;

4. Scelta dell'operazione con il peso più alto, che viene assegnata alla prima stazione di lavoro;
5. Si seleziona la successiva operazione con peso maggiore e la si assegna alla prima stazione ammissibile, se e solo se l'operazione rispetta il limite di capacità della stazione, altrimenti dovrà esserne creata una apposita;
6. Si ripete lo step 5 finché tutte le operazioni sono state assegnate ad una stazione.

Si può notare che questa euristica permette di non preoccuparsi di specificare la selezione solo tra i compiti con peso massimo i cui predecessori erano già stati assegnati, in quanto questa regola è implicita all'interno del calcolo del peso.

## CAPITOLO 3

### Aziende su commessa

In questo capitolo seguirà un approfondimento sulle aziende che operano su commessa, ossia che appartengono alla tipologia Engineer to order (ETO). Verranno esposte le principali caratteristiche di questa tipologia di sistema produttivo, illustrando inoltre gli aspetti che lo differenziano dalle altre tipologie di produzione, per poi analizzare i problemi che un'azienda di eto deve affrontare.

#### 3.1 LA COMMESSA

Il flusso logistico di un prodotto è l'insieme di tutte le operazioni atte alla creazione dello stesso. Esso si compone di cinque macro-fasi: la progettazione, l'approvvigionamento, la fabbricazione, l'assemblaggio e al termine la distribuzione; il cliente rappresenta il punto di inizio e fine del ciclo, proprio perché è colui che richiede la produzione del bene e ne risulta conseguentemente il destinatario finale.

Secondo la classificazione di Wortmann (fig. 3.1) è possibile definire varie tipologie di sistemi produttivi in base al posizionamento dell'avvenuta commessa del cliente nel flusso logistico (decoupling point); essa rappresenta concretamente l'incarico che il cliente affida all'azienda nel fornirgli il prodotto richiesto utilizzando una quantità determinata di risorse. Si distinguono così aziende make to stock, assemble to order, make to order, purchase to order ed engineer to order.

Le prime quattro di queste tipologie sono accomunate dal fatto che trattano tutti prodotti standard, la cui fase di progettazione avviene sempre su previsione della commessa del cliente, mentre le aziende che operano secondo un sistema engineer to order basano l'intero ciclo produttivo sull'ordine del cliente.

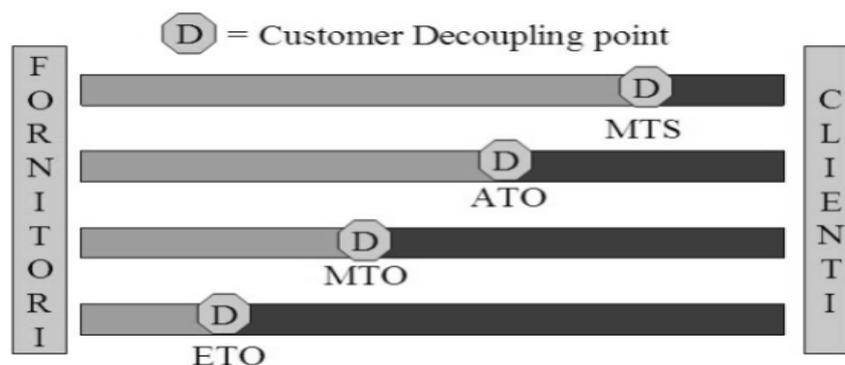


Fig. 3.1 Classificazione Wortmann

La commessa inoltre può essere classificata in base al tipo di prodotto da realizzare ed il processo impiegato; questa classificazione, chiamata matrice prodotto-processo e realizzata da Hayes e Wheelwright nel 1979, mostra la correlazione tra l'organizzazione del processo e la struttura del prodotto; essa infatti rappresenta uno strumento utile per la scelta del processo produttivo in base alle caratteristiche dei prodotti che si sceglie di offrire. Nell'asse x vengono illustrate le modalità di produzione in base al volume di

realizzazione, passando dal prodotto singolo con elevata varietà (one of a kind) ad alti volumi con varietà bassa (commodity products). Nell'asse y vengono riportate le modalità di produzione in base al flusso del materiale nella struttura del processo, partendo dal job shop, a flusso flessibile a seconda del prodotto, al flusso continuo, che risulta essere rigido e non modificabile.

Nella diagonale, grazie alla combinazione ordinata dei vari livelli, vengono riportate le strutture produttive adatte ad ogni genere di prodotto: in angolo a destra si trova la produzione a flusso continuo, risultato della combinazione di prodotti di tipo commodity e di processi a flusso continuo con massima standardizzazione e alti volumi; nell'angolo opposto a sinistra si trova la produzione su commessa, che combina il livello di prodotto singolo (one of a kind) e il livello di processo a progetto, o job-shop, con bassa standardizzazione e bassi volumi.

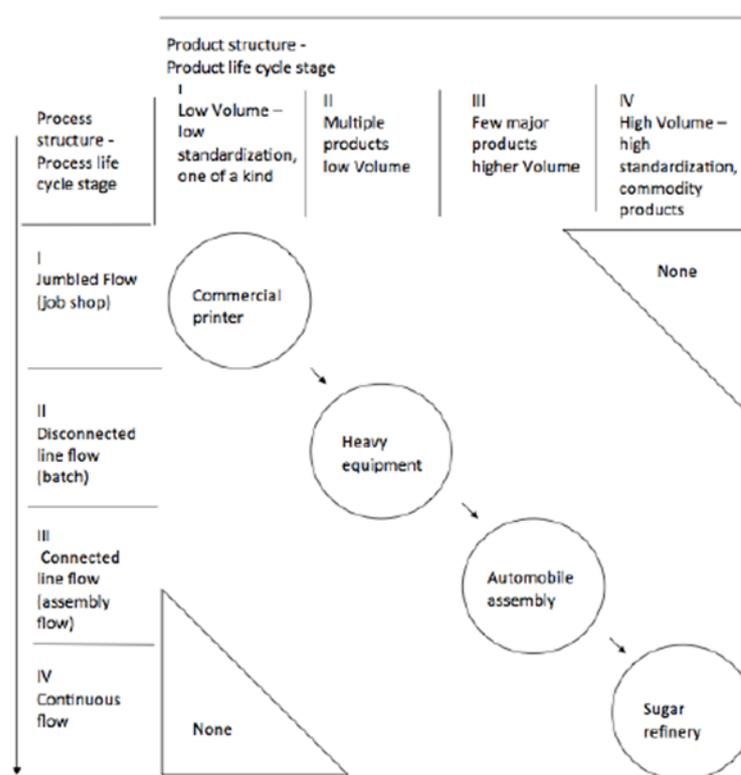


Fig. 3.2 Matrice prodotto-processo, Hayes e Wheelwright

### 3.2 IL SISTEMA ETO (ENGINEER TO ORDER)

Analizzando le varie classificazioni riguardanti la definizione di una commessa, riportate nel paragrafo precedente, è possibile definire le aziende engineer to order secondo delle peculiarità che le contraddistinguono da aziende di altro tipo.

Le aziende ETO sono principalmente delle aziende che applicano una logica pull, basando l'intero ciclo produttivo sull'ordine ricevuto dal cliente; diversamente dalle aziende operanti secondo una logica push, le aziende ETO, una volta avviato il processo di una commessa, hanno la sicurezza di concludere la vendita. Questo meccanismo

favorisce la riduzione al minimo degli inventari WIP (Work in process) e di prodotti finiti, contrariamente a quanto accade nelle aziende che producono in serie e su previsione.

A differenziare le aziende ETO dalle altre aziende che operano su ordinazione è il fatto che esse non propongono al mercato un prodotto ma la loro candidatura a realizzarlo; ciò comporta che nel ciclo produttivo sia inclusa anche la progettazione, in collaborazione con il cliente, con lo scopo di realizzare un prodotto che soddisfi a pieno le sue necessità e le sue richieste. Se ne deduce che le aziende su commessa trattino prodotti non a catalogo, ma altamente personalizzati e progettati da zero, con caratteristiche strutturali e tecnologiche che li rendono unici e spesso irripetibili.

L'unicità e la singolarità del prodotto spinge le aziende a cercare la massima soddisfazione del cliente nella realizzazione della commessa; si può infatti affermare che le aziende che producono su commessa puntano maggiormente alla qualità che alla quantità di prodotti realizzati, cercando sempre di rispettare i vincoli imposti da tempo, costi e obiettivi (fig. 3.3).

