



Progettazione del layout di un impianto industriale

Introduzione

Il Facility Layout Planning

- **Consiste nella determinazione dell'organizzazione "fisica" di un impianto**

Risultato del FLP è il disegno CAD del layout dell'impianto

- **Riguarda la ricerca della più efficiente disposizione dei reparti (aree di attività) all'interno di un dato edificio e dell'area in esso disponibile**

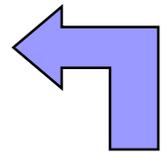
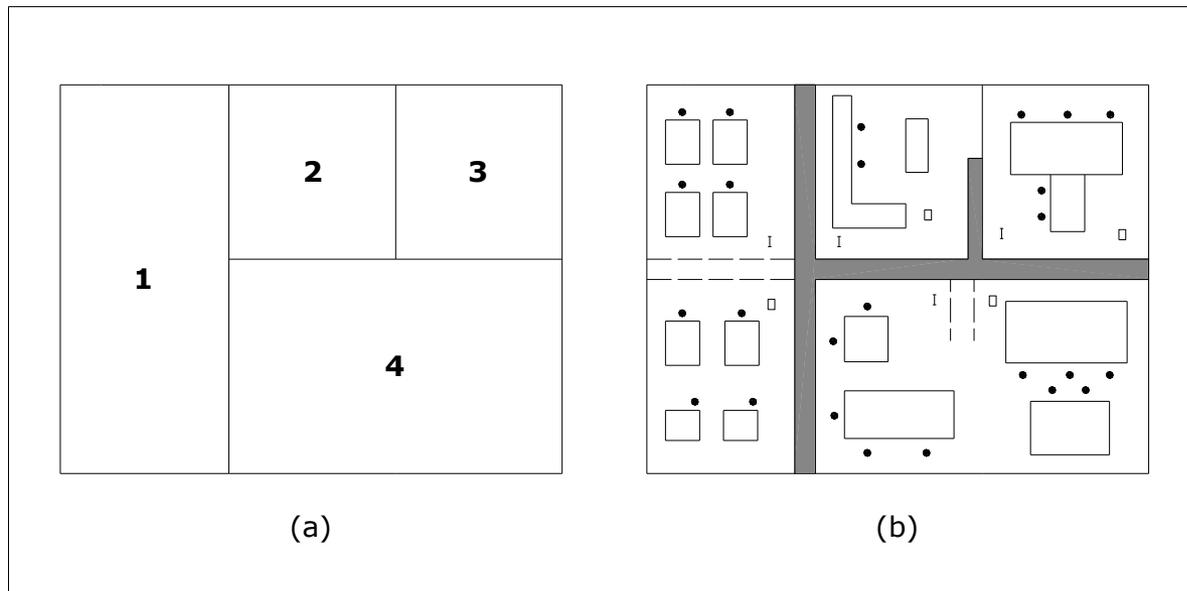
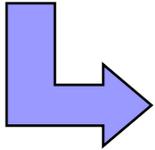
I reparti possono avere fabbisogni di area non uguali

- **Ha l'obiettivo di minimizzare i costi di "relazione" tra i reparti nel rispetto di diversi vincoli impiantistici**

I vincoli impiantistici sono vincoli strutturali dell'impianto quali non sovrapposizione delle strutture, disposizione all'interno dell'area di edificio, vincoli di carico per edifici a più piani, ecc...

Introduzione

Il disegno del **layout di massima**, in cui è definita la disposizione relativa di ciascun reparto



Il disegno del **layout di dettaglio**, in cui vengono determinati: esatta posizione dei reparti, strutture dei corridoi, punti di accesso e uscita, disposizione dei macchinari e delle stazioni di lavoro all'interno di ciascun reparto, ...

Introduzione

Uno degli obiettivi “tipici” è quello di ottimizzare l’efficienza dei flussi di materiali e delle relazioni tra le aree produttive e non

N.B.: Il problema di FLP è multi-obiettivo!

Funzione Obiettivo

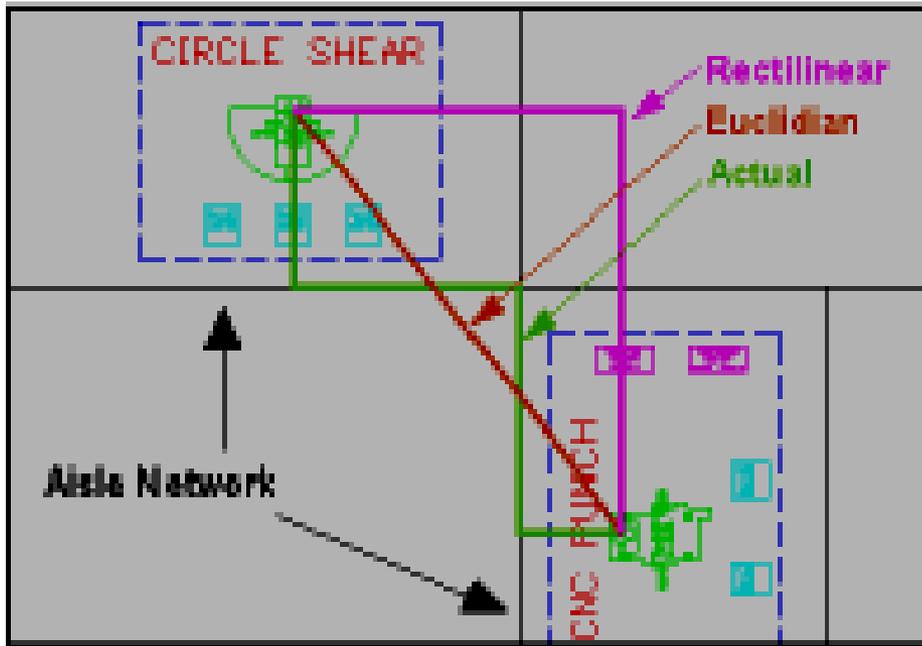
$$\min \alpha \cdot \sum_i \sum_j (f_{ij} \cdot c_{ij}) \cdot d_{ij} - (1 - \alpha) \cdot \sum_i \sum_j r_{ij} \cdot x_{ij}$$

- $f_{i,j}$ = flusso dei materiali tra due aree i,j
- $c_{i,j}$ = costo unitario delle movimentazioni tra due aree i,j
- $d_{i,j}$ = distanza tra due aree i,j
- $r_{i,j}$ = relazione tra due aree i,j
- $x_{i,j}$ = adiacenza tra due aree i,j

