

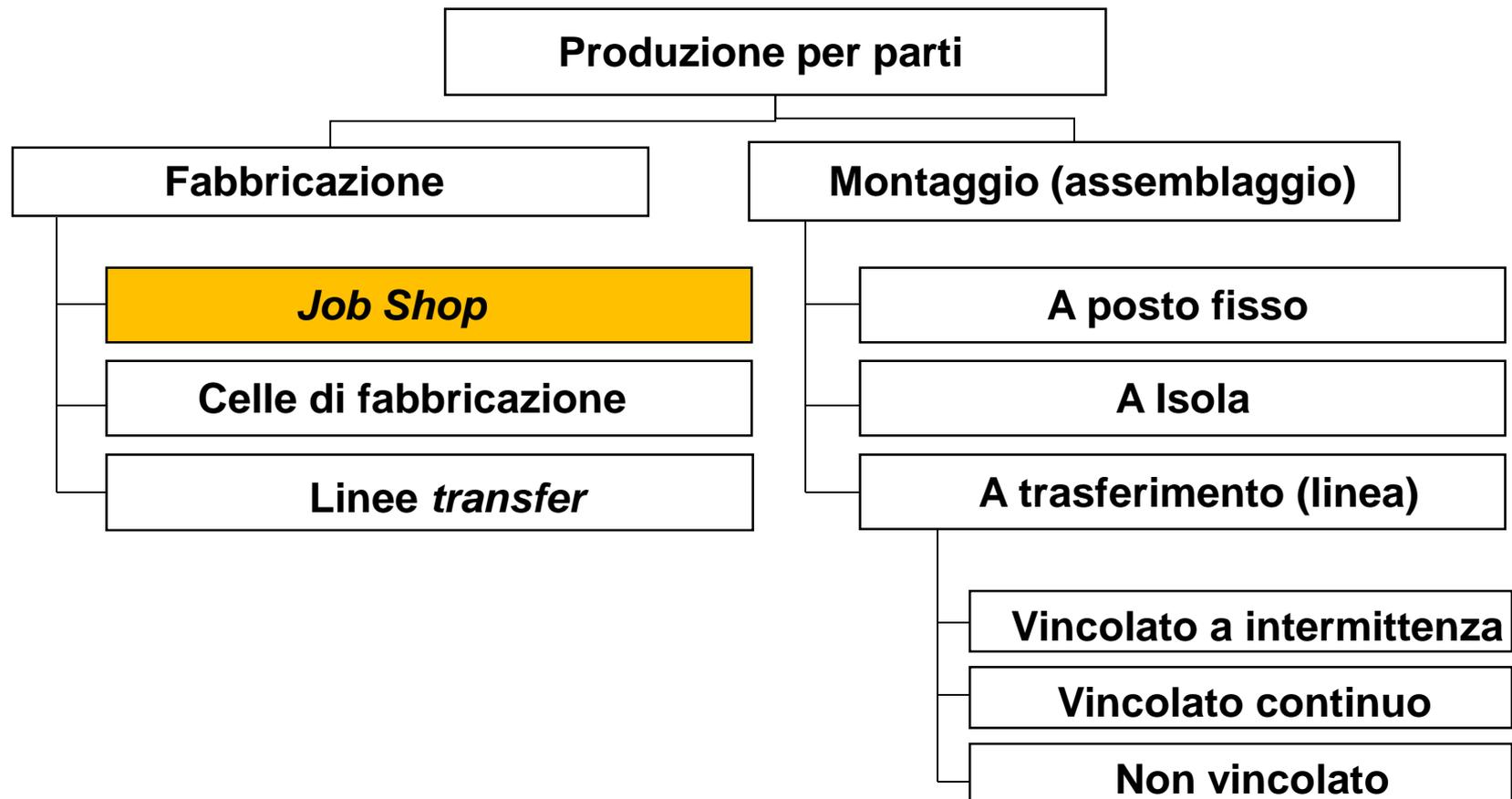


# Il dimensionamento dei sistemi di fabbricazione

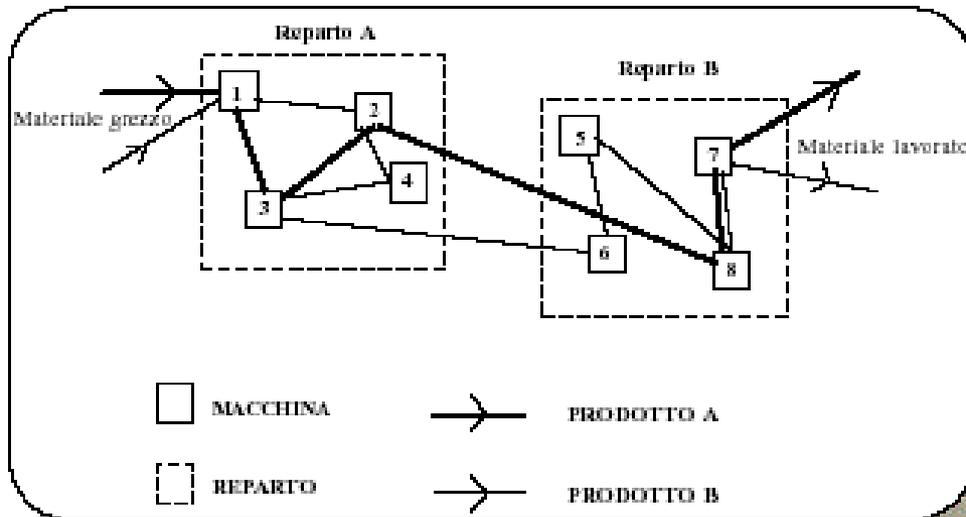
# Processo di progettazione di un sistema produttivo

- Analisi della domanda
- Industrializzazione di prodotto e processo (distinte e cicli di lavorazione)
- Scelta delle soluzioni produttive (fabbricazione e assemblaggio)
- Dimensionamento delle risorse produttive
- Progettazione del *lay-out* di sistema
  - Dimensionamento aree di lavoro
  - Dimensionamento postazioni di lavoro