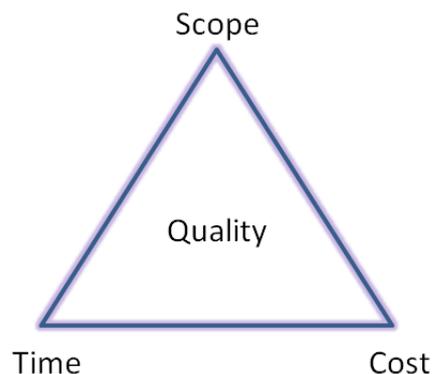


Fig. 3.3 Vincoli di progetto

Trattandosi di prodotti unici e irripetibili, le aziende che producono su commessa devono disporre di una certa flessibilità sia organizzativa che produttiva, in quanto ogni progetto è realizzato ex-novo ed è caratterizzato da una incertezza in ogni fase di processo.

La produzione richiede l'impiego di una rilevante quantità di risorse, sia umane che in macchinari e attrezzature, per realizzare il prodotto, che spesso risulta essere di grandi dimensioni e tecnicamente complesso; è da specificare l'utilizzo di macchinari adattabili a più produzioni, in quanto il set-up non deve richiedere tempi e costi elevati, e la necessità di manodopera specializzata e competente in più mansioni.

Produzioni di serie	Produzione su commessa
1) Enfasi sui centri di responsabilità 2) Impiego dei costi standard 3) Rilevanza analisi dei costi fissi e variabili 4) Analisi scostamenti ad intervalli periodici regolari senza problemi di confrontabilità 5) Meccanismo di <i>feed-back</i> : sostanzialmente sufficiente 6) Responsabilità relativamente univoca 7) Controllo dei costi relativamente indipendente da altre « dimensioni».	1) Enfasi sulle commesse 2) Impiego di « preventivi» di costo 3) Rilevanza analisi dei costi diretti e indiretti 4) Analisi scostamenti ad intervalli periodici regolari con problemi di confrontabilità 5) Meccanismo di controllo molto «orientato al futuro» 6) Corresponsabilità piuttosto spinta 7) Controllo integrato costi – tempi – qualità

Tabella 3.1 Differenza tra serie e commessa

Come si può notare nella tabella 3.1 ci sono altri aspetti delle aziende che operano su commessa che le contraddistinguono dalle aziende che producono in serie: nella produzione su commessa il controllo di gestione ha per oggetto la commessa stessa mentre nella produzione in serie il controllo di gestione si concentra su ogni centro di responsabilità, o unità organizzativa; anche il meccanismo di controllo cambia, infatti nelle produzioni in serie il controllo è di tipo *feed-back*, in cui vengono confrontati i risultati intermedi effettivi con quelli intermedi previsti per poter valutare se intervenire con correzioni opportune su obiettivi o azioni, mentre nelle produzioni su commessa il controllo è *feed-forward*, con lo scopo di confrontare i risultati finali attesi con risultati finali che forse si manifesteranno. Altra importante differenza riguarda l'analisi dei costi: grazie alla standardizzazione della produzione, che consente di ottenere dati certi e costanti, la produzione in serie si basa sui costi standard, sia variabili che fissi, che l'azienda dovrebbe sostenere per la realizzazione di una unità di prodotto in condizioni produttive ottimali; diversamente, la produzione su commessa può basarsi solo su costi preventivati, data la mancanza di dati connessi al progetto, e normalmente si valutano i costi diretti o indiretti, cioè legati o meno alla commessa.

### 3.3 FASI DI GESTIONE DELLA COMMESSA PER AZIENDE ETO

Le aziende che producono su commessa sono costrette ad operare in un ambiente e con un certo grado di rischio dovuto all'incertezza della domanda e alla complessità dei prodotti da realizzare. La strategia di questo tipo di aziende mira alla massima soddisfazione delle richieste del cliente, organizzando al meglio le proprie risorse e le fasi progettuali, rispettando comunque i vincoli imposti da tempo, costi e qualità.

Nella realizzazione di una commessa è possibile distinguere tre macrofasi:

- Front-end, ossia l'insieme delle procedure prima della conferma d'ordine del cliente: in questa fase l'azienda si occupa di predisporre un'offerta al cliente

tramite la stipulazione di un contratto in cui saranno preventivati prezzo e data di consegna. A tal fine è necessario tradurre i requisiti imposti dal cliente in requisiti tecnici utili a svolgere un'analisi di fattibilità del progetto e la relativa stima dei costi.

- Motore, ossia la pianificazione dell'approvvigionamento e della produzione: è la fase della configurazione tecnica della commessa, in cui vengono generati la distinta base e i percorsi produttivi dei vari componenti. Dopo una dettagliata pianificazione della produzione e della capacità produttiva e la pianificazione del fabbisogno di materiali, facendo riferimento sia all'ordine del cliente che agli ordini di lavoro che la commessa genera, questa fase si conclude con il rilascio dell'ordine in produzione.
- Back-end, ossia il controllo della produzione e dell'approvvigionamento: si valutano le prestazioni di progetto in base al monitoraggio in tempo reale dei costi e tempi di produzione, oltre alla fornitura di materie prime e semilavorati.

### 3.3.1 PREDISPOSIZIONE DELL'OFFERTA

Per proporre la propria candidatura l'azienda stila un engineering iniziale in cui viene descritto sommariamente il progetto, il layout necessario e vengono stimati una data presunta di consegna ed il budget previsto.

Nella stima della data di consegna, l'azienda è costretta a considerare le commissioni di cui è già a carico e quelle in fase di acquisizione, in quanto le aziende che operano secondo sistemi eto lavorano in ambienti multi-progetto. Dopo aver rilevato queste informazioni è necessario confrontarle con la capacità produttiva disponibile così da poter stimare una durata approssimativa dei lavori.

Se il cliente si dimostra interessato, il preventivo iniziale viene revisionato fornendo una descrizione dettagliata del prodotto e dei macchinari utilizzati nel processo produttivo, oltre al layout definitivo. Si noti come in questa seconda stipula del preventivo vengano specificate la parte tecnica e la parte commerciale del progetto.

Per quanto riguarda la preventivazione del prezzo, inizialmente l'azienda può presentare un calcolo più o meno affidabile del prezzo, trattandosi di prodotti differenziati senza precedenti. Al perfezionamento del contratto, dopo aver dettagliato sia la parte tecnica che commerciale, sarà possibile definire una grandezza detta "ciclo valorizzato", che rappresenta la corretta previsione di costo del progetto; essa dovrebbe risultare quanto più simile possibili alla stima iniziale.

Successivamente il preventivo viene definitivamente presentato al cliente che potrà inserire integrazioni tecniche e richieste sulle prestazioni e funzioni del prodotto; al termine della revisione con il cliente, si ottiene l'offerta finale.

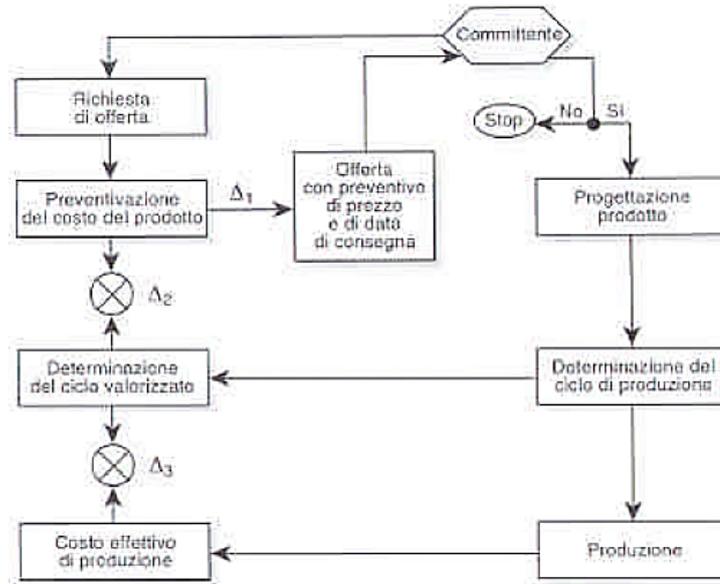


Fig. 3.4 Flowchart per la definizione dei costi di commessa

Come si può notare in figura 2.4 il valore  $\Delta_1$  è influenzato solo da considerazioni di carattere economico e commerciale, mentre  $\Delta_2$  rappresenta un errore di preventivazione, che è sempre il caso di eliminare, e  $\Delta_3$  indica la differenza tra il costo effettivo ed il costo preventivato determinando le specifiche del progetto durante il ciclo valorizzato; è importante sottolineare quanto conveniente risulti che  $\Delta_3$  tenda a zero in quanto misura dell'efficienza produttiva in termini di costo.