Introduzione

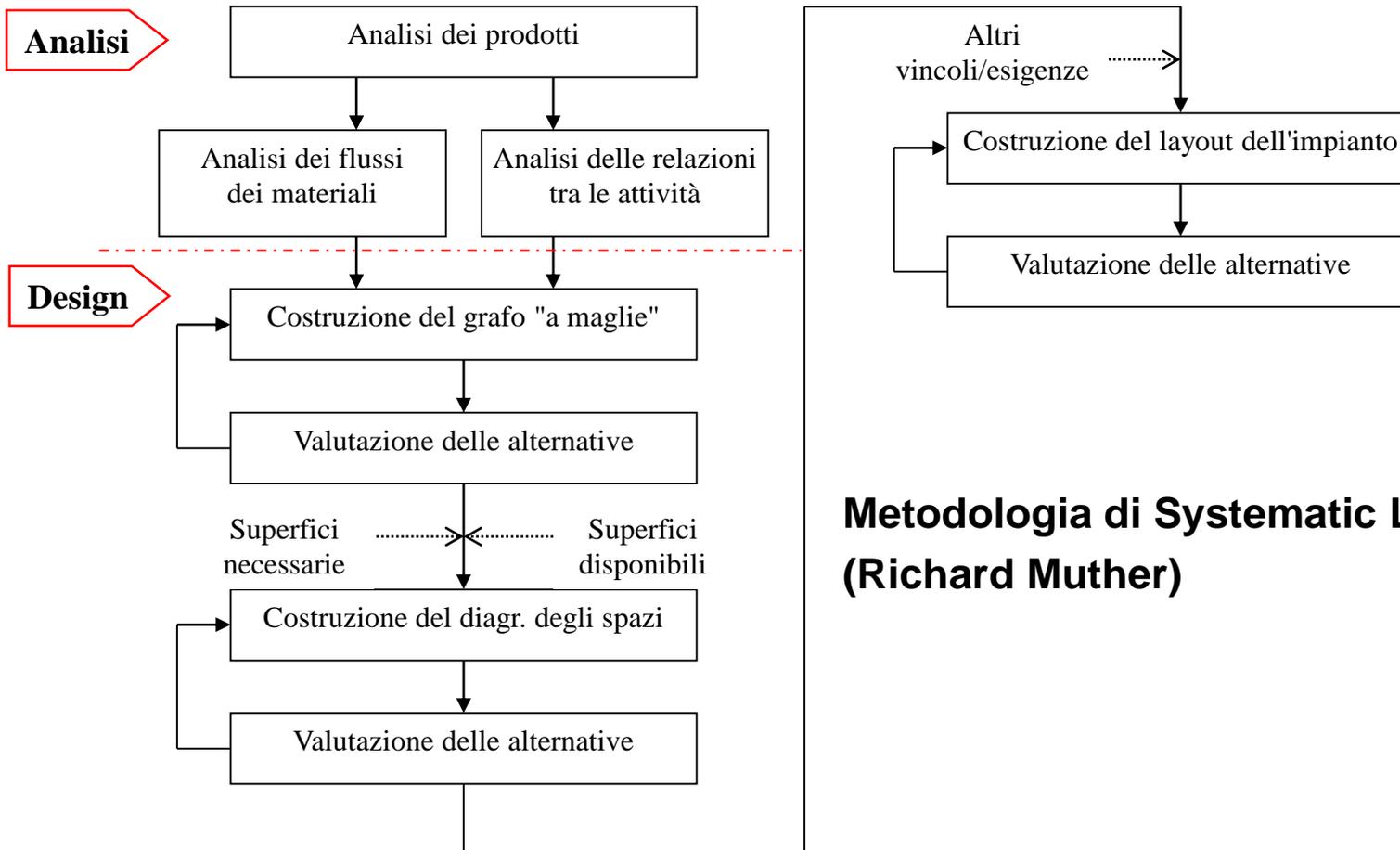
Misura delle distanze d_{ij} nel modello CAD del layout

- Rettilineare
- Euclidea
- Effettiva



$$\min \alpha \cdot \sum_i \sum_j (f_{ij} \cdot c_{ij}) \cdot d_{ij}$$

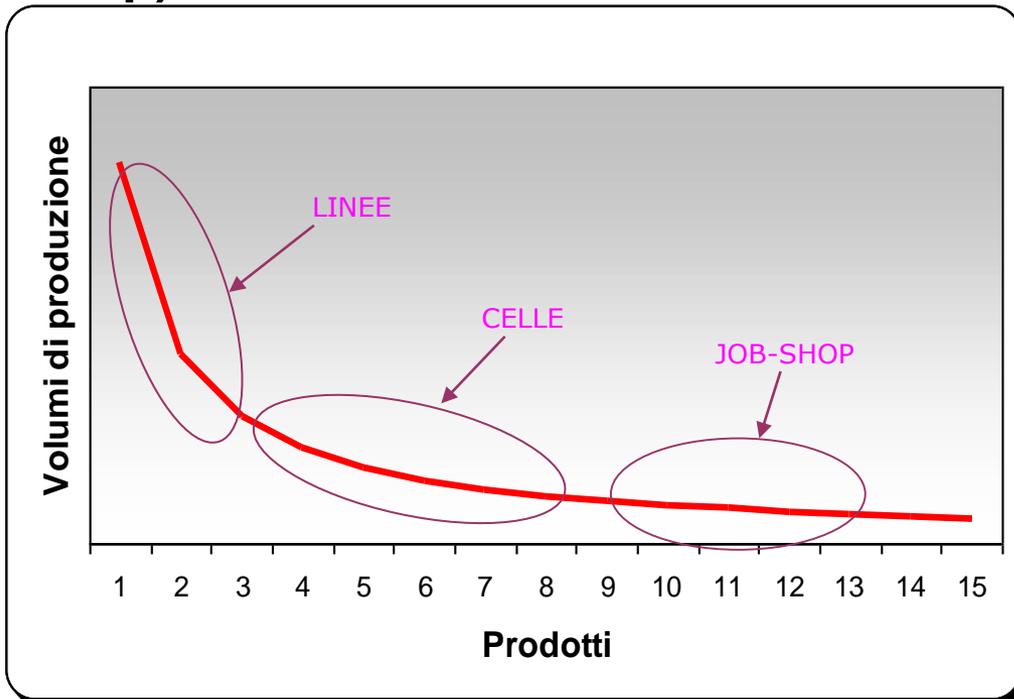
Metodologia di Facility Layout Planning (FLP)



**Metodologia di Systematic Layout Planning
(Richard Muther)**

Metodologia di FLP (analisi dei prodotti)

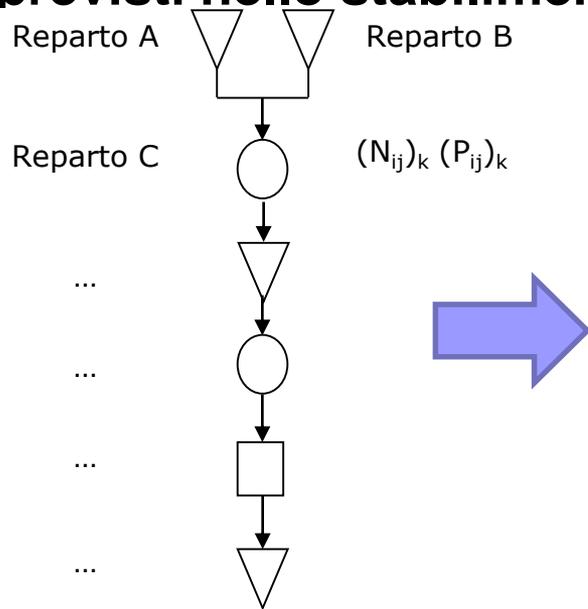
Il metodo delle curve ABC (curve di Pareto) sulle quantità da produrre per tipo prodotto serve per la scelta strategica del tipo di layout di impianto \Rightarrow layout per prodotto (linea) vs. layout per processo (job shop)



Il metodo delle curve ABC serve per la Factory Flow Analysis, per supportare la macro suddivisione dello stabilimento in diverse aree produttive (linee, celle, jobshop, posti fissi, assembly shop, ...).

Metodologia di FLP (analisi dei flussi dei materiali)

La matrice Origine-Destinazione (“*from to chart*”) serve per raccogliere i requisiti di movimentazione tra i reparti (rep. i e j). E’ costruita a partire dal diagramma tecnologico dei diversi tipi prodotti previsti nello stabilimento.