# Produzione per parti (Classificazione Impiantistica)



# Il Job Shop



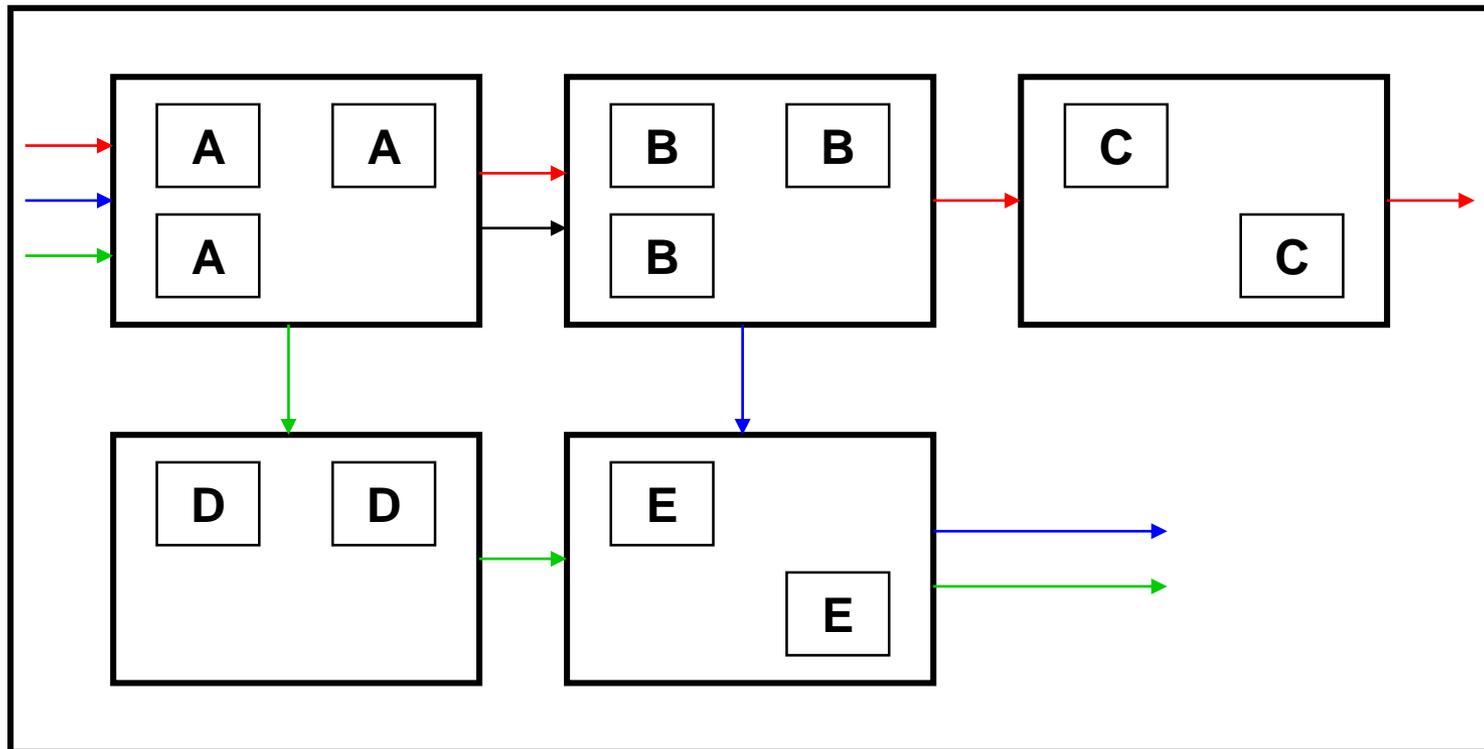
- È un sistema di fabbricazione realizzato per REPARTI nel quale sono presenti differenti macchine
  - I reparti sono organizzati per AFFINITÀ TECNOLOGICA



# Il Job Shop

Nel job shop le machine sono raggruppate a seconda dei **processi tecnologici** coinvolti (macchine simili nello stesso reparto).

Ogni prodotto<sup>(\*)</sup> ha il proprio **flusso** nel sistema.



(\*) Prodotto e parte vengono usati come se fossero sinonimi.

# Il *Job Shop*

- I flussi sono estremamente intrecciati
- La manodopera è spesso la risorsa critica (limitata)
- I prodotti spendono gran parte del loro tempo in ATTESE o CODE
- Ogni prodotto ha un proprio CICLO TECNOLOGICO che prevede il passaggio su alcune macchine
- Sono presenti spesso cicli alternativi
- La logistica è caratterizzata da alta flessibilità

# Il *Job Shop*

## ■ Difetti

- Difficoltà nel seguire i flussi dei prodotti (gestione della produzione difficoltosa)
- Elevato WIP
- Elevati tempi di attraversamento
- Scarsa saturazione delle macchine (poca efficienza)
- Livello qualitativo poco costante
- Difficoltà nel gestire la produzione
- Difficoltà nel prevedere i colli di bottiglia (colli di bottiglia dinamici)
- Estrema dipendenza delle prestazioni dal mix di prodotti da lavorare

## ■ Pregi

- Estrema flessibilità (sia a lungo che a breve termine)
- Elevata possibilità di customizzare
- Disponibilità di macchine generiche e quindi capacità di lavorare un mix potenzialmente infinito di particolari
- Disponibilità di realizzare cicli alternativi
- Le rotture hanno un impatto minimo
- Obsolescenza del sistema lenta

# Il *Job-shop*

- La capacità produttiva di un *job-shop* dipende da diversi fattori
  - Mix produttivo
  - Efficacia del sistema di programmazione e controllo della produzione
  - Dimensione dei lotti di produzione
  - Cicli di lavorazione (rigidi o flessibili)
  - Tempi di attrezzaggio (dipendenti o meno dalla sequenza dei lavori)

# Esempio



# Esempio

<https://www.youtube.com/watch?v=gJWMCUMdO4Q>

<https://www.youtube.com/watch?v=V-9eMmfThD8>

## Domande tipiche circa il dimensionamento

- Di quante macchine ho bisogno per soddisfare la domanda?
- Di quanti operatori ho bisogno per soddisfare la domanda?
- Dove si trova il collo di bottiglia?
- Cosa succede se il mix produttivo cambia?
- Cosa succede se una macchina si rompe?
- Quali sono gli effetti di riduzione del tempo di set up o riduzione della dimensione dei lotti?
- Qual è l'effetto che si registra nell'introdurre una nuova macchina nel sistema?
- .....

# Dimensionamento di un *job-shop* (1/8)

1. Individuazione del mix produttivo di riferimento
2. Sviluppo dei cicli di lavorazione dei pezzi
3. Individuazione delle macchine necessarie
4. Definizione dei carichi di lavoro per tipo di pezzo e per macchina
5. Calcolo fabbisogno ore produttive (per ogni reparto)
6. Calcolo delle ore disponibili (per ogni reparto)
7. Calcolo del numero di macchine (per ogni turno)
8. Calcolo del numero di turni più conveniente

# Dimensionamento di un *job-shop* (2/8)

- Individuazione del mix produttivo di riferimento
  - Identificazione dei tipi-pezzo
  - Determinazione della domanda annua
  - Calcolo del lotto di produzione
- Sviluppo dei cicli di lavorazione dei pezzi
  - Per ogni tipo-pezzo si deve stendere il ciclo di lavorazione
  - Se possibile vanno individuate delle macchine alternative

# Dimensionamento di un *job-shop* (3/8)

- Individuazione delle macchine necessarie
  - Sulla base dei cicli di lavorazione, è possibile identificare le tipologie di macchine necessarie per realizzare il mix di riferimento
- Definizione dei carichi di lavoro per tipo di pezzo e per macchina
  - Somma, per ogni tipo di pezzo del mix, dei tempi delle operazioni che devono essere effettuate su ogni macchina

# Dimensionamento di un *job-shop* (4/8)

- Calcolo del fabbisogno di ore produttive annue per ogni tipo di macchina  $i$

$$NH_i = \sum_{j=1}^N \left( \frac{T_{ij} \cdot Q_j}{3600 \cdot (1 - SR_{ij})} + \frac{STT_{ij}}{60} \cdot NL_j \right) \cdot \frac{1}{A_i} \cdot \frac{1}{HC_i} \cdot \frac{1}{TR_i}$$

dove:

- $i$  = indice del tipo-macchina considerato
- $j$  = indice del tipo-pezzo
- $N$  = ampiezza del mix di produzione (numero di tipi-pezzo diversi)
- $T_{ij}$  = tempo di lavorazione unitario [sec/pz]
- $Q_j$  = quantità da produrre del tipo-pezzo  $j$  [pz/anno]
- $1 - SR_{ij}$  = coefficiente di scarto ( $0 \leq SR_{ij} < 1$ )
- $STT_{ij}$  = tempo di attrezzaggio [min/setup]
- $NL_j$  = numero di lotti all'anno di pezzi  $j$
- $A_i$  = disponibilità ( $0 < A_i \leq 1$ )
- $HC_i$  = coefficiente uomo, di rendimento della manodopera addetta alle macchine di tipo  $i$  ( $0 < HC_i \leq 1$ )
- $TR_i$  = trial rate ( $0 < TR_i \leq 1$ )

# Dimensionamento di un *job-shop* (5/8)

- Calcolo delle ore annue disponibili per la produzione per ogni tipo-macchina  $i$

$$AH_i(s) = WH_i(s) \cdot SE$$

dove:

- $WH_i(s)$  = ore lavorative all'anno (funzione del numero  $s$  di turni al giorno)
- $SE$  = Coefficiente di programmazione (efficienza di programmazione della produzione,  $0 < SE \leq 1$ ).