La somma tra le due differenze  $\Delta_2$  e  $\Delta_3$  rappresenta quindi lo scostamento tra il costo preventivato per presentare l'offerta e il costo effettivamente sostenuto.

### 3.3.2 PROGETTAZIONE E PROGRAMMAZIONE

Come riportato nel paragrafo precedente, raggiunto l'accordo tra committente e azienda candidata, segue la configurazione tecnica del prodotto, ovvero la progettazione esecutiva dei vari componenti e delle parti del progetto.

Ogni commessa acquisita dall'azienda viene scomposta e suddivisa in macro-attività, grazie a tecniche come la Work-breakdown-structure, in modo che possano essere individuate relazioni e interdipendenze con le altre commesse in sviluppo; questo permette ai project manager di pianificare la sequenza delle operazioni nei tempi prefissati e di assegnare la manodopera considerando sia la singola commessa che la capacità produttiva nell'ambiente multi-progetto. Lo stesso principio è applicato all'approvvigionamento delle materie prime e delle attrezzature necessarie.

Ne consegue lo sviluppo della distinta base, ossia la scomposizione e schematizzazione del prodotto, in componenti, lavorazioni, tempi di lavorazione, fornitura e costi.

Dalla WBS si ricavano importanti tecniche per la pianificazione e il controllo, come il diagramma di Gantt, in grado di evidenziare le tempistiche e il posizionamento temporale nel processo di tutte le attività coinvolte nel progetto, e il Critical path method, che, evidenziando le interdipendenze tra attività, permette di rilevare diversi

percorsi possibili all'interno del processo, così da trovare il percorso critico (il più lungo) su cui basare il progetto esecutivo.

Nella pianificazione della produzione è possibile dividere le attività in due gruppi:

- attività primarie,
- attività secondarie;

le prime sono direttamente collegate alla realizzazione e alla consegna della commessa, come la progettazione esecutiva, la produzione e assemblaggio dei componenti, nonché la verifica delle prestazioni prima della consegna al cliente e l'assistenza e manutenzione nella vita utile del prodotto; mentre le seconde migliorano l'efficienza e l'efficacia delle prime, come l'utilizzo di tecniche di project management per identificare le fasi del ciclo di realizzazione della commessa e le risorse (materiali, umane e di capitale) necessarie ad essa, e l'analisi dei costi e degli scostamenti, che monitora l'andamento dei costi del progetto in confronto al preventivo iniziale, in modo che il project management possa intervenire per apportare eventuali correzioni.

### 3.3.3 PRODUZIONE

Terminata la fase di progettazione esecutiva è possibile avviare la produzione: essa risulterà senza criticità quanto più precisa e dettagliata sarà la progettazione esecutiva. Durante questa fase è rilevante effettuare delle valutazioni intermedie e di fine produzione, monitorando i dati funzionali reali e confrontandoli con i dati di progetto, in modo da ridurre al minimo gli scostamenti.

## 3.4 PROBLEMATICHE DELLE AZIENDE ETO

Durante l'intero ciclo produttivo le aziende di tipo ETO affrontano diverse problematiche, dovute principalmente alla complessità e all'unicità del prodotto.

In seguito verranno elencati i problemi che un'azienda deve affrontare in ogni fase della gestione della commessa:

- Preventivazione dell'offerta:

In questa fase i principali problemi che l'azienda deve risolvere sono causati dall'unicità della commessa stessa. Trattandosi di un prodotto unico in termini tecnologici e di design, l'azienda non ha a disposizione dati storici su eventuali commesse precedenti e simili a quella in fase di acquisizione, così da essere costretta a raccogliere in modo accurato il maggior numero di informazioni e specifiche che il cliente richiede per poter stilare un preventivo il più corretto possibile.

L'elevata personalizzazione del prodotto comporta la difficoltà nello stabilire anche i tempi e i costi di produzione.

La trattazione del contratto non ha una scadenza precisa ma dipende dalla soddisfazione del cliente, conseguentemente la fase di engineering risulta molto lunga e costosa, dovendo ideare un prodotto da zero che rispetti a pieno i requisiti imposti.

- Pianificazione e produzione:

Un primo problema che l'azienda riscontra in questa fase è l'organizzazione delle risorse, in quanto essa non può prevedere le tempistiche e la quantità di commesse acquisite nel breve e lungo termine e, lavorando in ambienti multi-progetto, deve far fronte a numerosi percorsi produttivi che spesso s'incrociano tra loro, causando dei picchi nell'utilizzo di tutte le risorse. Come scritto nel paragrafo precedente, una buona soluzione è l'utilizzo di tecniche come la WBS che consiste nella scomposizione del progetto in più sotto-progetti elementari, in modo da rendere meno complesse le fasi di realizzazione e aumentare la flessibilità della pianificazione e facilitare il controllo di produzione.

Un altro importante problema riguarda il monitoraggio e il rispetto dei tempi e dei costi di produzione previsti: in questa fase infatti entrano in scena attori esterni come i fornitori che l'azienda non può controllare, rendendo difficile la gestione dell'approvvigionamento. Questo problema influenza direttamente tutte le fasi successive di produzione e montaggio, costrette eventualmente a restringere i tempi per rispettare le tempistiche.

Queste problematiche rendono la produzione incerta e in continuo cambiamento, rendendo difficile lo scambio di informazioni tra i vari soggetti coinvolti nella realizzazione della commessa (stakeholders).

Una soluzione alle problematiche che riguardano il processo produttivo è l'applicazione della metodologia lean, che si basa su quattro principi fondamentali:

- La sincronizzazione della produzione a seconda della domanda;
- La produzione di un pezzo alla volta;
- Applicazione ai flussi dei materiali una logica pull;
- Definizione di ogni attività e di tutti gli obiettivi correlati affinché possano essere monitorate tutte le possibili deviazioni e possano essere corrette tempestivamente.

La definizione di Takt Time applicata al sistema ETO prevede che per misurare il flusso di lavoro non vengano più considerate i volumi di materie e semilavorati, tipico delle aziende che producono per grandi volumi, ma il carico lavorativo di ogni operatore.

Questo consente di adattare in continuazione la produzione al lead time, individuando il percorso critico della commessa e intervenendo per ridurre i tempi di lavorazione. La tecnica del Quick Response Manufacturing organizza le attività in modo che queste non possano essere anticipate, così da evitare l'aumento di tempi morti e di materiali WIP: come accennato nel secondo principio lean, il flusso dei materiali prevede che venga lavorato un pezzo alla volta, così il buffer di materiale in attraversamento sia ridotto al minimo e aumenti lo spazio disponibile nel layout produttivo; l'ottenimento di una produzione più flessibile e fluida è possibile se la sincronizzazione della produzione avviene anche a monte con i fornitori, mirando ad un approvvigionamento con tempistiche più fiscali e puntuali.

L'ultimo step della lean production è il raggruppamento delle attività in:

- Attività che apportano valore al prodotto;
- Attività che apportano valore al business e che permettono il proseguire dell'attività produttiva;
- Attività che non apportano valore e che potrebbero essere eliminate con una diversa organizzazione del lavoro;

consentendo di avere una visione pulita del processo produttivo in essere.

Fattori importanti che influenzano la riuscita dell'applicazione della metodologia lean nei sistemi produttivi su commessa sono la flessibilità degli operatori, che dovranno muoversi tra attività e macchinari differenti, così da abbattere i tempi inattivi, a discapito di una gestione dei costi che punta all'abbattimento dell'ammortamento dei macchinari. Inoltre è molto importante l'investimento da parte dell'azienda nella continua formazione degli operatori, che risultano essere una risorsa malleabile e fondamentale per la riuscita della commessa.

### 3.5 IL SISTEMA PRODUTTIVO DELLE AZIENDE SU COMMESA

Come già anticipato le aziende engineer to order producono commesse personalizzate costruite sulla base di un prodotto; la principale difficoltà di queste aziende è la gestione di elevati costi, a causa del contrasto tra le personalizzazioni e le economie di massa.

Ad oggi molte aziende di tipo one of a kind si stanno muovendo verso tentativi di personalizzazione di massa, avvicinandosi quindi alla realtà del make to order: le aziende MTO basano la parte iniziale del loro processo produttivo sulla realizzazione di prodotti basilari, che successivamente, su ordine del cliente vengono personalizzate sulla base delle personali specifiche richieste.