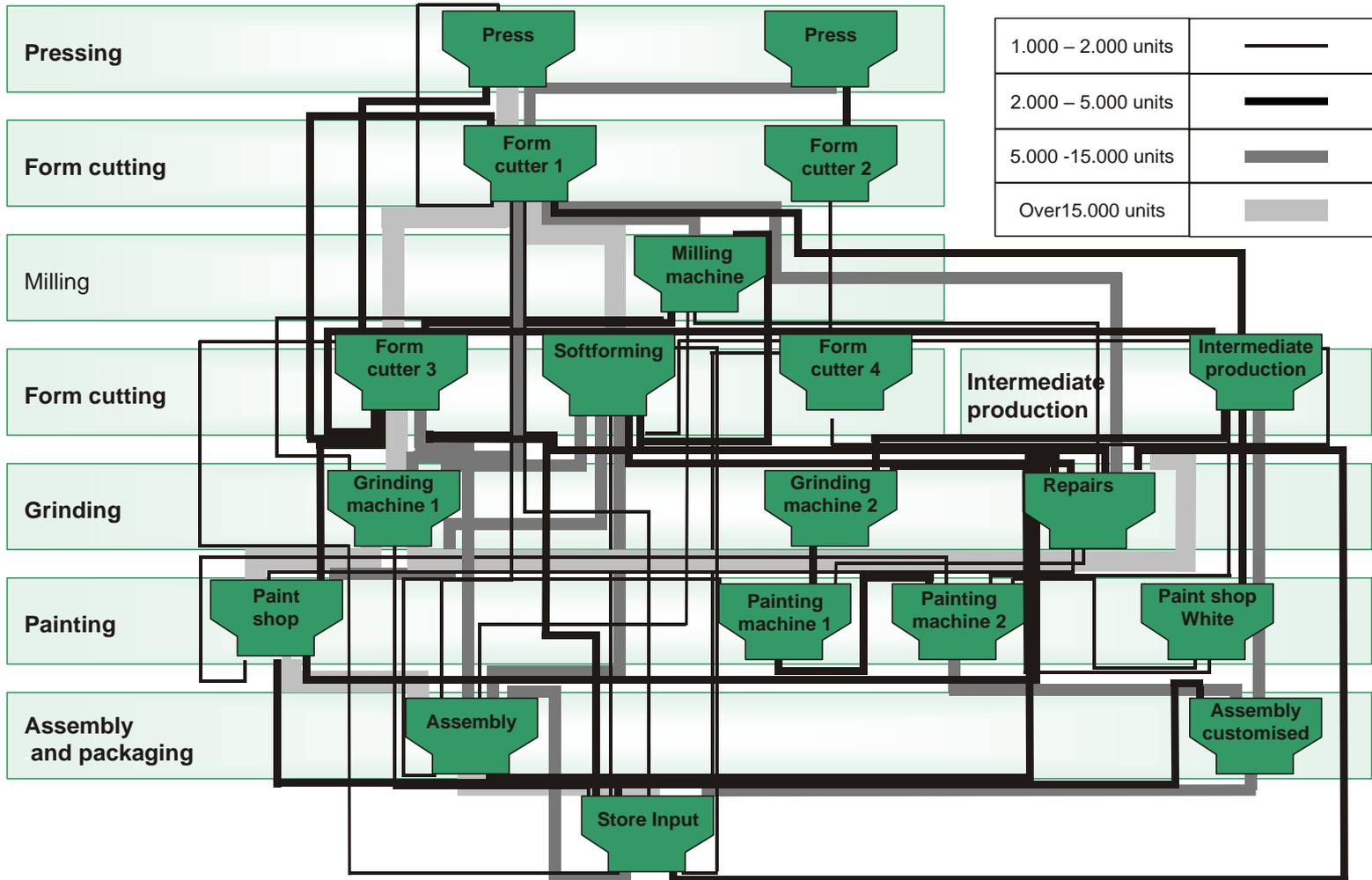
Da a	REPARTO A	REPARTO B	REPARTO C	...	REPARTO Z
REPARTO A			20		
REPARTO B	100		50		300
REPARTO C	200	150			
...					
REPARTO Z			180		

Indicatore di importanza del flusso è ad es. $f_{ij} * c_{ij}$

- Determinazione del numero di parti N movimentate (che, tenendo conto della dimensione del lotto di movimentazione, serve per determinare il flusso f di lotti movimentati), del peso di movimentazione P per le parti (colli di parti prodotte) di tipo k, movimentati dal reparto i al reparto j.
- Calcolo, considerando i diversi tipi k, degli indicatori di importanza del flusso di materiali dal reparto

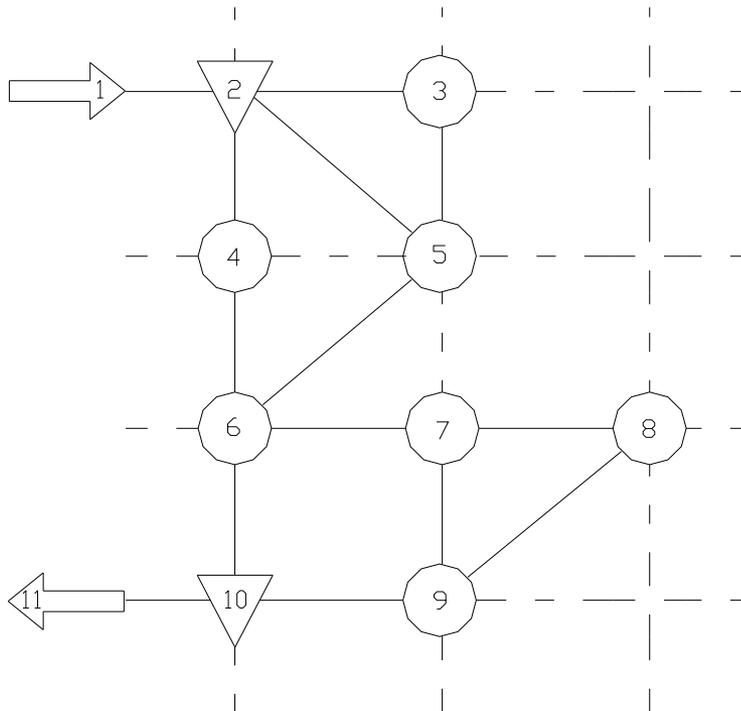
Metodologia di FLP (analisi dei flussi dei materiali)

Esempio di diagramma tecnologico (di processo) quantitativo

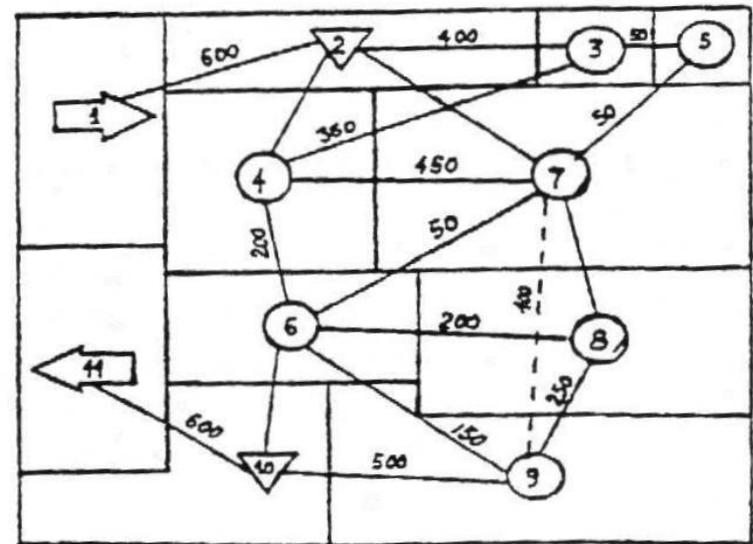


Metodologia di FLP (costruzione grafo a maglie + diagramma degli spazi)