# Dimensionamento di un *job-shop* (6/8)

- Calcolo del numero di macchine di tipo  $i$  necessarie per la produzione del mix di riferimento, con le quantità annue assegnate

$$NM_i(s) = \frac{NH_i}{AH_i(s)}$$

Il valore così ottenuto deve ovviamente essere arrotondato all'intero superiore o inferiore, tenendo conto di:

- costo del tipo di macchina
- tasso di saturazione del tipo di macchina
- possibilità di ricorrere alla subfornitura per alcuni tipi di pezzo
- possibilità di impiegare dei cicli alternativi per alcuni tipi di pezzo

# Dimensionamento di un *job-shop* (7/8)

## ■ Calcolo del numero di turni più conveniente

*Trade-off* tra

### □ Uguale numero di turni per i reparti

- Dimensionamento non ottimale delle macchine
- Minore saturazione e sbilanciamenti tra reparti

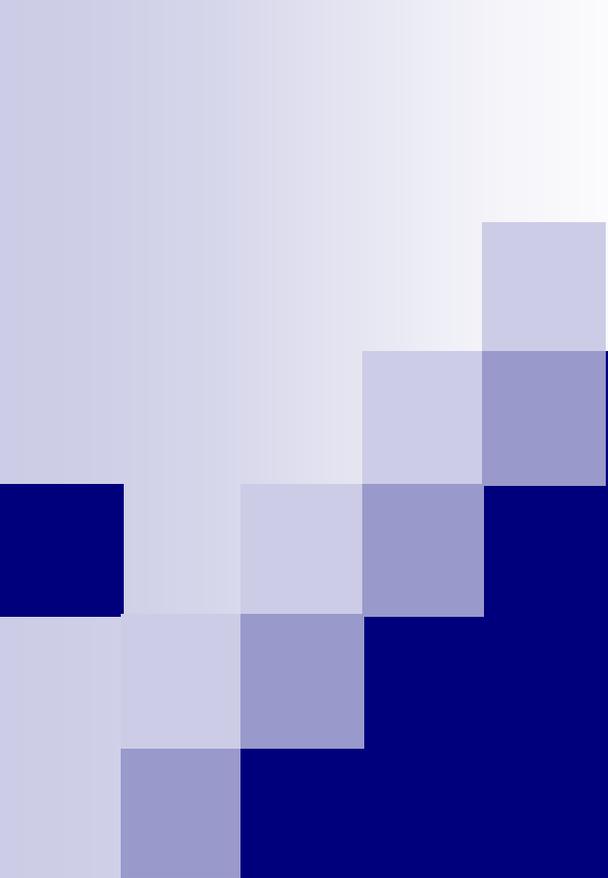
### □ Diverso numero di turni per i reparti

- Necessità di magazzini di disaccoppiamento
- Maggiori difficoltà organizzative
- Maggior costo di esercizio delle risorse condivise

# Dimensionamento di un *job-shop* (8/8)

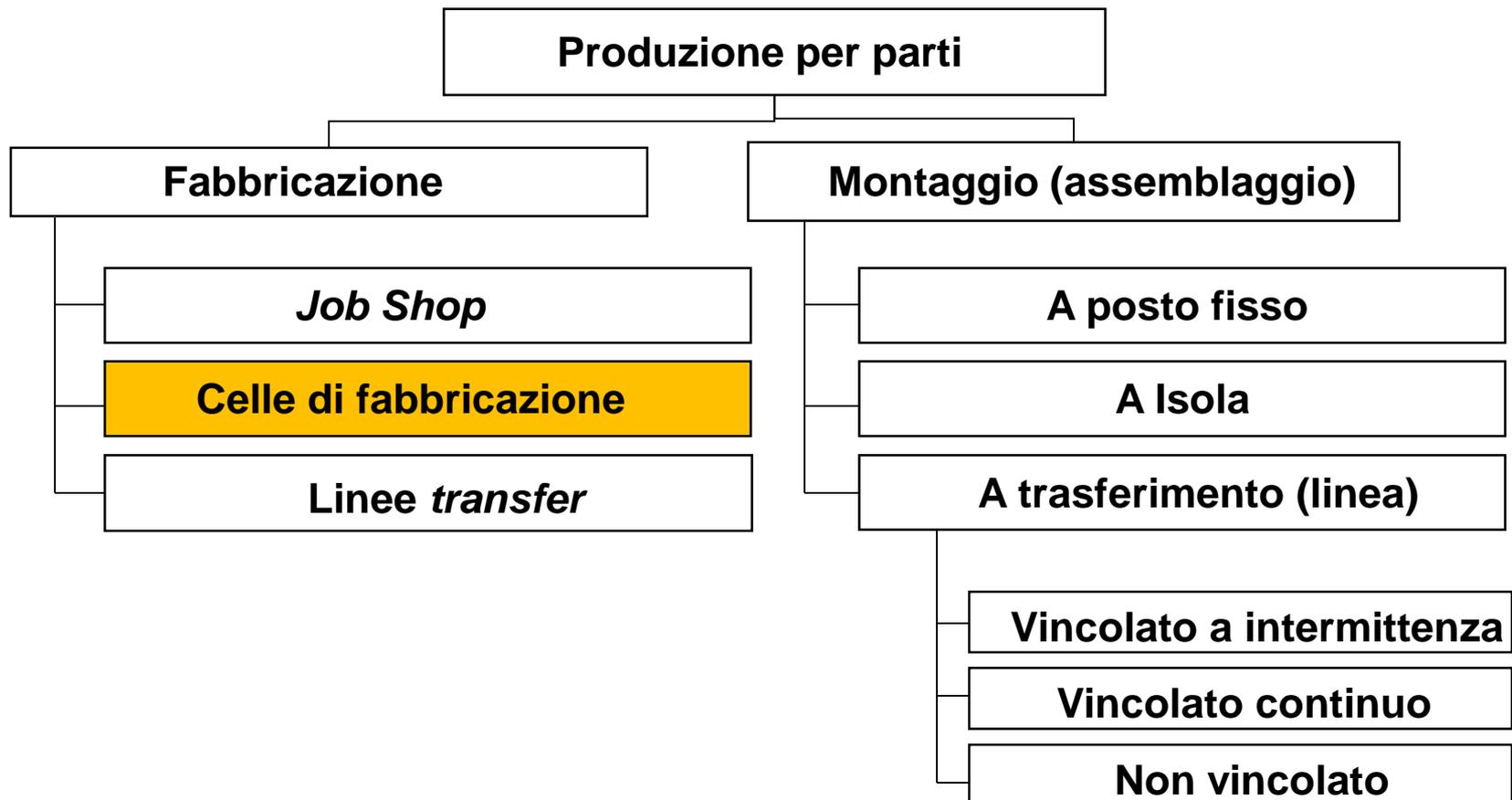
- Si definisce tasso di saturazione del tipo-macchina  $i$  il valore (compreso tra 0 e 1)