Questo tipo di sistema produttivo permette di accelerare le fasi di progettazione e pianificazione, costruendo tutti i prodotti su una base comune e apportando le modifiche grazie anche all'esperienza dei progettisti; risulta quindi più improbabile dover progettare un prodotto interamente da zero.

Un ulteriore vantaggio si presenta in produzione, in quanto la parte di processo iniziale è organizzata secondo la group technology indirizzata verso la realizzazione di prodotti molto simili e di volumi maggiori della singola commessa.

L'applicazione concreta delle idee atte a semplificare la produzione su commessa e a risolvere le problematiche che essa solitamente riscontra trova realizzazione nell'utilizzo di sistemi euristici e interfacce grafiche che permettono di monitorare in tempo reale la produzione e di riadattarla agli imprevisti che l'azienda deve fronteggiare nella produzione interna o causati da attori esterni ad essa relazionati.

#### 3.5.1 I SISTEMI DI PIANIFICAZIONE DEL PRODOTTO E DELLA PRODUZIONE

Una caratteristica importante delle aziende che operano su commessa è l'approccio quasi simultaneo delle fasi di sviluppo e produzione della commessa, inoltre la partecipazione attiva del cliente alla definizione del prodotto rappresenta un ostacolo per il rispetto dei vincoli temporali; per questo motivo i convenzionali sistemi di pianificazione ERP diventano difficili da gestire.

È stato quindi ideato un framework per le fasi simultanee di progettazione e pianificazione dei processi e la pianificazione e controllo della produzione: esso è costruito sulla base di un modello di progettazione incrementale e pianificazione dei processi e su un sistema di integrazione dati denominato Struttura di pianificazione del prodotto (PPS).

*Il modello di progettazione incrementale e pianificazione di processo*

Trattandosi di prodotti unici nel loro genere, la produzione di tipo One of a Kind viene spesso avviata senza la completezza di tutti i dati necessari e subisce continui mutamenti e aggiornamenti dovuti all'influenza del cliente.

Si è così sviluppata la necessità dell'azienda di utilizzare strumenti di pianificazione che permettano di seguire gli input del cliente con tempestività e modificare il processo senza troppe complicazioni.

La base di partenza del modello incrementale è il prototipo di prodotto, definito come l'insieme della distinta base, il progetto e la sequenza operativa del prodotto inizialmente concordato. Nel ciclo iterativo degli aggiornamenti che il cliente richiede il modello prevede una modifica graduale delle specifiche del prodotto e della pianificazione dei processi, intervenendo su un aspetto alla volta. Spesso le modifiche richieste riguardano una percentuale di caratteristiche molto bassa rispetto l'intero prototipo e l'agire su un aspetto specifico permette di ridurre significativamente il lead time di sviluppo.

Un altro vantaggio dell'applicazione del modello incrementale è il fatto che esso possa aumentare la producibilità della commessa pescando le opzioni di modifica da prototipi di precedente produzione: vengono confrontate le specifiche del prototipo in fase di produzione e il prodotto personalizzato precedentemente, se la struttura soddisfa i requisiti richiesti, si applicheranno le specifiche del prodotto precedente; se non può essere trovata una soluzione basandosi sulle esperienze acquisite, la progettazione della nuova funzionalità richiesta dovrà essere eseguita ex-novo.

#### *La struttura di produzione del prodotto (PPS)*

La struttura di produzione del prodotto è un'illustrazione logica e grafica della combinazione della progettazione del prodotto e la pianificazione del processo produttivo.

Essa è scomposta in uno spazio tridimensionale in cui i tre assi rappresentano le dimensioni temporale (T), di progettazione (Pd) e delle specifiche (Ps), per costruzione del grafico vengono utilizzate le legende della simbologia ASME: le linee e frecce rappresentano i flussi e le sequenze di produzione, il cubo rappresenta uno stato di trasformazione, definitivo o temporaneo, il cerchio rappresenta una fase di fabbricazione; ad ogni simbolo viene inoltre associata l'origine dell'attività: "OS" per attività di outsourcing, "OP" per attività interne all'officina, "sc" per attività di subappalto.

Lungo l'asse T viene prodotto passo dopo passo ed i dati riguardanti il processo diventano chiari; lungo l'asse Pd il prodotto viene progettato partendo dalla specifica generale fino a raggiungere livelli di dettaglio precisi; lungo l'asse Ps il prodotto viene realizzato partendo da una linea guida generale fino ad entrare nello specifico di ogni processo (fig. 3.5)

Questo strumento, unito al modello incrementale, permette di apportare modifiche ed aggiornamenti anche al prodotto con la struttura più complicata, identificando con anticipo le possibili problematiche, grazie anche all'analisi delle esperienze precedenti.

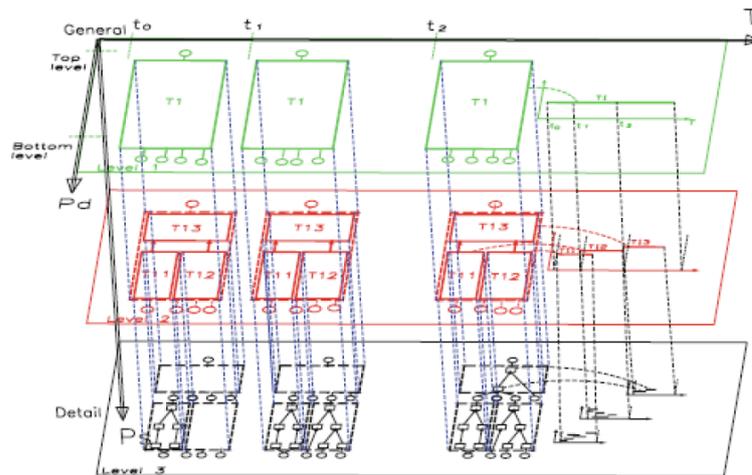


Fig. 3.5 Scomposizione 3D della struttura di produzione del prodotto

Nella PPS va prestata particolare attenzione alle attività di officina “OP”, essendo le stesse che influenzano in maniera diretta l’organizzazione dell’impianto: le attività “OP” raggruppano tutte le attività di fabbricazione, movimentazione, stoccaggio e consegna interne all’azienda. Come mostrato nella figura 3.6, nell’interfaccia Shopfloor del modulo “Manager” è possibile monitorare l’andamento della produzione interna attraverso gli stati “Pronto”, “WIP” e “Finito”: il responsabile potrà così assegnare al gruppo di lavoro le operazione in stato di pronto, controllare le operazione in avanzamento “WIP” e riassegnare gli operatori che hanno terminato una sequenza di operazioni, registrate come “Finito”; le operazioni in stato inattivo non verranno visualizzate nell’interfaccia PPS finché non saranno in stato di pronto per l’assegnazione del gruppo di lavoro. Questa filtro di attività permette di riflettere la domanda totale in tempo reale delle risorse necessarie affinché la produzione avanzi, evitando di sovrastaffare i centri di lavoro.

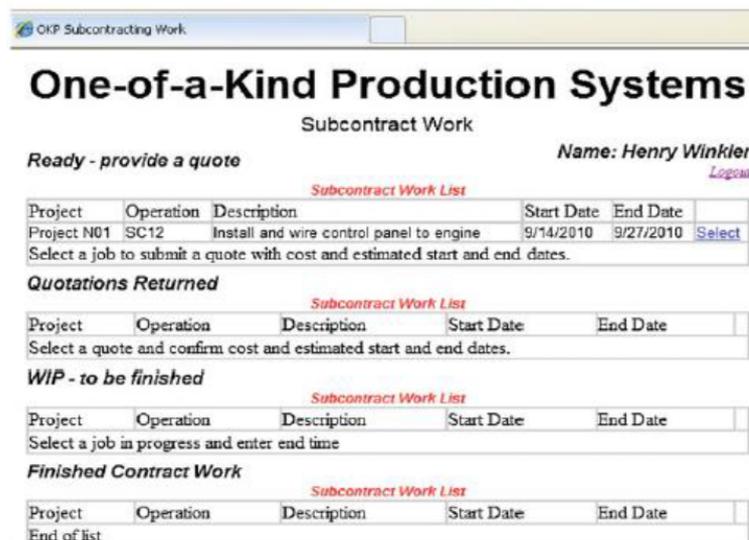


Fig. 3.6 Interfaccia PPS di aggiornamento dei centri di lavoro in officina

### 3.5.2 LA PRODUZIONE ADATTIVA

Come già anticipato, la produzione One of a kind deve affrontare continue incertezze dovute alla costante mutevolezza della progettazione e dei processi ad essa correlati o a cambiamenti nei processi dovuti a fattori terzi: l'inserimento o l'annullamento di operazioni, la modifica delle routine di lavoro, guasti ai macchinari o assenze degli operatori. Tutto ciò può essere gestito in modo abbastanza semplice grazie all'applicazione di euristiche, impostando ad esempio a zero il tempo di lavoro per azione annullate.