Il metodo del grafo a maglie

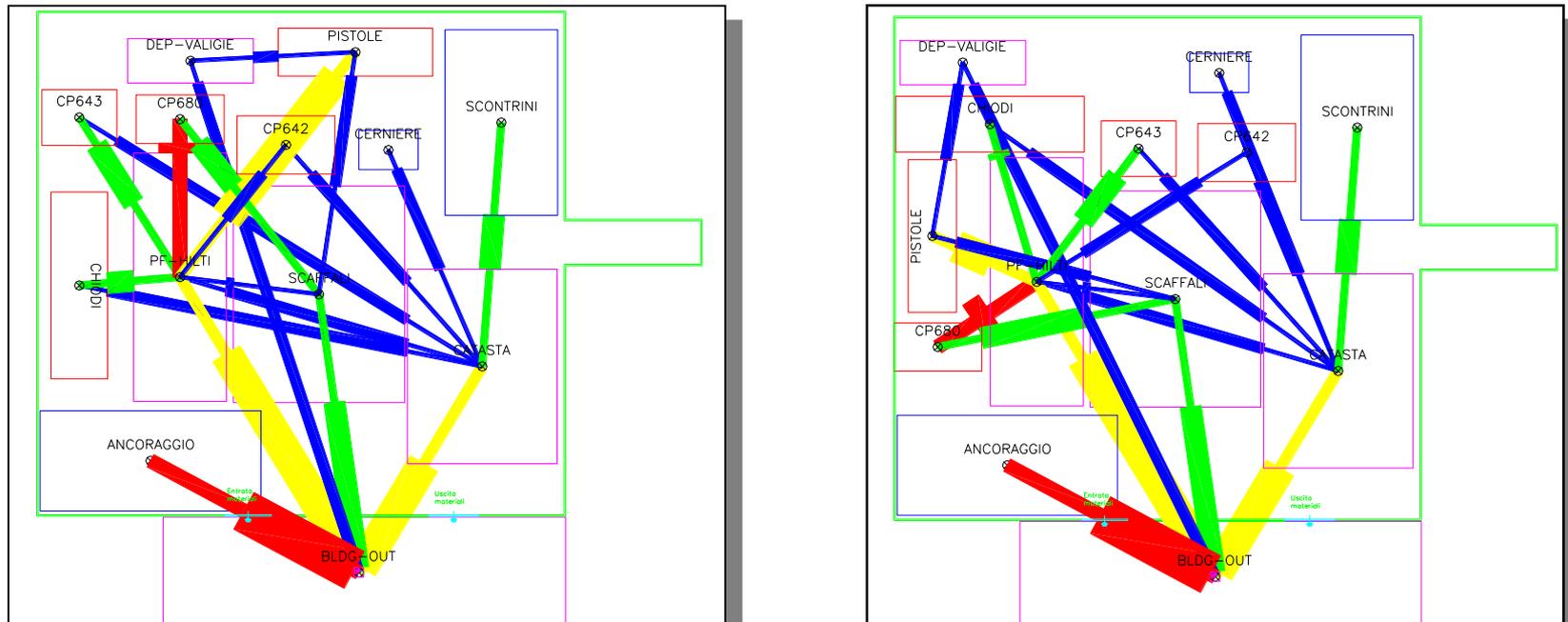


Il metodo del diagramma degli spazi



Metodologia di FLP (costruzione del layout di impianto)

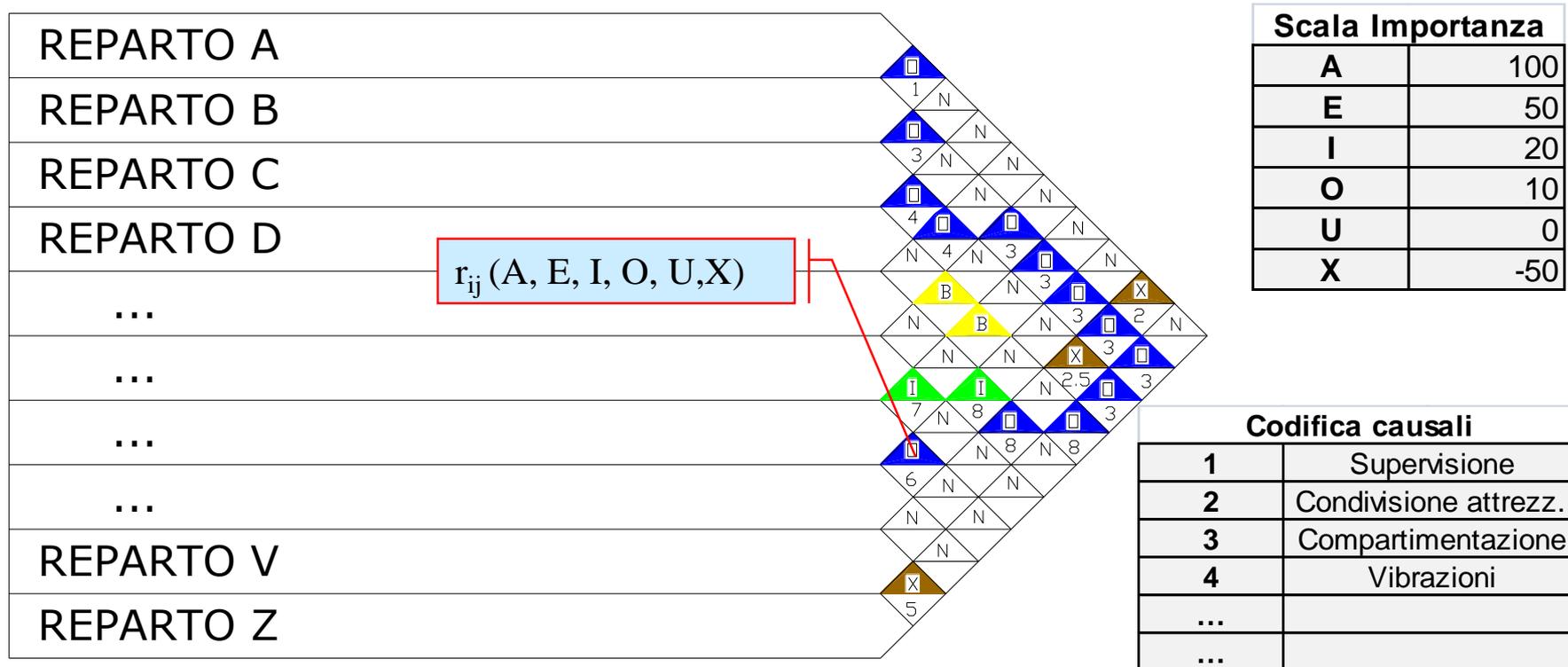
Esempio di disegno CAD del layout di impianto con identificazione delle classi di intensità di movimentazione dei flussi scambiati



Posizionare vicini i reparti caratterizzati da una alta intensità dei flussi di materiali scambiati (i.e. $\text{Min } f_{ij} * c_{ij} * d_{ij}$)

Metodologia di FLP (analisi delle relazioni tra le attività)

La **Relationship Chart** serve per raccogliere i requisiti di “relazione” tra i reparti (i.e. tra le aree di attività) i e j. E’ costruita definendo sia la scala di importanza che la codifica causali della vicinanza (tra le aree di attività).

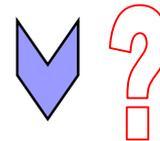
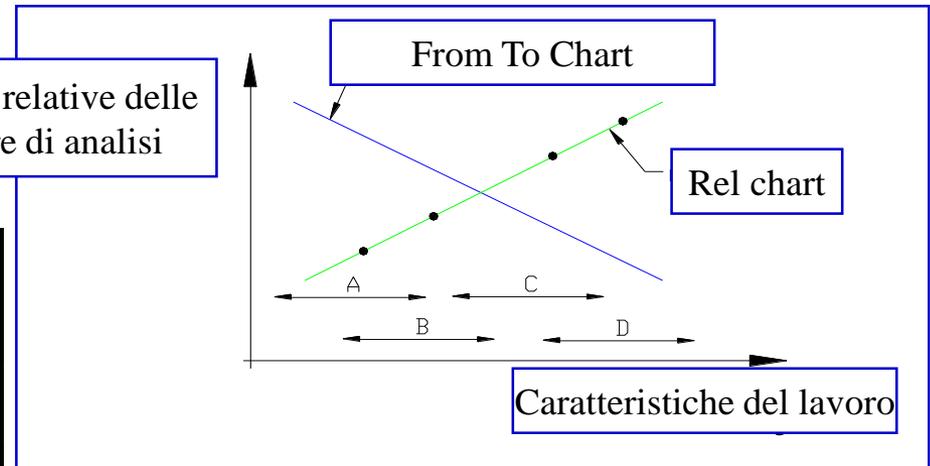


Metodologia di FLP (analisi flussi materiali e relazioni tra attività)

Caratteristiche del lavoro

A	Studio di un layout che comporti il movimento di prodotti e materiali pesanti o voluminosi o di una grande quantità di articoli, componenti o materiali. Es. acciaierie, mulini, produzioni di grandi serie.
B	Layout di reparti che non hanno flussi di materiali ben definiti e costanti. Es. fabbriche di costruzioni su commessa.
C	Reparti ausiliari con notevole flusso di materiali oppure uffici con notevole flusso di documenti. Es. officine di manutenzione, laboratori di prova, uffici con procedure altamente ripetitive.
D	Layout di uffici.