$$ts_i = \frac{NM_i}{intero\_succ(NM_i)} .$$

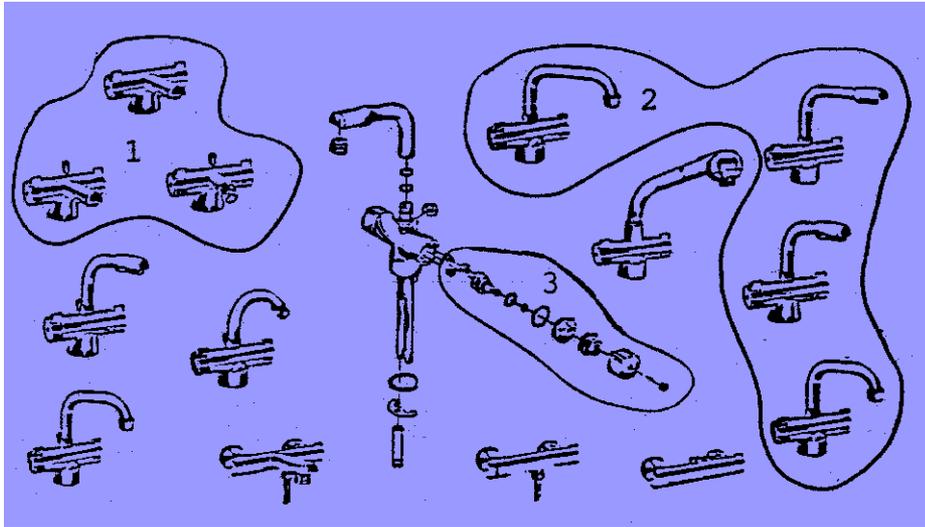


# Celle di fabbricazione

# Produzione per parti (Classificazione Impiantistica)

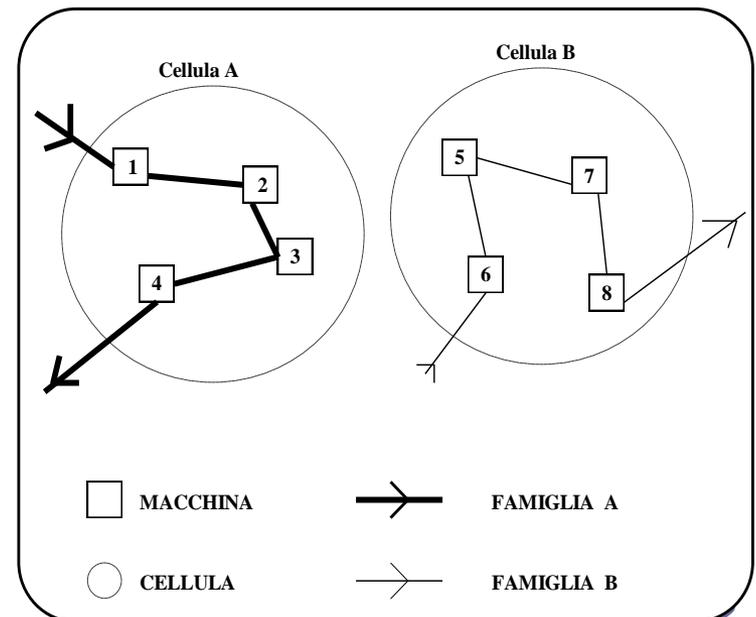
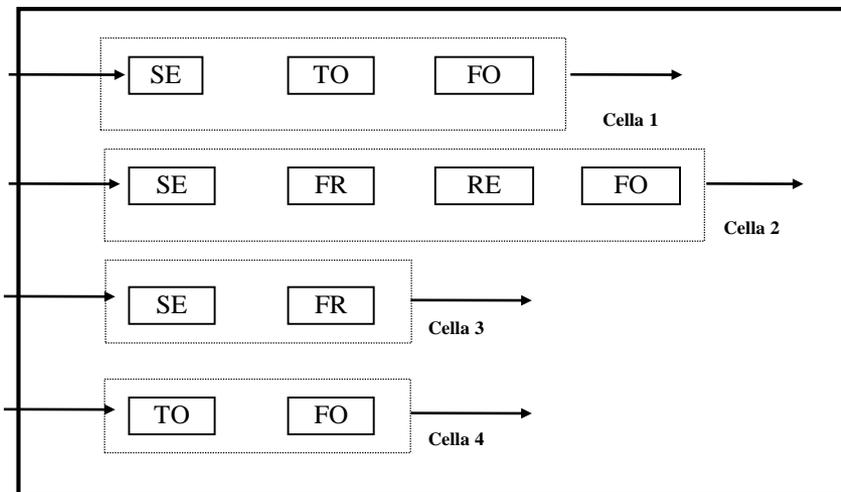


# Le celle di fabbricazione



In una cella sono raggruppate tutte le macchine che servono per effettuare le lavorazioni necessarie alla produzione di una famiglia di prodotti

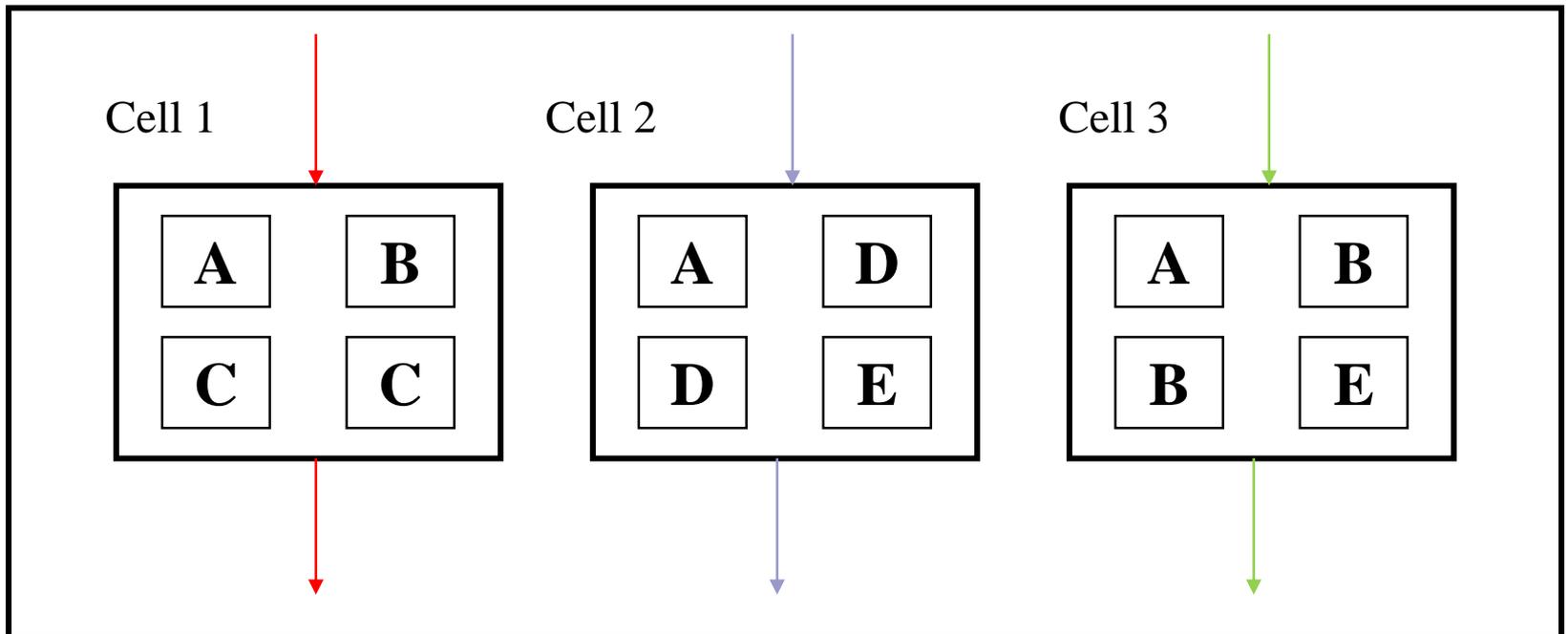
Le macchine sono disposte per omogeneità di PRODOTTI lavorati (FAMIGLIE)



# Le celle di fabbricazione

I prodotti sono raggruppati in **famiglie di prodotti** e le machine sono raggruppate in **celle**.