Tramite la produzione adattiva vengono controllati solo due tipi degli ostacoli alla OKP sopraelencati:

1. Annullamento o inserimento: con l'utilizzo dell'euristica il sistema PPS riprogramma tutte le attività fuori dal limite temporale della produzione a seconda delle modifiche apportate; aggiornando il processo operativo è da considerare sempre la presenza di un tempo limite entro il quale non è più possibile modificare le sequenze produttive per evitare instabilità all'interno della produzione stessa;
2. Assenza operatore o guasto macchina: in questo caso l'euristica procederà con il prolungamento dei tempi di lavorazione proporzionalmente a tutte le macchine finché non verrà coperta l'assenza o recuperato il danno.

Di seguito verranno elencati i principali passaggi dell'euristica della produzione adattiva:

1. Nella piattaforma PPS passare dalla modalità di controllo a quella di simulazione, successivamente: nel caso di ostacolo 1 andare al passaggio 3, nel caso di ostacolo 2 modificare i tempi di lavorazione e andare al passaggio 3;
2. Assegnare manualmente le risorse ad ogni centro di lavoro e impostare i tempi di lavorazione per i centri modificati;
3. Pianificare i centri di lavoro in base all'euristica;
4. Simulare la sequenza di lavoro generata dal passaggio 2: se la sequenza rispetta la data di fine produzione, andare al passaggio 5, altrimenti riprogrammare la produzione aggiungendo o rimuovendo risorse in base a ritardo o anticipo rispetto la data di fine, come in passaggio 2;
5. Consegnare il nuovo programma di produzione all'officina e tornare alla modalità di controllo nella piattaforma PPS;
6. Monitoraggio della produzione.

È da notare che questo tipo di filosofia produttiva comporta allo sviluppo trasversale delle competenze degli operatori, o "job enlargement", in quanto risulta necessario che essi siano flessibili ed in grado di operare in tutte le stazioni di lavoro; il job enlargement porta una serie di vantaggi, sia produttivi che morali, all'interno dell'azienda: l'operatore si sente maggiormente soddisfatto, perché responsabile e coinvolto nella realizzazione di tutto il progetto, oltre che formato nello sviluppo di nuove abilità fisiche e mentali; altro vantaggio è quello di snellire il numero di operatori necessario alla produzione.

Le aziende solitamente richiedono che il loro programma di produzione sia il più semplice e breve possibile così da rispondere tempestivamente ai cambiamenti, ma il tempo limite per l'aggiornamento dipende principalmente dalla flessibilità dei sistemi produttivi.

Per questo motivo risulta di fondamentale importanza che il progetto di layout dell'officina risulti essere flessibile e a favore della movimentazione delle risorse.

### 3.5.3 IL LAYOUT DELLE AZIENDE SU COMMESSA

In una produzione reale i centri di lavoro rappresentati nella struttura di produzione del prodotto risultano essere dei luoghi fisici dati dall'insieme dei macchinari, attrezzature in cui è possibile svolgere le attività di produzione.

In un'azienda one of a kind, ossia su commessa, i layout più comuni sono quelli a postazione fissa o job shop. Trattando spesso prodotti di grandi dimensioni e pesanti da spostare, la produzione è organizzata per mantenere il prodotto, o un suo componente, fisso in una posizione finché non sarà completato; i centri di lavoro sono in realtà dei gruppi di lavoro che in sequenza si avvicinano al luogo di stazionamento del prodotto per eseguire le operazioni previste dalla PPS.

Grazie all'applicazione del Critical Path Method alla struttura di produzione del prodotto e calcolando il tempo di produzione preciso per ogni attività e centro di lavoro, è possibile definire il percorso critico della produzione, ossia la sequenza organizzata di attività che terminano nella realizzazione finale del prodotto. Questo consente di organizzare e sequenziare gli spazi e attrezzature affinché gli spostamenti di tali risorse risulti essere minimo.

Un esempio di applicazione di questa logica è il diagramma di flusso operativo, che mostra le relazioni tra tutte le attività, segnalando quali possono essere svolte in simultanea e quali dipendono dalla conclusione di un'altra.

Una volta identificate le varie fasi di realizzazione e le risorse necessarie all'avvio della produzione viene creato il layout dell'impianto.

Per un sistema di produzione su commessa il fulcro del layout deve il prodotto stesso, in quanto spesso si tratta di un bene strutturalmente complesso e di grandi dimensioni; ciò significa che a differenza dei sistemi di produzione in serie, sono le risorse produttive a muoversi attorno al prodotto: i macchinari e le attrezzature risultano essere semplici, facili da spostare e adattabili e più di una lavorazione, la manodopera deve essere formata e specializzata nella realizzazione di diverse attività.

La progettazione logistica delle diverse aree di lavorazione tende a mantenere le attività primarie vicino o facilmente collegabili alla zona di lavorazione del prodotto finale, mentre le attività secondarie vengono posizionate vicino alle attività che supportano, prestando attenzione al fatto che non interferiscano nel flusso dei materiali tra una stazione di lavorazione e l'altra.

È importante notare come lo spazio risulti essere una risorsa fondamentale, molto più che per le produzioni con sistemi automatizzati, in quanto esso è necessario per favorire la movimentazione sia dei materiali nelle fasi di produzione e montaggio che lo spostamento dei macchinari soprattutto nelle ultime fasi di assemblaggio.

#### *La progettazione del layout*

Per progettare il layout viene solitamente utilizzata un'interfaccia grafica con cui l'utente può posizionare o muovere i blocchi che rappresentano le varie stazioni lavorative.

Ogni unità viene caratterizzata da una serie di dettagli forniti grazie all'esperienza del progettista, come lunghezza e larghezza della stazione, peso, data d'inizio effettiva,

data d'inizio anticipata, data di fine effettiva e data di fine ritardata. L'utente può quindi inserire nella finestra i vari blocchi secondo i vincoli inseriti nell'interfaccia; per facilitare la progettazione si utilizzano dei colori per distinguere gli stati di progettazione dei blocchi: nero per segnalare una stazione lavorativa programmata nel periodo di tempo corrente, grigio per identificare una stazione programmata per un periodo di tempo futuro e rosso per le stazioni progettate nel periodo di tempo precedente.

È possibile inoltre visualizzare il progetto di layout in diversi periodi di pianificazione: esso risulterà essere diverso tra i vari periodo, a causa della presenza o dell'eliminazione di alcuni blocchi per il termine delle attività lavorative previste. Nel caso avvenga una sovrapposizione, sia spaziale che temporale, dei blocchi, essi diventano rossi.

Questo genere di schedulazione automatica consente di creare layout di base validi, che nel tempo possono modificati a seconda delle esperienze e delle esigenze dell'azienda.

Il modello concettuale di questo strumento è rappresentato da una griglia tridimensionale dove gli di lunghezza e larghezza corrispondono alla lunghezza e larghezza fisiche della stazione di lavoro, mentre la terza dimensione rappresenta quella temporale, al quale può essere associato un periodo di tempo definito. La grandezza delle celle della griglia è proporzionale alla precisione richiesta nelle dimensioni fisiche reali e alla scomposizione del periodo totale; è da precisare che si dovrebbe mantenere lo stesso livello di dettaglio che si può applicare in officina.

Per riuscire a rispettare i vincoli imposti si applica una procedura di blocco: tramite la seguente equazione viene assegnato un valore al periodo di vincolo:

$$CPI = \frac{Sfi}{SFrage} - \frac{Ni}{NR}$$

Per  $i=1 \dots P$ , si considera P il numero totale di periodi nella pianificazione, SF il piede quadrato richiesto per il periodo i, SF range la differenza tra massimo e minimo dei piedi quadrati richiesti nel periodo totale di pianificazione, N il numero di unità programmate nel periodo i e NR la differenza tra massimo e minimo delle unità pianificate per il periodo totale di pianificazione.

I valori verranno ordinati in modo crescente, così che il vincolo con il valore più alto stia alla base della pianificazione.

Il sistema elabora più orizzonti di pianificazione tra i quali verrà scelto quello che soddisfa il maggior numero vincoli e richieste imposti.