Importanza relative delle procedure di analisi



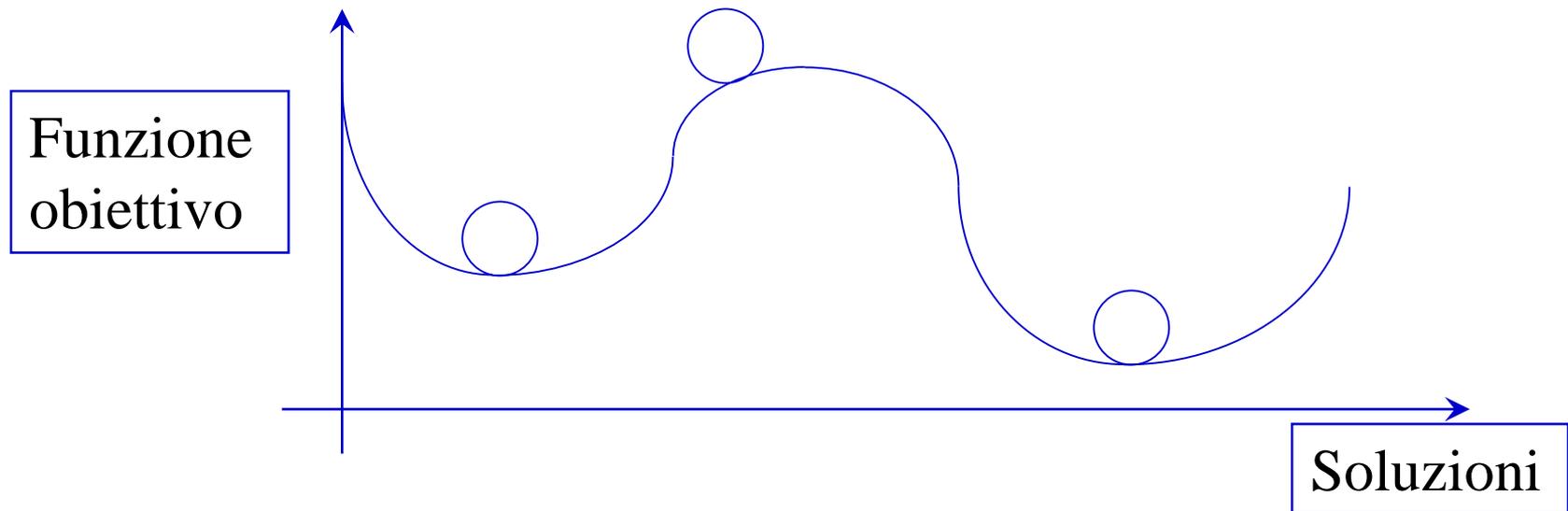
$$\min \alpha \cdot \sum_i \sum_j (f_{ij} \cdot c_{ij}) \cdot d_{ij} - (1 - \alpha) \cdot \sum_i \sum_j r_{ij} \cdot x_{ij}$$

Tecniche quantitative a supporto

Tecniche euristiche di ricerca della soluzione

⇒ Ricerca di una soluzione di “buon” senso

⇒ Automazione della ricerca vs. ricerca interattiva





Tecniche quantitative a supporto

Tecniche di costruzione del layout

- Posizionamento dei reparti “da prato verde”
- Criterio di ordinamento dell’inserimento dei reparti
- Criterio di posizionamento dei reparti nel layout

Tecniche di miglioramento del layout

- Modifiche di un layout iniziale attraverso scambi di posizione tra reparti
- Criterio di ordinamento della priorità degli scambi

Esempio

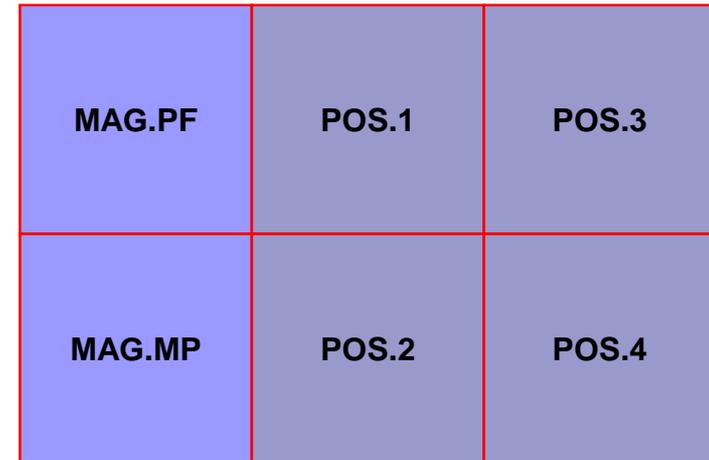
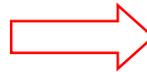
Euristico di costruzione

Funzione obiettivo

$$\min \alpha \cdot \sum_i \sum_j (f_{ij} \cdot c_{ij}) \cdot d_{ij} - (1 - \alpha) \cdot \sum_i \sum_j r_{ij} \cdot x_{ij}$$

Dati di input

- Posizioni ammissibili per i reparti
- “Pesi” delle relazioni tra i reparti



Matrice Origine/Destinazione

	Mag MP	R1	R2	R3	R4	Mag PF
Mag MP		275				
R1			225		50	
R2		f_{ij}		200		25
R3						200
R4						50
Mag PF						

Esempio

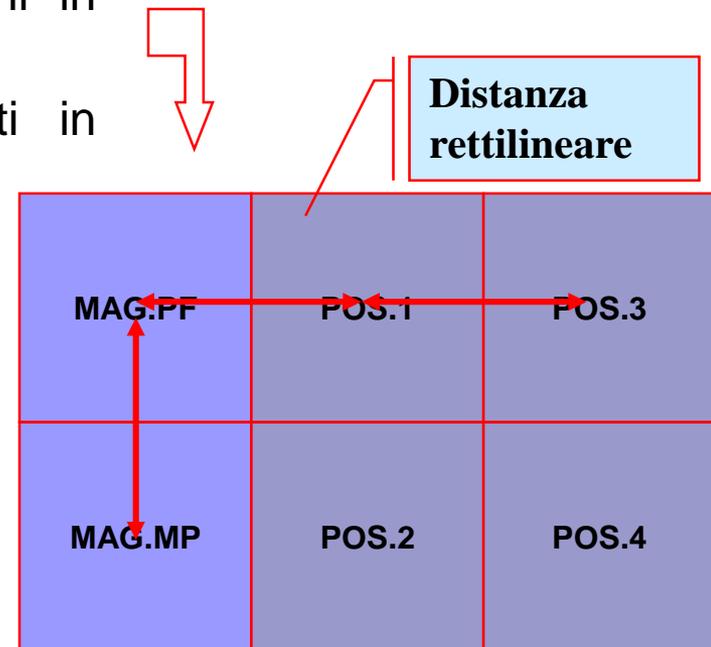
Euristico di costruzione

Metodo di progettazione

- Ordinamento delle coppie di posizioni in ordine di distanza crescente
- Ordinamento delle coppie di reparti in ordine di flusso decrescente

↓

Ordinamento dei flussi (MAT)		
Mag MP	R1	275
R1	R2	225
R2	R3	200
R3	Mag PF	200
R1	R4	50
R4	Map PF	50
R2	Mag PF	25