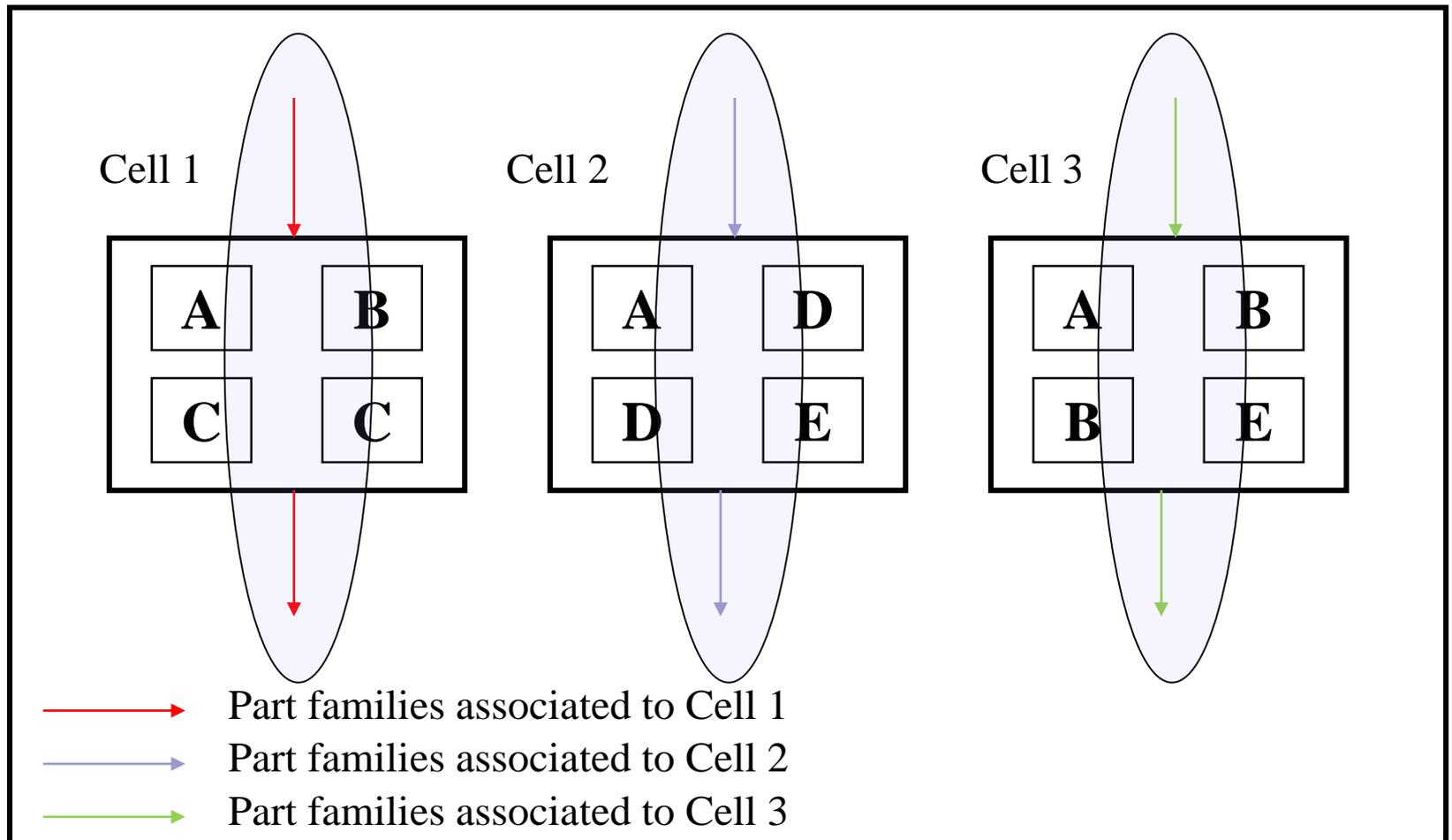
Le macchine sono suddivise sulla base del **processo richiesto** dalle famiglie di prodotti (differenti processi, differenti macchine all'interno della cella)



(\*) Prodotto e parte vengono utilizzati come sinonimi

# Le celle di fabbricazione

Ogni prodotto ha il proprio percorso all'interno della cella (nel caso in cui le celle siano indipendenti e non venga richiesto flusso inter-cella).





## Altri esempi

- <https://www.youtube.com/watch?v=E54HAZWQpys>
- [https://www.youtube.com/watch?v=c50\\_IAlfzsk](https://www.youtube.com/watch?v=c50_IAlfzsk)

# Le celle di fabbricazione

## ■ Difetti

- Sbilanciamento dei carichi di lavoro tra le varie celle
- Difficoltà nell'ottenere celle completamente autonome
- Difficoltà nell'organizzare l'intera produzione in celle
- Difficoltà nel gestire operazioni fuori dalla cella
- Elevati costi di implementazione (per la revisione del *lay-out*)
- Problemi a gestire turbolenze di mix
- In alcuni casi, più macchine di quelle richieste per un job-shop
- Problemi legati alla rottura di macchine

## ■ Pregi

- *Lead time* (tempo di attraversamento) più ridotti
- Razionalizzazione del flusso di materiale
- WIP ridotto
- Orientamento al cliente
- Manodopera fungibile
- Riduzione dei *setup*
- Miglior utilizzo dello spazio
- Maggior saturazione
- Gestione della produzione più semplice
- Team work
- Lavoro più vario per gli impiegati
- Maggior controllo sulla qualità

# *Group Technology*

La ***Group Technology*** è un strumento metodologico per la razionalizzazione dei flussi produttivi che ha l'obiettivo di **allocare le famiglie di prodotti alle celle di fabbricazione** attraverso:

- l'identificazione, la classificazione e il raggruppamento di parti caratterizzate da similitudini morfologiche e/o tecnologiche;
- l'identificazione e il raggruppamento in sottoinsiemi di macchine (celle) dotati della capacità tecnologica necessaria per processare le famiglie di prodotti.