Di seguito vengono esposti i passaggi per l'algoritmo di progettazione:

1. Inserire i dettegli di vincolo per la pianificazione e calcolare il periodo di vincolo CP;
2. Estrarre e rimuovere il risultato di layout generato con CP più alto impostandolo nel periodo di vincolo; se l'elenco restante è vuoto, allora andare al passaggio 4;
3. Rispettando i vincoli posizionare i blocchi mancanti nei periodi di tempo successivi; se tutte le unità vengono posizionate, andare al passaggio 4, altrimenti bloccare la pianificazione;
4. Registrare il numero di vincoli e richieste rispettati e presentare il progetto.

È importante specificare che l'euristica riduce drasticamente i tempi di progettazione, ma rimane rilevante l'intervento del progettista, le cui esperienze compensano l'incapacità dell'interfaccia di gestire sempre tutti i vincoli imposti.

## CAPITOLO 4

### Analisi del layout a postazione fissa – Il caso del cantiere navale

Il layout a postazione viene descritto come l'organizzazione di un sistema produttivo che tratta prodotti di elevata varietà e volumi unitari o di minima quantità, tipico delle aziende Engineer to order, che operano quindi su commessa (one of a kind production); solitamente questo genere di layout viene applicato quando il prodotto interessato è di grandi dimensioni ed è difficile produrlo e movimentarlo tramite l'utilizzo di sistemi automatizzati. In questo caso è l'insieme delle macchine, delle attrezzature, dei mezzi e degli operatori a muoversi attorno al prodotto.

In questo capitolo verrà descritta e analizzata la progettazione del layout a postazione fissa, utilizzando il cantiere navale come esempio di progettazione.

Il processo produttivo di un cantiere navale è descritto come una grande filiera industriale, realizzata attorno ad un unico punto di riferimento: il montaggio finale della nave.

#### 4.1 ANALISI GLOBALE DEL LAYOUT

Come anticipato nel secondo capitolo, il progetto di layout è suddivisibile in cinque livelli: globale, supra, macro, micro e sub-micro.

Il primo step prevede l'analisi a livello globale e supra con la scelta dell'ubicazione del sito produttivo: il cantiere navale è influenzato principalmente dalla necessità di essere ubicato in zone con accessibilità alle vie marittime o fluviali; inoltre è da considerare che per un impianto di costruzione navale lo spazio è la risorsa di maggior importanza.

#### 4.2 ANALISI MACRO E MICRO LAYOUT

Una volta definita l'ubicazione dell'impianto, ottenuta sulla base dei vincoli imposti dal prodotto e dai vari fattori che prediligono un sito geografico rispetto un altro, si passa all'analisi macro, nelle quali si definiscono la planimetria generale dell'impianto e le macro-aree operative.

##### 4.2.1. LA PRODUCT BREAKDOWN STRUCTURE

Il processo produttivo per la costruzione di una nave inizia con la definizione della Product Breakdown Structure (PBS), ossia la scomposizione del prodotto in parti definite e quantificate, alle quali vengono assegnati dei costi e delle responsabilità; essa è suddivisa in livelli:

- Il livello zero rappresenta il prodotto nave;
- Il livello uno è la prima scomposizione della nave in parti omogenee, che ne descrivono la progettazione;
- Il livello due rappresenta un'articolazione più dettagliata delle parti scomposte nel primo livello, definendo le Group technology, ossia l'insieme delle attività che prevedono l'impiego dello stesso processo produttivo;

procedendo con i livelli si raggiungono livelli di dettaglio tali da definire le risorse necessarie per la produzione di ogni elemento.

<b>CODICE</b>	<b>DENOMINAZIONE</b>
A	Scafo
B	Rivestimenti - Isolazioni - Verniciature
C	Marine system
E	Impianti elettrici
F	Apparato motore e propulsione
G	Allestimento interno e catering
H	Propulsione
I	Attività di supporto e spese dirette

Fig. 4.1 Esempio di Product breakdown structure di 1° livello

Come riportato in Fig. 4.1, la nave è costruita secondo una logica a blocchi, ognuno dei quali è rappresentato nel primo livello della PBS e a sua volta è composto da blocchi minori descritti nel secondo livello, detto “funzionale”.

Un fattore di primaria importanza nella suddivisione e posizionamento delle aree operative è il flusso dei materiali intesi come materie prime e semilavorati. Esso dipende dalla varietà e dai volumi dei materiali in input nel cantiere, dalle materie prime come le lamiere, i profilati, a semilavorati e prodotti finiti come i motori e gli elementi di allestimento.

L’obiettivo della movimentazione e dello stoccaggio dei materiali è quello di creare un flusso costante di essi, evitando sia stock out delle risorse materiali dei fornitori che l’accumulo dei blocchi nei depositi.

#### 4.2.2 LE MACRO-AREE DEL CANTIERE

L’assegnazione delle materie prime e il processo di produttivo di ogni codice della PBS, permette raggruppare gli stessi per familiarità secondo il criterio della Group Technology. Di seguito la suddivisione delle principali aree:

##### 1. Officina navale

Nell’officina navale vengono lavorati i profilati e le lamiere che serviranno per la costruzione dello scafo.

La produzione è schematizzata come una cella chiusa dove le varie tipologie di lamiere o profilati attraverseranno le seguenti lavorazioni: tracciatura, taglio, piegatura, pulitura di lamiere per poi terminare il piccolo ciclo produttivo con l’assemblaggio delle stesse in blocchi e la conseguente finitura.

Terminata l’operazione di finitura i semilavorati vengono trasportati e stoccati per la loro successiva lavorazione presso l’area successiva.

	LAMIERA a	PROFILATO a	LAMIERA i	PROFILATO i
TRACCIATURA		①		①
TAGLIO		②	①	②
PIEGATURA	①	③	②	
PULITURA	②	④	③	③
FINITURA	③	⑤	④	④

Fig. 4.2 Esempio di From-to chart nell'officina navale

In questa cella produttiva sono richiesti particolari macchinari per le diverse tipologie di taglio applicate, inoltre la movimentazione dei materiali avviene tramite l'utilizzo di piccole gru a bandiera.

## 2. Officina Meccanica

L'officina meccanica prevede attività indipendenti dall'officina navale, che per questo motivo possono svolgersi in contemporanea.

In quest'area vengono realizzati tutti gli elementi utili per gli impianti a bordo, come tubi, valvole e pompe.

La produzione è organizzata in reparti e possiamo distinguere una serie di attività di lavorazione come il taglio, la piegatura, la saldatura e la pulitura e sabbiatura di tutti i componenti metallici realizzati.

Al termine delle lavorazioni gli scarti verranno raccolti e smaltiti in una zona apposita in ausilio all'officina.

## 3. La prefabbricazione

Quest'area prevede l'assemblaggio delle tubazioni e le lamiere per la creazione di piccoli e grandi blocchi che serviranno per l'assemblaggio finale del fondo e del fasciame.

Le seguenti fasi produttive hanno come input i semilavorati finali delle officine navale e meccanica, quindi risulta importante che questa struttura produttiva risulti essere vicina all'area di stoccaggio dei prodotti finiti delle aree sopramenzionate, cosicché il lead time risulti minimo e non vi siano sprechi di tempo e di movimentazioni dei semilavorati.

Possiamo distinguere due aree principali: la piccola e la grande fabbricazione; l'obiettivo primario è quello di procedere con entrambe le operazioni in parallelo. La piccola fabbricazione si occupa dell'assemblaggio e la saldatura di blocchi di piccole dimensioni, mentre la grande fabbricazione si occupa dell'assemblaggio di grandi blocchi che costituiranno in futuro la costruzione dello scafo.

La grande prefabbricazione in generale è organizzata secondo un layout a postazione fissa, in cui lo spazio a terra è suddiviso in isole ed ogni isola prevede l'assemblaggio di un grande blocco. All'interno di ogni isola le lavorazioni vengono svolte tramite l'utilizzo di macchinari e attrezzature maneggevoli e comuni, mentre gli spostamenti avvengono attorno al prodotto tramite l'utilizzo

di mezzi ponteggi di sicurezza, impalcature, carroponti e gru con le quali gli operatori possono muoversi completare il semilavorato.

#### 4. La sabbiatura e verniciatura

I blocchi semilavorati ottenuti dalla prefabbricazione vengono direttamente trasportati tramite l'utilizzo di carrelli su rotaie o gru in altri impianti dove verranno appositamente lavorati tramite getti di sabbia orientati in modo che la superficie del blocco venga lavorata per essere protetta dall'azione di agenti aggressivi.