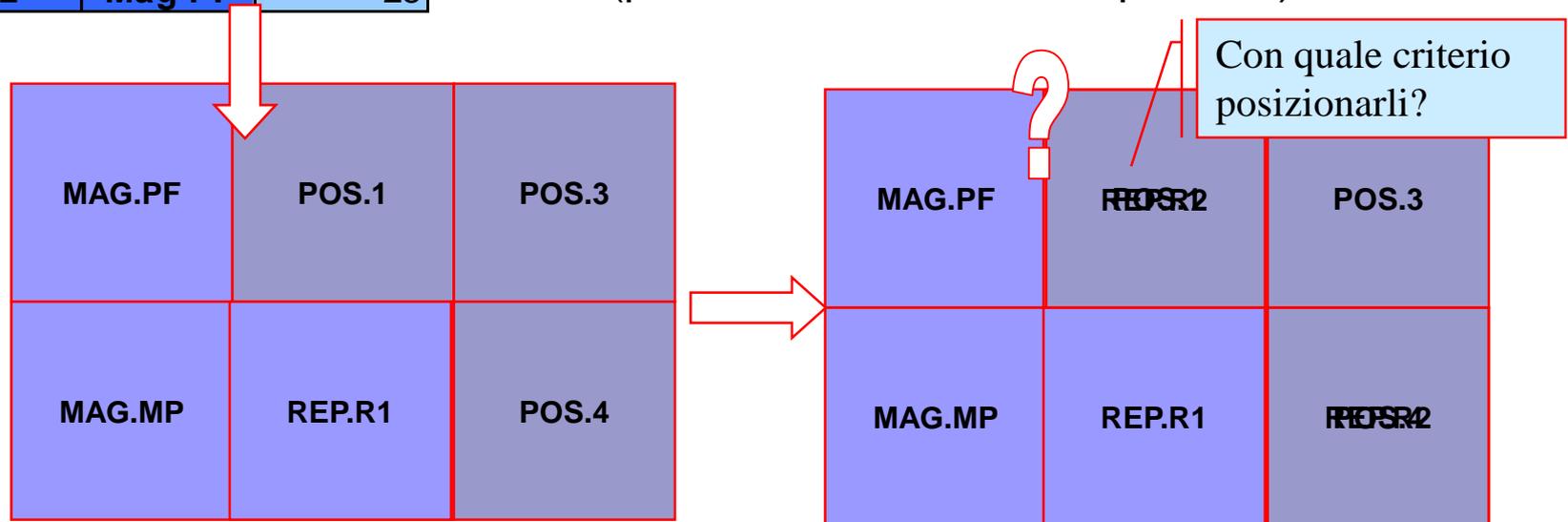
Esempio

Euristico di costruzione

Ordinamento dei flussi (MAT)		
Mag MP	R1	275
R1	R2	225
R2	R3	200
R3	Mag PF	200
R1	R4	50
R4	Map PF	50
R2	Mag PF	25

Criterio di progettazione

- Reparti con flusso scambiato più elevato da disporre nelle posizioni a distanza minore (per minimizzare i costi operativi!)

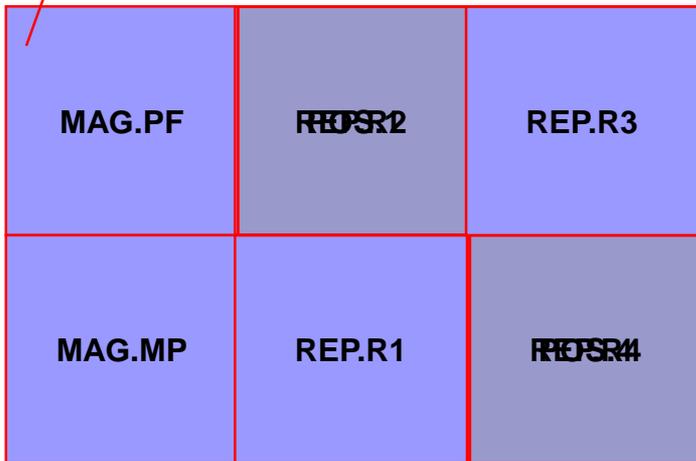


Esempio

Esempio di euristico di miglioramento

Mag MP	R1	275
R1	R2	225
R2	R3	200
R3	Mag PF	200
R1	R4	50
R4	Map PF	50
R2	Mag PF	25

Funzione obiettivo: $275 \times 1 + 225 \times 1 + 200 \times 1 + 200 \times 2 + 50 \times 1 + 50 \times 3 + 25 \times 1$



Funzione obiettivo: $275 \times 1 + 225 \times 1 + 200 \times 1 + 200 \times 2 + 50 \times 1 + 50 \times 1 + 25 \times 3$

Craft

- **CRAFT è un modello euristico (Computerised Relative Allocation of Facilities Technique)**
- **E' basato sulla minimizzazione del costo di movimentazione fra i diversi reparti**
- **Necessita di un layout iniziale**
- **Input**
 - **Layout iniziale**
 - **Analisi dei flussi, i.e. from to chart**
 - **Costi di movimentazione**
 - **Numero di reparti da allocare e vincoli**

Craft

- Dato un layout iniziale, CRAFT calcola la distanza TOTALE percorsa.
- CRAFT cerca di migliorare il layout, facendo degli scambi a due a due fra i reparti:
 - Fra tutti gli scambi che risultano vantaggiosi (risparmio di distanza totale percorsa), viene selezionato lo scambio migliore (quello con il quale si risparmia di più).
 - Mentre vengono calcolati scambi e nuove distanze, non viene calcolato il risparmio reale, in quanto, ad ogni passaggio, il risparmio viene valutato considerando i vecchi centroidi (i centroidi dei reparti si scambiano, ma non si modificano). Questa assunzione fa sì che il calcolo del risparmio sia in realtà solo approssimato.
- Gli scambi possono essere fatti solo fra reparti con la stessa area o che sono inizialmente affiancati (almeno un lato in comune).

Craft

- Qualche volta, uno scambio può risultare in una forma un po' strana per il reparto.
- E' un algoritmo che cerca un layout migliore rispetto a un layout già esistente, non è una procedura costruttiva.
- Il risparmio atteso potrebbe non essere ottenuto dopo lo scambio fra due reparti (a causa del calcolo dei centroidi attuali, che viene effettuato solo a posteriori).

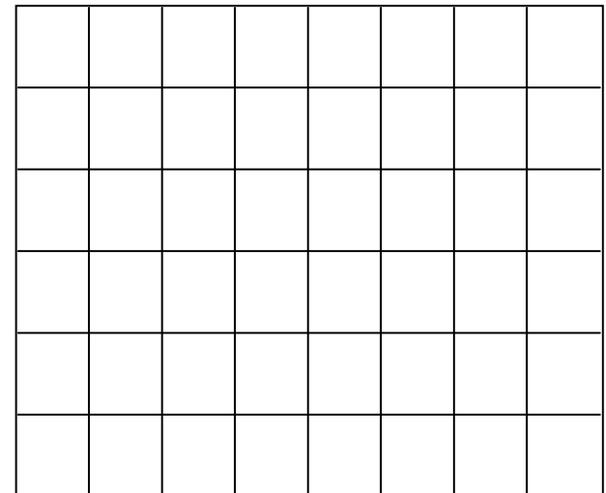
Aldep - Automated Layout Design Program

- **ALDEP è una procedura per costruire un layout**
 - **ALDEP non necessita dunque di un layout iniziale, ma ne costruisce uno da zero.**
 - **Dati:**
 - **Dimensione della struttura**
 - **Numero e dimensione dei reparti**
 - **Activity relationship chart**
 - **Una larghezza di reparto, con cui «spazzare» l'area**
- ALDEP definisce un layout**

Aldep - Automated Layout Design Program

- La dimensione della struttura e la dimensione dei reparti è data in termini di blocchi.
- L'algoritmo può essere spiegato con un esempio: partiamo da una struttura di 8 blocchi orizzontali × 6 blocchi verticali totali (8x6=48 blocchi).
- I dipartimenti (con i rispettivi blocchi) sono :