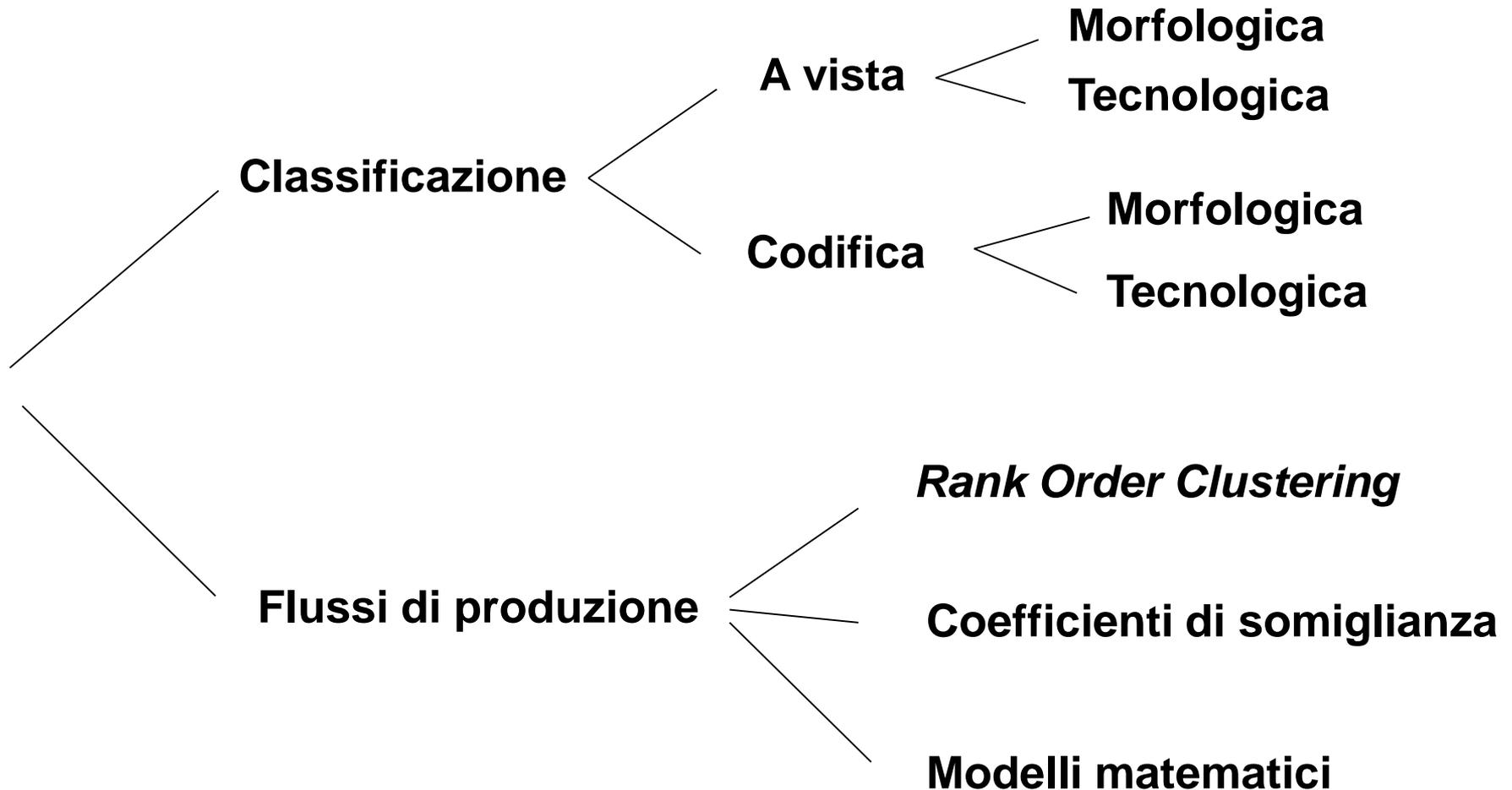
# Passi logici di un progetto di GT

1. Raccolta dati sulle tipologie dei pezzi, sui cicli tecnologici e sulle quantità prodotte.
2. Classificazione sistematica dei pezzi.
3. Razionalizzazione e standardizzazione dei progetti (in particolare dei disegni costruttivi).
4. Razionalizzazione e standardizzazione dei cicli tecnologici.
5. Raggruppamento dei pezzi simili in famiglie.
6. Raggruppamento delle macchine in celle e assegnazione delle famiglie alle celle.
7. Dimensionamento delle singole celle.
8. Razionalizzazione del processo di fabbricazione e interventi riorganizzativi.

# I dati rilevanti

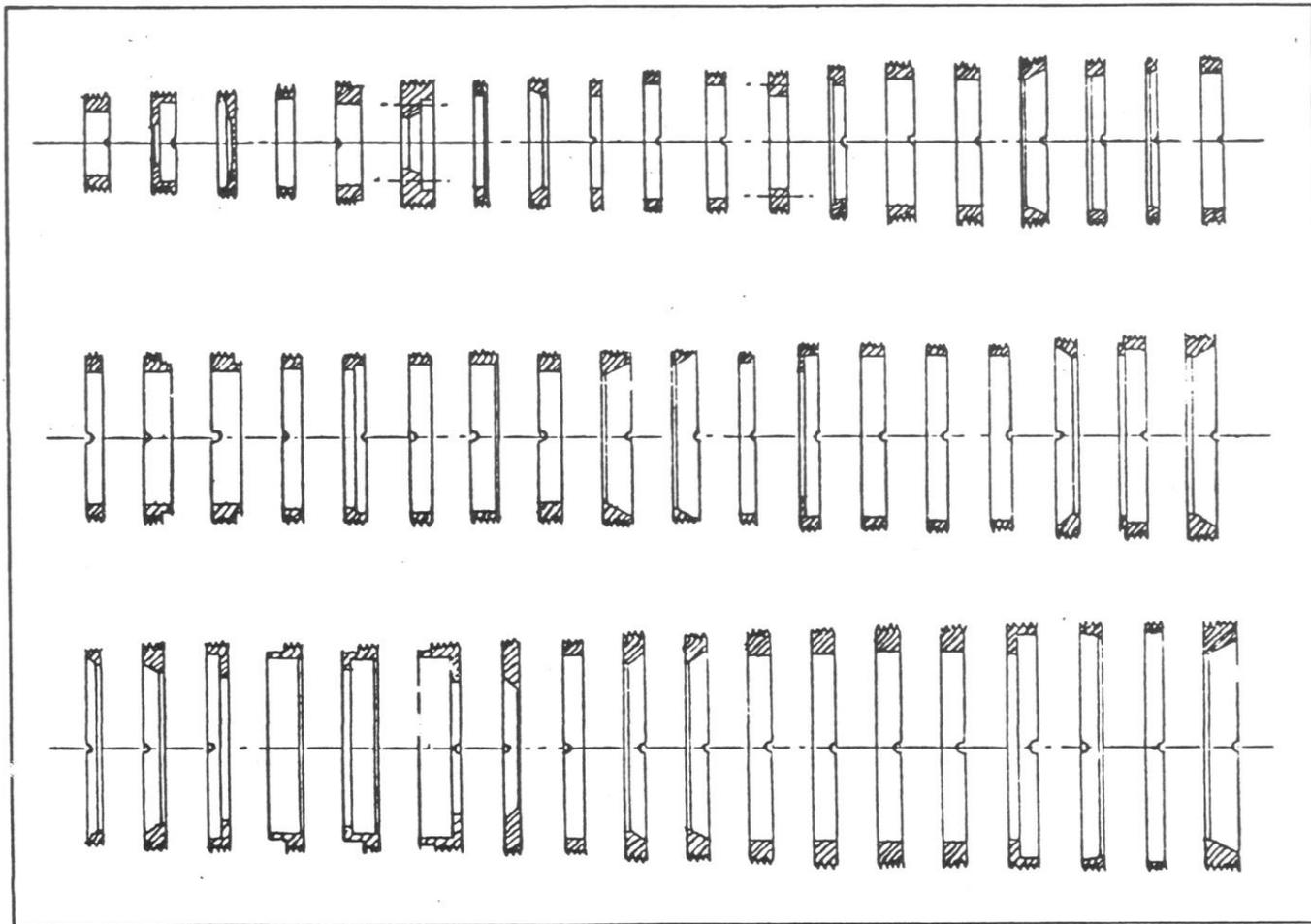
- Informazioni morfologiche e tecnologiche sulle parti oggetto dello studio;
- Cicli di produzione;
- Risorse di produzione;
- Volumi produttivi.