#### 5. Costruzione e allestimento della nave

Al termine delle ultime rifiniture, i blocchi vengono trasportati al varo per l'assemblaggio finale del corpo della nave. Questa operazione viene eseguita tramite l'utilizzo di gru a ponte, poste attorno allo scalo, punto in cui la nave viene realizzata e messa in mare.

A seguito dell'assemblaggio della nave, vengono eseguite tutte le operazioni di allestimento e necessarie all'avviamento della nave; queste attività vengono svolte nel momento in cui la struttura è già stata depositata in banchina, così da facilitare il trasporto dei materiali all'interno della stessa.

#### 6. Test di navigazione e consegna al cliente

Al termine dell'allestimento la nave verrà avviata per il test conclusivo di navigazione, al seguito del quale avverranno eventuali interventi di correzione e manutenzione.

La nave verrà poi definitivamente consegnata al cliente.

Generalmente le materie prime e i semilavorati iniziali, necessari per la costruzione dello scafo e degli impianti ausiliari vengono stoccati all'interno di un generico magazzino di grandi dimensioni, a cui entrambe le officine di produzione potranno attingere.

Gli output dell'officina navale prima e dell'area di prefabbricazione poi, risultano essere di dimensioni difficili da manovrare, per questo motivo lo stoccaggio solitamente avviene in aree aperte e delimitate da una segnaletica a terra, in prossimità dello scalo di assemblaggio; i mezzi necessari per la loro movimentazione invece sono principalmente gru su ruote o su rotaie o carrelli elevatori.

Come già anticipato nella descrizione del processo produttivo della nave, entrambe le officine si possono considerare impianti autosufficienti, organizzati e progettati a seconda dei volumi e della varietà di materiale che devono lavorare.

Mentre le aree di assemblaggio sono zone aperte e dipendenti dagli impianti produttivi. Ciò distingue che le due macro-aree produttive è l'occupazione degli spazi: nelle officine viene data priorità all'inserimento dei macchinari per la lavorazione delle lamiere o dei prodotti per gli impianti della nave, utilizzando sistemi automatizzati per la movimentazione degli output degli impianti; nelle aree di assemblaggio invece viene lasciato molto spazio per spostamento dei blocchi tramite mezzi di grandi dimensioni, mentre le lavorazioni vengono eseguiti con attrezzature più semplici che gli operatori possono utilizzare facilmente.

Un aspetto di rilevante importante è il continuo allineamento tra queste due macro-aree, dato che le fasi di assemblaggio sono direttamente dipendenti dalle due officine: se quest'ultime non rispettano i tempi di produzione, le aree di assemblaggio subiscono un arresto delle loro attività e ritarderà la consegna della nave; se le aree di assemblaggio subiscono un ritardo della produzione, si incorre nel problema dell'aumento delle scorte WIP e dei prodotti meccanici, che rappresentano un costo rilevante per l'impianto.

#### 4.2.3 IL DIAGRAMMA DI FLUSSO DELLE ATTIVITA'

Il risultato della descrizione di ogni area produttiva e dei flussi di materie, risorse e informazioni che avvengono tra ognuna è il diagramma di flusso di un processo sintetico (Fig. 4.2) in cui viene evidenziato il percorso principale formato da attività primarie strettamente legate tra loro per la realizzazione finale della nave: esso inizia dallo scarico delle materie prime e dei prodotti che verranno lavorati nelle officine e termina nel montaggio e allestimento finale della nave.

Il grafico mostra anche le attività ausiliarie, segnalandone l'importanza a seconda del rapporto che vige tra esse e le attività primarie del sistema produttivo.

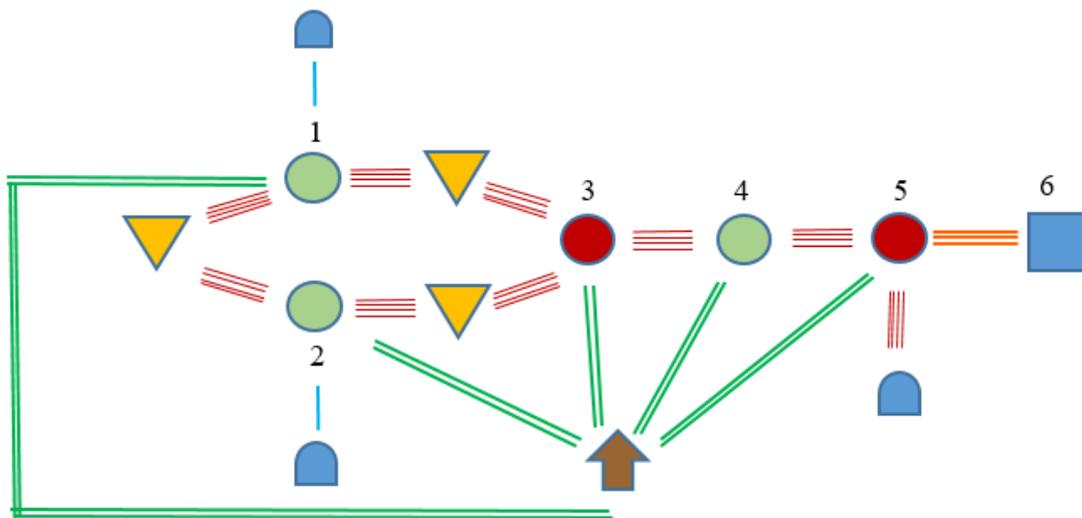


Fig. 4.3 Diagramma di flusso processo produttivo della nave

#### 4.2.4 STESURA FINALE DEL LAYOUT

Il passaggio successivo è la trasformazione del diagramma di flusso in un diagramma degli spazi in cui vengono rappresentati la posizione e lo spazio di ogni area produttiva del cantiere.

Ciò che distingue il layout a postazione fissa è la necessità di organizzare gli spazi attorno al punto di lavorazione e assemblaggio finale del prodotto, in quanto esso risulta essere solitamente di grandi dimensioni rendendo così difficile la sua movimentazione. Partendo dal punto finale di montaggio del prodotto, si posizionano a cascata le aree produttive

primarie, affinché le movimentazioni di tutti i semilavorati, spesso di grandi dimensioni, siano prive di ostacoli e di tempistiche brevi. Analizzando il caso del cantiere navale, come già anticipato nella scelta dell'ubicazione, il vertice attorno al quale viene organizzato il ciclo produttivo è il varo collegato alla banchina nella quale verrà fatta slittare la nave prima dell'allestimento; esso consiste principalmente in uno grande spazio aperto nel quale le gru possono muovere i blocchi di assemblaggio e gli operatori possono muoversi nelle impalcature attorno lo scafo per svolgere le attività di saldatura e finitura. Come si può notare in Fig. dove è rappresentata la prima stesura del layout, si è cercato di organizzare lo spazio secondo la logica rappresentata nel diagramma di flusso, rispettando le attività primarie e i flussi più importanti e voluminosi. Le attività ausiliarie vengono in seguito inserite in posizioni strategiche a seconda delle attività primarie che servono.