- Produzione 14 blocchi
- Uffici 10
- Magazzino 8
- Dock area 8
- Spogliatoio 4
- Servizi 4



Aldep - Automated Layout Design Program

A: absolutely necessary

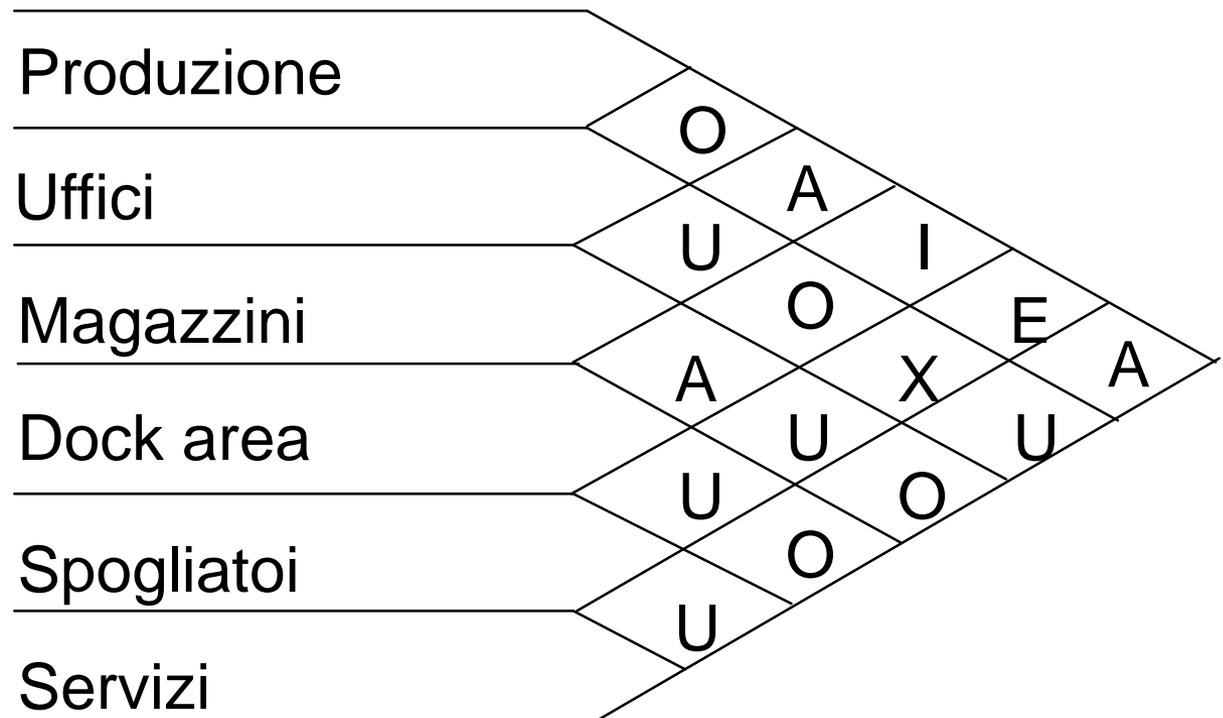
E: especially important

I: important

O: ordinarily important

U: unimportant

X: undesirable



Aldep - Automated Layout Design Program

L'algoritmo ALDEP comincia ad allocare partendo dall'angolo sinistro in alto. Il primo reparto è scelto random. Cominciando con un reparto diverso, il risultato finale sarà diverso.

- ❑ Cominciamo ad esempio con il dock rooms (D). A partire dall'angolo in alto a sinistra devono essere allocati 8 blocchi.
- ❑ La larghezza dell'area «spazzata» dal reparto è definito in numero di blocchi. Data una larghezza di 2 blocchi, allora l'area totale sarà $2 \times 4 = 8$ blocchi (quindi lunga 4 blocchi).

D	D						
D	D						
D	D						
D	D						

ALDEP

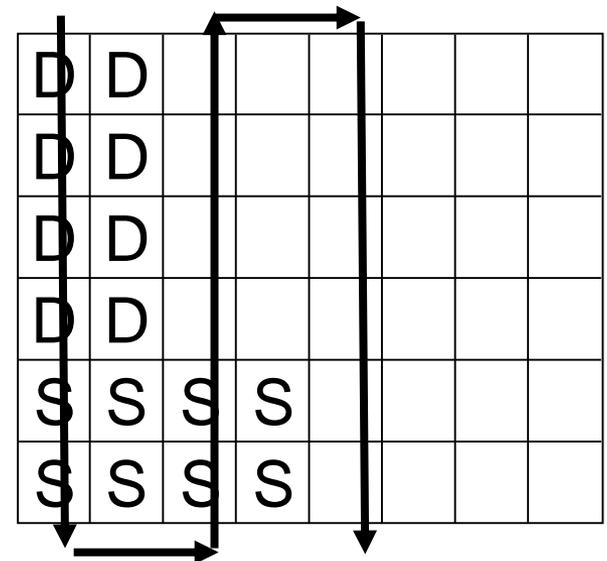
- Per scegliere il reparto successivo, si guarda il reparto che ha il proximity rating più alto con il reparto già allocato. Nell'esempio, il magazzino (S) ha il proximity rating più alto con il dock area (livello A).
- Il magazzino viene allocato e 8 altri blocchi devono essere occupati.
- Ci sono $2 \times 2 = 4$ blocchi sotto l'area del dock. (D). Dopo aver posizionato 4 blocchi, e aver occupato tutta l'area della prima "colonna", si continua a riempire selezionando altre 2 colonne (=larghezza) e muovendosi curvando verso l'alto.

D	D						
D	D						
D	D						
D	D						
S	S	S	S				
S	S	S	S				

ALDEP

- L'allocazione parte dall'angolo in alto a destra e si muove con una larghezza di 2 blocchi predefinita.
- Una volta raggiunta la parete opposta, l'allocazione continua selezionando la stessa larghezza (2 blocchi) e muovendosi verso l'alto.

- Si prosegue con un andamento a zig-zag.
- Una volta completata la seconda colonna, l'allocazione continua, selezionando i 2 blocchi (larghezza) successivi sulla destra e muovendosi verso il basso.



Tecniche quantitative a supporto

Indicatori di efficienza dei trasporti (esempi)

- Tempo totale di movimentazione / handling
- Costo totale di movimentazione
- Volume movimentato per percorso

Indicatori di misura dell'occupazione degli spazi e volumi (esempi)

- Sufficienza dello spazio a disposizione per ciascuna attività svolta
- Spazio occupato da costruzioni fisse e/o mobili (muri, colonne, ascensori, ...)
- Spazio libero per future espansioni di capacità (per la costruzione di nuovi edifici e/o aggiunta di nuovi reparti)
- Area occupata da corridoi

Dimensionamento handling

$$T_{ij}^{\text{tot handling}} = T_{ij}^{\text{tot movimentazione}} + T_{ij}^{\text{tot carico}} + T_{ij}^{\text{tot scarico}}$$

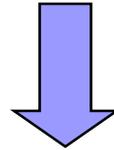
(lungo un percorso da una posizione i a una posizione j)

è dipendente...

- dal mix di produzione realizzato e dai cicli tecnologici (part routing) dei prodotti
⇒ *flusso di movimentazione atteso dei prodotti (dalla posizione i alla posizione j), peso e dimensioni dei prodotti (da trasportare dalla posizione i alla posizione j)*
- dall'attrezzatura di handling prescelta
⇒ *unità di carico trasportabili (per missione di trasporto), velocità del trasportatore, velocità di carico e scarico*
- dal layout di impianto
⇒ *distanze dei percorsi, percorsi rettilinei, facilità degli accessi, ...*

Dimensionamento handling

$$T_{ij}^{\text{movimentazione}} = \text{distanza}_{ij}^{\text{percorso}} / v_{ij}^{\text{media attrezzatura di handling}}$$



$$T_{ij}^{\text{movimentazione}} = \text{distanza}_{ij}^{\text{percorso}} / v_{ij}^{\text{media attrezzatura di handling}}$$

E' determinato da...