# Metodi di raggruppamento



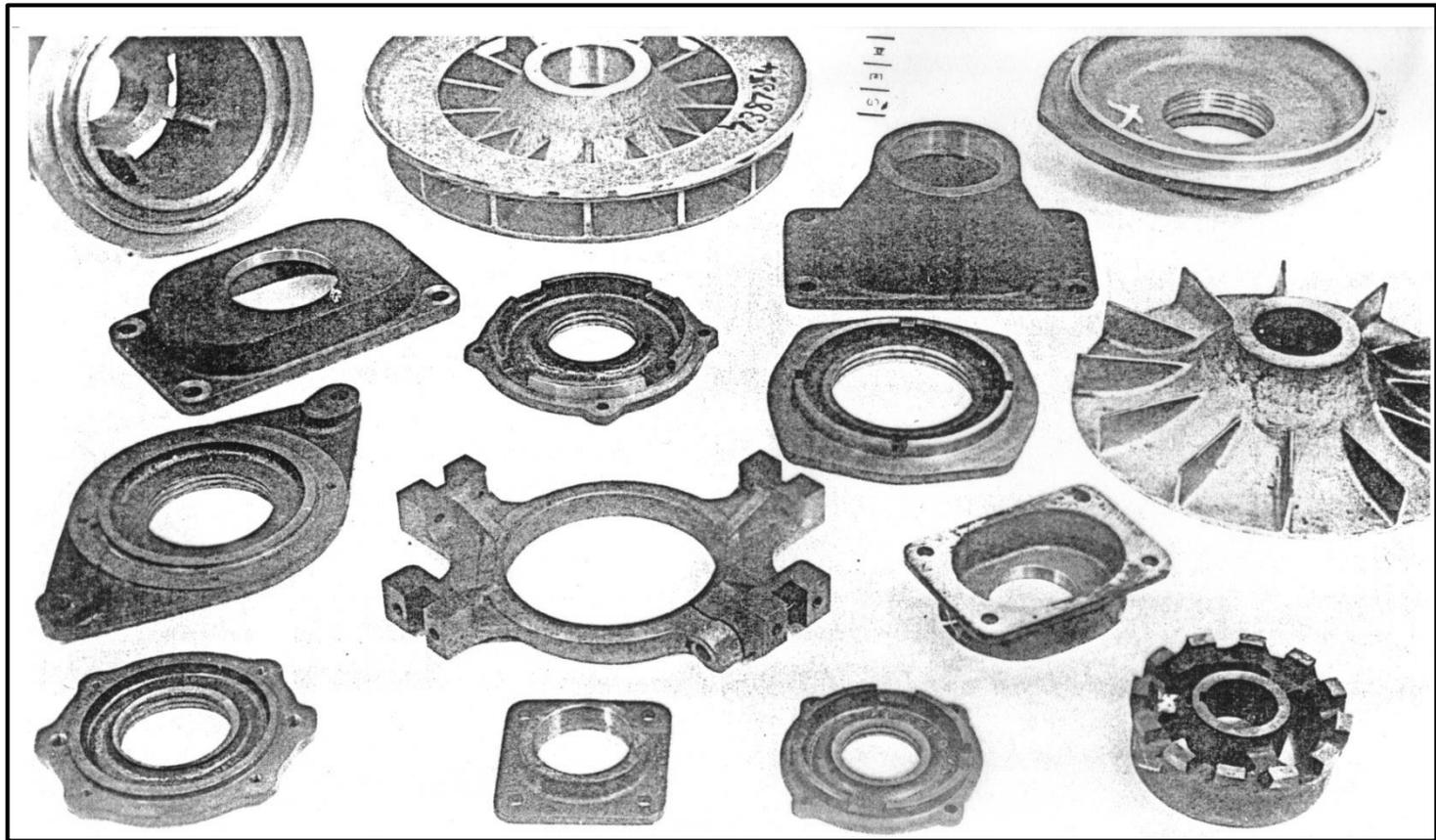
# Metodi di raggruppamento

## □ morfologica



# Metodi di raggruppamento

□ tecnologica



# Classificazione a vista

Si tratta di un metodo:

- Economico;
- Di rapida implementazione.

Per contro è un metodo:

- Soggettivo e impreciso
- Poco ripetibile
- Fattibile solo se il numero di pezzi è piccolo;
- Potrebbe non cogliere gli aspetti rilevanti.

# Metodi di codifica

Adottano un sistema di codifica delle caratteristiche del pezzo, in modo che la classificazione possa essere fatta in modo automatico sulla base del codice assegnato

Si tratta di metodi:

- Poco dipendenti dalla persona che codifica;
- Ripetibili;
- Accessibili su PC con chiavi di ricerca;
- Pressoché illimitati nel numero di pezzi.

Per contro sono metodi:

- Più costosi;
- Richiedenti maggiori tempi di implementazione.

# Tipologie di sistemi di codifica

- Sistemi con codice gerarchico
  - struttura del codice ad albero nel quale ogni cifra dettaglia le informazioni contenute nella cifra precedente
- Sistemi con codice parlante
  - il significato di ciascuna cifra dipende solo dalla sua posizione all'interno del codice e non dal valore delle cifre precedenti
- Sistemi con codice misto
  - presentano una parte gerarchica e una parte parlante

# ❑ Codice gerarchico



Part

EXCEPT SPECIFIED UNDER 38000	METALLIC	EXCEPT CAST FORGED STAMPED	STRAIGHT OR FLAT	ROUND	PLAIN		31000
				ROUND	OTHER THAN PLAIN		32000
			OTHER THAN ROUND			33000	
			BENT			34000	
	CAST, FORGED, STAMPED			35000			
	NON METALLIC	PLASTIC			36000		
		OTHER THAN PLASTIC			37000		

Coding system



Part code

# Sistemi con codice parlante

## ■ Vantaggi:

- Facili da imparare, da utilizzare e modificare
- Adatti per memorizzare caratteristiche tecnologiche

## ■ Svantaggi:

- Lunghezza eccessiva in quanto non sintetici

# □ Codice Parlante



Part

		Form Code					Supplementary Code			
		1st digit Part class	2nd digit Main shape	3rd digit Rotational surface machining	4th digit Plane surface machining	5th digit Auxiliary holes, gear teeth, forming	Digit			
						1	2	3	4	
0	Rotational parts	$\frac{L}{D} \leq 0.5$	External shape, external shape elements	Internal shape, internal shape elements	Plane surface machining	Auxiliary holes	Dimension	Material	Original shape of raw material	Accuracy
1		$0.5 \leq \frac{L}{D} \leq 3$								
2		$\frac{L}{D} \geq 3$								
3		$\frac{L}{D} \leq 2$ with deviation	Main shape	Rotational machining, internal and external shape elements	Auxiliary holes, gear teeth, and forming					
4		$\frac{L}{D} > 2$ with deviation								
5	Special									
6	Nonrotational parts	$\frac{A}{B} \leq 3, \frac{A}{C} \geq 4$ Flat parts	Main shape	Principal bores	Plane surface machining	Auxiliary holes, gear teeth, and forming				
7		$\frac{A}{B} > 3$ Long parts	Main shape							
8		$\frac{A}{B} \leq 3, \frac{A}{C} \geq 4$ Cubic parts	Main shape							
9		Special								

Coding system

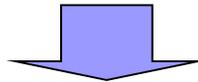


Part code

# Metodi di raggruppamento basati sull'analisi dei flussi produttivi

## ■ Dati iniziali:

- Macchine disponibili
- Cicli tecnologici dei pezzi da realizzare
- Matrice pezzi-macchine di partenza



MACCHINE	PEZZI							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	1	0	0	1	0	0	0
F	1	1	0	0	1	0	0	0
C	0	1	1	0	0	1	1	0
E	0	0	1	1	0	1	1	0
B	0	0	0	1	0	0	0	1
D	0	0	0	1	0	0	0	1

$a_{ij} = 1$  se il pezzo  $j$  visita la macchina  $i$   
 $a_{ij} = 0$  altrimenti

# Algoritmo ROC (*Rank Order Clustering*)

## Passi dell'algoritmo (King)

1. Per ogni pezzo indicare se lavorato (1) o meno (0) su ogni macchina
2. Leggere ogni riga come un numero binario: associare a ogni colonna un peso dato da  $2^{n-m}$  con n pari al numero di pezzi ed m che varia da 1 a n
3. Attribuire a ogni riga il numero ottenuto sommando i valori dei pesi delle colonne dove compare l'entrata 1
4. Ordinare le righe dall'alto in basso secondo valori decrescenti dei numeri attribuiti
5. Leggere ogni colonna come un numero binario: associare a ogni riga un peso dato da  $2^{i-k}$  con i pari al numero di macchine e k che varia da 1 a i
6. Attribuire a ogni colonna il numero ottenuto sommando i valori dei pesi delle righe dove compare l'entrata 1
7. Ordinare le colonne da sinistra a destra secondo valori decrescenti dei numeri attribuiti
8. Se nei passi 4 e 7 non si è reso necessario alcuno scambio, andare al passo 9, altrimenti tornare al passo 2.
9. Fine.