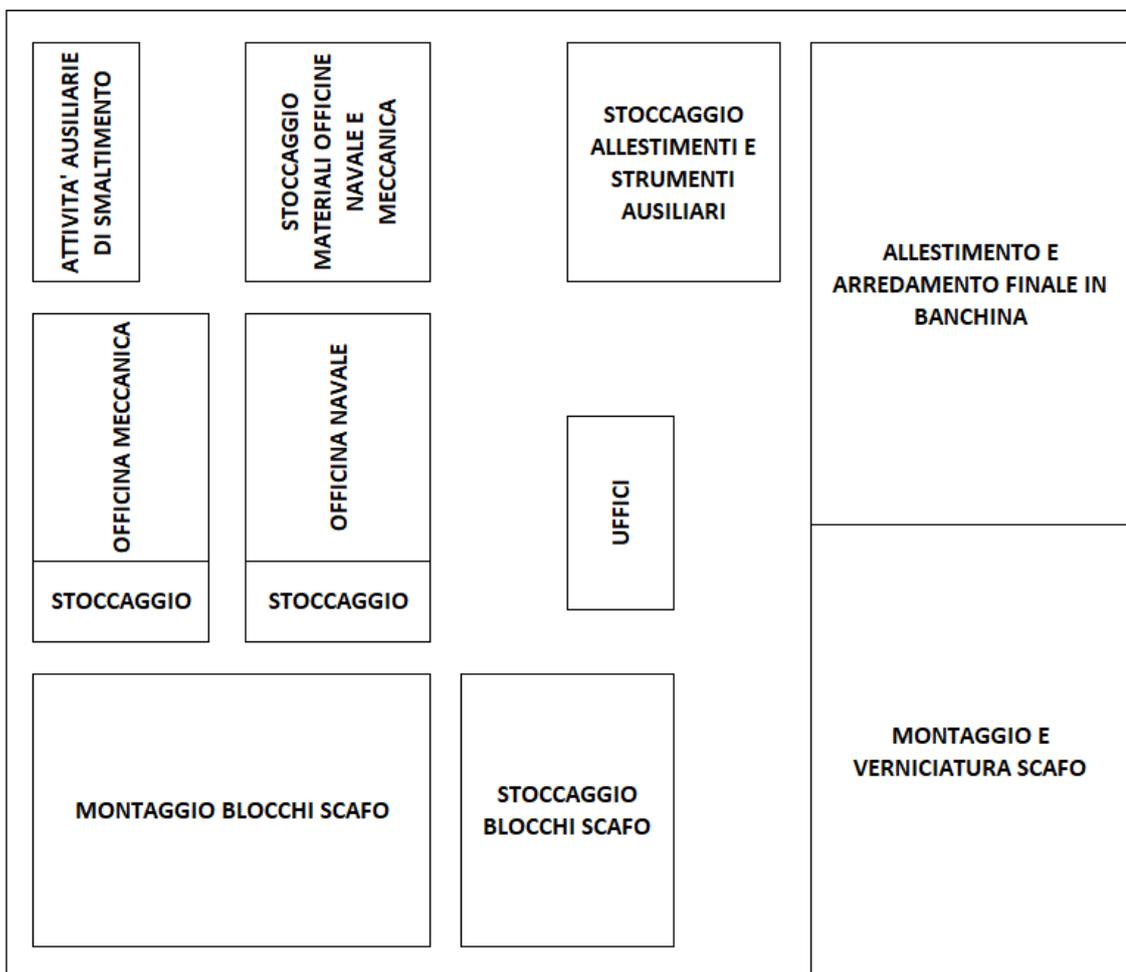


Fig.4.4 Sintesi del layout

### 4.3 CONCLUSIONI

Riepilogando il processo produttivo di una nave e la conseguente organizzazione del cantiere, possiamo notare come esso risulti essere progettato nel macro-livello come un layout a postazione fissa, caratterizzato da ampi spazi sia aperti che chiusi per favorire lo spostamento di mezzi di

grandi dimensioni, mentre nel micro-livello esso possa risultare alle volte la combinazione di altre tipologie produttive (a cella o per reparto), in cui i materiali basilari vengono lavorati tramite macchinari automatizzati e specializzati.

## CONCLUSIONE

L'obiettivo di questo elaborato è quello di descrivere il funzionamento di un'azienda Engineer to order che opera secondo una logica pull e di analizzare il modo in cui questo sistema produttivo organizza il layout dell'impianto produttivo.

Le aziende ETO trattano prodotti unici nel loro genere, progettati e realizzati basandosi sulla commessa del cliente; essi spesso risultano essere di grandi dimensioni e altamente personalizzati.

Questo genere di aziende riscontra maggiori difficoltà nel rispettare i vincoli imposti di tempo, costi e obiettivi; per questo motivo le risorse necessarie alla produzione di un bene su commessa devono risultare flessibili, affinché possano essere adattate all'aggiornamento continuo delle commesse.

Come riscontrato nel terzo capitolo, questo genere di problematiche si rivela essere parzialmente risolvibile grazie all'applicazione dei principi della filosofia lean alla produzione su commessa: sincronizzazione della produzione a seconda della domanda; produzione di un pezzo alla volta; applicazione ai flussi dei materiali una logica pull; definizione di ogni attività e di tutti gli obiettivi correlati affinché possano essere monitorate tutte le possibili deviazioni e possano essere corrette tempestivamente.

Questi cambiamenti richiedono però un cambiamento nella strategia aziendale e nella contabilità dell'impianto, in quanto si richiede di accantonare l'ammortamento dell'impianto per favorire la riduzione dei costi richiesti dalla necessità di essere flessibili nella risposta al cliente.

Parte di questa filosofia si riscontra all'interno delle euristiche e delle interfacce utilizzate per le fasi di progettazione del prodotto, pianificazione dei processi e del layout, in quanto permettono tramite i loro algoritmi di generare una sequenza produttiva che sfrutti al massimo le risorse a disposizione e riducendo gli inventari WIP.

La necessità di tale flessibilità si traduce in un sistema orientato alla puntualità della comunicazione e in un layout costruito attorno al prodotto, che sfrutta macchinari maneggevoli e semplici, manodopera formata e specializzata, così da non essere influenzato dalla rigidità che spesso presentano le macchine automatizzate e permette di agire direttamente sul prodotto.

È ciò che accade nei cantieri navali, che rappresentano processi produttivi complessi, paragonabili ad una filiera industriale; essi sono progettati con questo layout per necessità, in quanto alcune attività avvengono simultaneamente sul prodotto, come la costruzione dello scafo e l'allestimento interno.

Le macro-aree di produzione sono progettate e organizzate attorno alla banchina di assemblaggio della nave, con attività sempre più interdipendenti con il procedere del ciclo produttivo, cosa che spesso è causa di problemi nello stoccaggio dei prodotti, soprattutto quando sono di grandi dimensioni.

L'obiettivo di questi impianti è quindi quello di riuscire a ridurre al minimo lo stoccaggio dei materiali e dei blocchi di costruzione, che rappresenterebbero altrimenti il blocco del ciclo produttivo.

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Prof.ssa Ilenia Zennaro. Slide “*Lo studio del layout*”, “*Tipologie di produzione*”, corso impianti meccanici, Università di Padova;
- Prof.ssa Pamela Danese. Slide “*Sistemi di produzione*”, corso OTSPL, Università di Padova;
- De Toni, Panizzolo, Villa. “*Gestione della produzione*”;
- Yiliu Tu, Paul Dean. *One of a kind production*;
- Richard Muther. *Manuale del layout*;
- Slide *Modelli di produzione*, Università di Roma;
- Biondani Francesca. (2018). Gestione della produzione su commessa secondo i principi lean. Il caso FASP s.r.l., *tesi di laurea magistrale, corso di ingegneria gestionale, università di Padova*;
- Adrodegari F., Pinto R., Bacchetti A., Pirola F. (May 2015). Engineer-to-order (ETO) production planning and control: An empirical framework for machinery-building companies, *Production Planning and Control*. Pp. 910-932;
- Persona, A., Regattieri, A., & Romano, P. (2004). An integrated reference model for production planning and control in SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Pp. 626-640
- <http://www.payaro.it/materiale/articoli/Dispensa.pdf>;
- Brusa L., Giuffrè Editore. *Sistemi manageriali di programmazione e controllo*;
- Gatto A. *La sfida del lean a commessa*;
- Fermi S., Cerrito R., Dalla Via S. *Lean production per produzioni su commessa*;
- Slide del corso Organizzazione della produzione navale, Università di Trieste;
- Daniel A. Finke, Christopher B. Ligetti, Mark T. Traband and Allan Roy (2007). Shipyard Space Allocation and Scheduling. *Journal of Ship Production* Vol. 23, No. 4 Pp. 197-201
- C. Park , J. Seo , J. Kim , S. Lee , T.-H. Baek & S.-K. Min (2007). Assembly block storage location assignment at a shipyard: a case of Hyundai Heavy Industries. *Production Planning and Control*. Pp. 183, 180-189
- [Indice Navalmeccanica \(plis.it\)](http://www.plis.it)

## TABELLE E IMMAGINI

- Prof.ssa Ilenia Zennaro, Università di Padova. Slide “*Lo studio di layout*”, corso *Impianti meccanici*;
- Biondani Francesca. (2018). Gestione della produzione su commessa secondo i principi lean. Il caso FASP s.r.l., *tesi di laurea magistrale, corso di ingegneria gestionale, Università di Padova*;
- Yuliu Tu, Paul Dean. *One of a kind production*;
- Richard Muther. *Il manuale di layout*;
- Bonaiti Riccardo. Studio e riorganizzazione del lay-out di un’azienda specializzata nella produzione di arredi industriali. Il caso Fami srl, *tesi di laurea magistrale, corsi di ingegneria meccanica, Università di Padova*;
- [Ore Processing Factory Illustrazioni, Vettoriali E Clipart Stock – \(15,195 Illustrazioni Stock\) - Pagina 17 \(dreamstime.com\)](#)
- [Sistemi di produzione e programmazione operativa \(libero.it\)](#)