⇒ accelerazioni, decelerazioni, velocità (dell'attrezzatura di handling)

⇒ tipologia dei percorsi e degli accessi (nel layout di impianto)

Dimensionamento handling

$$\text{distanza}_{ij}^{\text{tot percorsa}} = \#_{ij}^{\text{tot viaggi}} * \text{distanza}_{ij}^{\text{percorso}}$$

$$\#_{ij}^{\text{tot viaggi}} = (\#_{ij}^{\text{tot parti da movimentare}}) / (\#_{ij}^{\text{parti movimentate per viaggio}}) \text{ (è il flusso } f_{ij}\text{)}$$

E' determinata da...

- ⇒ flusso di movimentazione atteso dei prodotti
- ⇒ pesi e dimensioni dei prodotti
- ⇒ unità di carico per missione di trasporto
- ⇒ distanza del percorso

Dimensionamento handling

Dimensionamento parco
attrezzature



DIMENSIONAMENTO “draft” di SISTEMA di
TRASPORTO SERIALE (carrelli, etc.)

$$\sum_i \sum_j T^{ij}_{\text{tot handling}} = \sum_i \sum_j [\#^{ij}_{\text{tot viaggi}} * T^{ij}_{\text{movimentazione}} + \#^{ij}_{\text{tot viaggi}} * (T^{ij}_{\text{carico}} + T^{ij}_{\text{scarico}})]$$

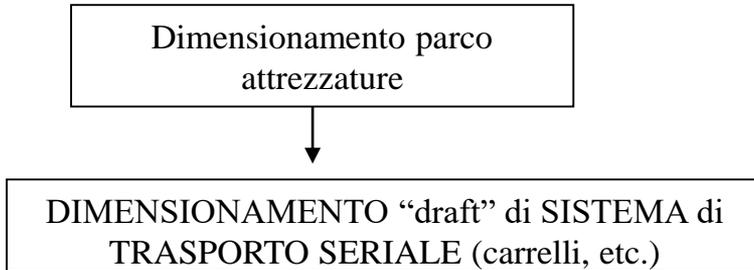
(con i, j = percorsi da posizione i a posizione j serviti dal Material Handling System MHS)

$$H_d = H_a * K_1 * K_2 * \dots$$

(con H_d = ore effettivamente disponibili per il MHS)

(K coefficiente riduttivo, es. per manutenzione handling, efficienza handling, imprevisti personale, ...)

Dimensionamento handling



$$\text{Sat} = \sum_i \sum_j T_{ij}^{\text{tot handling}} / (\# * H_d) \ll 1$$

dove # definisce il numero attrezzature di MHS assegnato alle movimentazioni i, j

Dimensionamento handling

Indicatori di misura delle prestazioni del sistema di MHS (esempi)

- Tempo totale di movimentazione
- Costo totale di movimentazione
- Potenzialità di movimentazione
- Volume movimentato per percorso
- Area occupata da corridoi
- Forma dei reparti (rettilinearità dei corridoi)
- Facilità di accesso (ai corridoi, alle postazioni di lavoro)
- Numero di percorsi alternativi di movimentazione
- # di operatori di manodopera indiretta diretta/# operatori totali
- WIP

Computer Aided facility layout planning

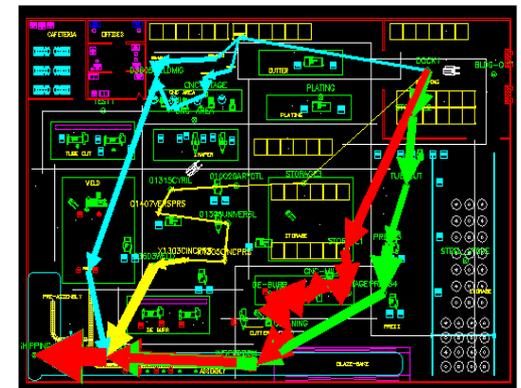
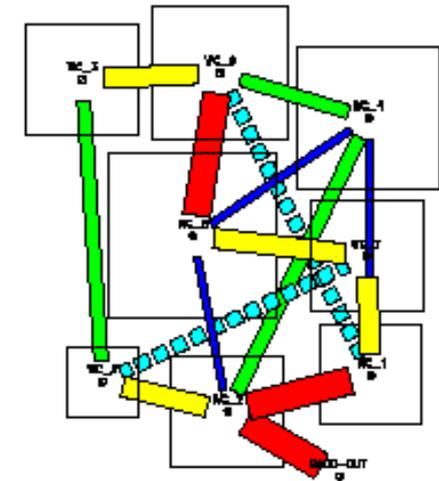
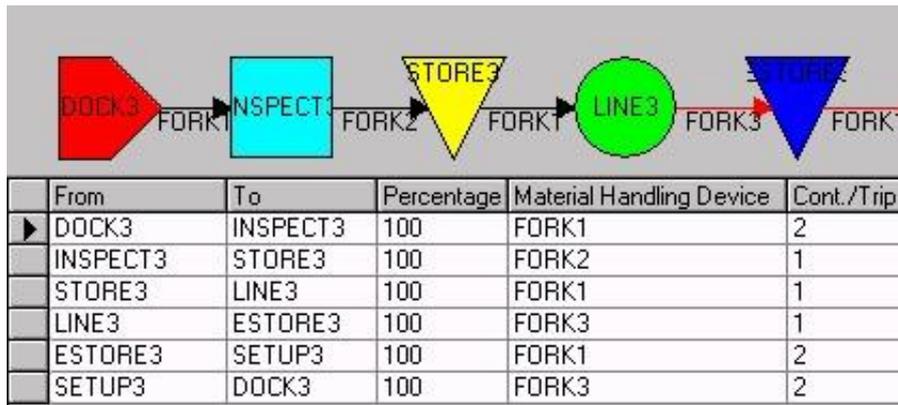
Ricerca euristica “interattiva” con l’utilizzo di strumenti Computer Aided per il Facility Layout Planning

Costruzione del modello CAD del layout

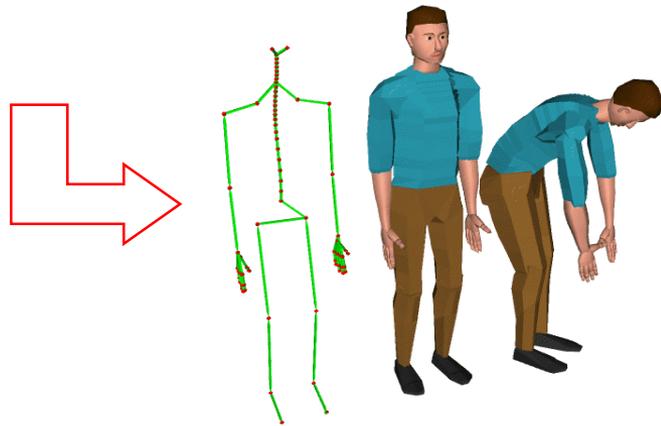
Analisi delle relazioni e/o dei flussi dei materiali

Miglioramento del modello CAD del layout

Valutazione della soluzioni ottenute mediante indicatori di prestazione



Computer Aided facility layout planning (progettazione del posto di lavoro)



- Modellazione dei movimenti operatore / attrezzatura in ambiente CAD (3D): creazione del modello del posto di lavoro + creazione dell'esatta sequenza delle operazioni "elementari" + modello parametrico delle operazioni "elementari" (peso sollevato, angolo di rotazione, ...)
- Misura di una serie di indici di prestazione (efficienza, sicurezza,)

NIOSH Lifting Analysis Tool

Analysis Summary

Task No.	LC	HM	VM	DM	AM	CM	FM
200	23	0.833	0.775	1.000	1.000	0.950	0.650
100	23	0.625	0.775	0.880	1.000	0.950	0.750
...	...	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.950

CLI: 3.681

Action: The load wt. is greater than the recommended limit.