# Esempio

## Calcolo valore per riga

$$1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 200$$

MACCHINE	PEZZI								valore
	1	2	3	4	5	6	7	8	
A	1	1	0	0	1	0	0	0	200
B	0	0	0	1	0	0	0	1	17
C	0	1	1	0	0	1	1	0	102
D	0	0	0	1	0	0	0	1	17
E	0	0	1	1	0	1	1	0	54
F	1	1	0	0	1	0	0	0	200
valore									

## Ordinamento per riga

## Calcolo valore per colonna

$$1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 56$$

MACCHINE	PEZZI								valore
	1	2	3	4	5	6	7	8	
A	1	1	0	0	1	0	0	0	200
F	1	1	0	0	1	0	0	0	200
C	0	1	1	0	0	1	1	0	102
E	0	0	1	1	0	1	1	0	54
B	0	0	0	1	0	0	0	1	17
D	0	0	0	1	0	0	0	1	17
valore	48	56	12	7	48	12	12	3	

## Ordinamento per colonna

MACCHINE	PEZZI								valore
	2	1	5	3	6	7	4	8	
A	1	1	1	0	0	0	0	0	224
F	1	1	1	0	0	0	0	0	224
C	1	0	0	1	1	1	0	0	156
E	0	0	0	1	1	1	1	0	30
B	0	0	0	0	0	0	1	1	3
D	0	0	0	0	0	0	1	1	3
valore	56	48	48	12	12	12	7	3	

# Esempio

MACHINE TYPE	PRODUCTS								Decimal number
	2	1	5	3	6	7	4	8	
A	1	1	1	0	0	0	0	0	224
F	1	1	1	0	0	0	0	0	224
C	1	0	0	1	1	1	0	0	156
E	0	0	0	1	1	1	1	0	30
B	0	0	0	0	0	0	1	1	3
D	0	0	0	0	0	0	1	1	3
<b>Decimal n.</b>	<b>56</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	

Eccezioni:

- Flusso inter-cella
- Duplicazione delle macchine
- Percorsi alternativi
- Outsourcing

Celle:

- 3 potenziali celle

# Metodi basati su coefficienti di similitudine

## *Single Linkage Clustering Algorithm (SLCA)*

1. Partendo dalla matrice parti/macchine, calcolare i coefficienti di similitudine  $S_{ij}$  (coefficiente di Jacquard/McAuley) tra le parti  $i$  e  $j$ :

$$S_{ij} = \frac{a_{ij}}{(a_{ij} + b_{ij} + c_{ij})}$$

**$a_{ij}$  = numero di macchine che lavorano entrambe le parti**

**$b_{ij}$  = numero di macchine che lavorano solo la parte  $i$**

**$c_{ij}$  = numero di macchine che lavorano solo la parte  $j$**

2. Costruire la matrice di correlazione tra le parti. Maggiore è il valore del coefficiente di similitudine, maggiore è la somiglianza tra le parti
3. Fissato un valore soglia di similitudine, raggruppare le parti che rispettano tale valore (p.e. dendrogramma)

# Metodi basati su coefficienti di somiglianza

## *Single Linkage Clustering Algorithm (SLCA)*

Matrice parti/macchine di partenza

Parti	Macchine											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A			1	1				1				
B						1			1			1
C		1	1							1	1	
D		1	1				1			1		
E	1			1				1				
F		1	1				1				1	
G					1	1						
H	1			1								
I		1					1			1	1	

# Metodi basati su coefficienti di somiglianza

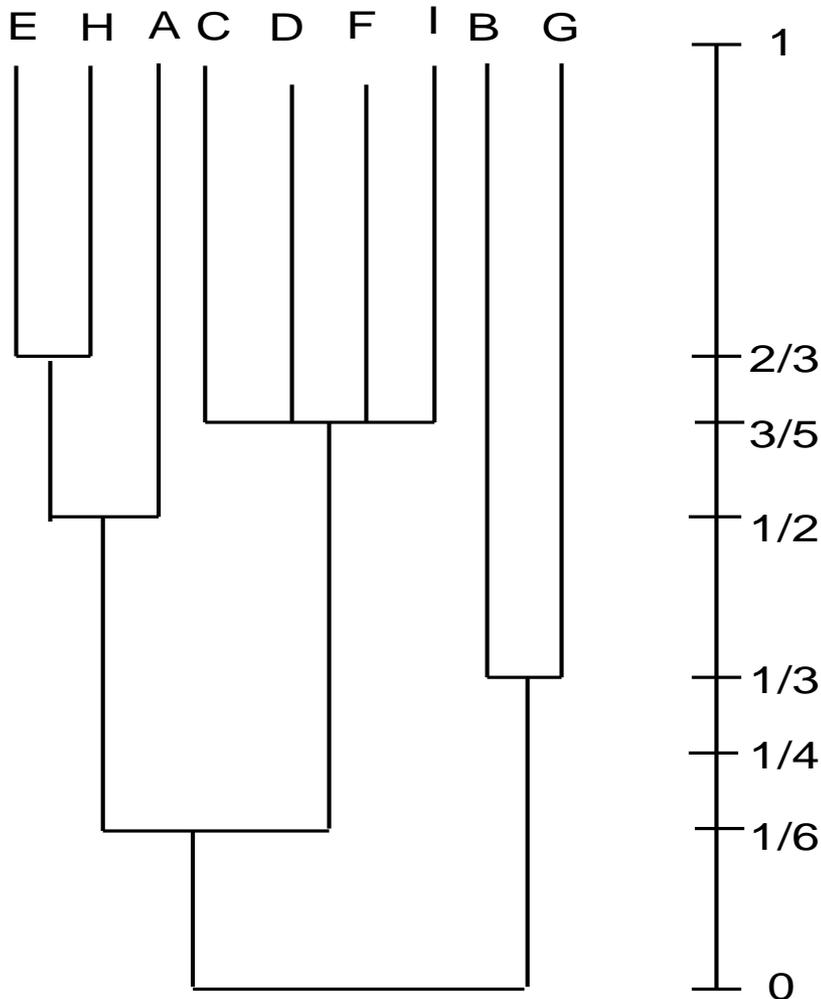
## *Single Linkage Clustering Algorithm (SLCA)*

Matrice coefficienti di similitudine di McAuley:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	-	0	1/6	1/6	1/2	1/6	0	1/4	0
B		-	0	0	0	0	1/3	0	0
C			-	3/5	0	3/5	0	0	3/5
D				-	0	3/5	0	0	3/5
E					-	0	0	2/3	0
F						-	0	0	3/5
G							-	0	0
H								-	0
I									-

# Metodi basati su coefficienti di somiglianza

## *Single Linkage Clustering Algorithm (SLCA)*



### Dendrogramma

Per coefficiente di similitudine  $2/3$  si raggruppano le prime due parti. Con coefficienti di similitudine più bassi si raggruppano più parti



# Job-shop. Esercizio

A small manufacturing company is currently designing a new production system, organized in job shops. It is installing 3 different departments (M1, M2, M3), which will serve to produce at least 3 types of product (A, B, C). We have the following information:

Product	Production process (Department, Cycle Time [min / pcs])	Average annual demand (pieces)
A	(M1, 15) – (M2, 10)	15000
B	(M1, 9) – (M3, 8)	25000
C	(M2, 17) – (M3, 7)	35000

The production system will work 3 shifts of 7 hours per day, 240 days/year. Departments have different coefficient. M1 considers a human coefficient (HC) of 0.96 and an Availability (A) of 0.96. M2 considers a human coefficient (HC) of 0.95 and an Availability (A) of 0.93. M3 considers a human coefficient (HC) of 0.91 and an Availability (A) of 0.93. The scheduling efficiency (SE) must be set equal to 0.82. M1 scrap rates (SR) is equal to 0.07, M2 scrap rates is equal to 0.05, while M3 scrap rates is equal to 0.09. In M1 department, setup lasts 2.8 hours for each change of production; in M2 setup lasts 2.3 hours for each change of production; in M3 setup lasts 1.9 hours for each change of production. It is expected to produce average batches of about 1000 pieces (regardless of the type of product). The objective is to determine the number of machines and the rate of saturation for each department.

# ROC. Esercizio

The following matrix identifies the bill of process of the  $j$ -th products on the  $i$ -th machines. The cycles have been defined with the objective of designing a manufacturing system organized in cells.

There are 5 types of products to be made, and for the realization of all bills of process of different products are required 7 different types of machine.

The objectives are: (i) the number of cells for the system; (ii) the types of machine to be installed in each cell.

		j-th product				
		1	2	3	4	5
i-th machine	1	0	1	1	0	1
	2	1	0	0	1	0
	3	0	1	1	0	0
	4	1	0	0	1	0
	5	1	0	0	0	0
	6	1	0	0	1	0
	7	0	0	1	0	1