



I magazzini industriali



I magazzini industriali

-

**Dimensionamento di un magazzino manuale
per UdC pallettizzate:**

**Determinazione del *layout*
ottimale dell'area di stoccaggio**



Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

- La disposizione delle scaffalature, la posizione della banchina di I/O e la politica di gestione dei carrelli influenza le distanze percorse per la movimentazione
- Partendo dalla superficie del magazzino necessaria per raggiungere la ricettività richiesta, si determina il **rapporto di forma ottimale** del magazzino in una specifica configurazione, data dalle diverse caratteristiche del magazzino e dalla gestione operativa dei carrelli



Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

Si considerano le seguenti caratteristiche (1):

- Ciclo seguito dai carrelli:
 - **Semplice**: ciclo di prelievo (vuoto → prelievo) e di stoccaggio (stoccaggio → vuoto) che avvengono in modo **disgiunto**
 - **Combinato** (su 1 o 2 corridoi): Lo stoccaggio e il prelievo avvengono congiuntamente (stoccaggio → vuoto → prelievo)
 - **Combinazione** di cicli semplici e combinati



Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

Si considerano le seguenti caratteristiche (2):

- Posizione della banchina di I/O:
 - Centrale
 - Estremità
 - Casuale lungo il lato del magazzino
- Disposizione scaffalature:
 - Longitudinale
 - Trasversale

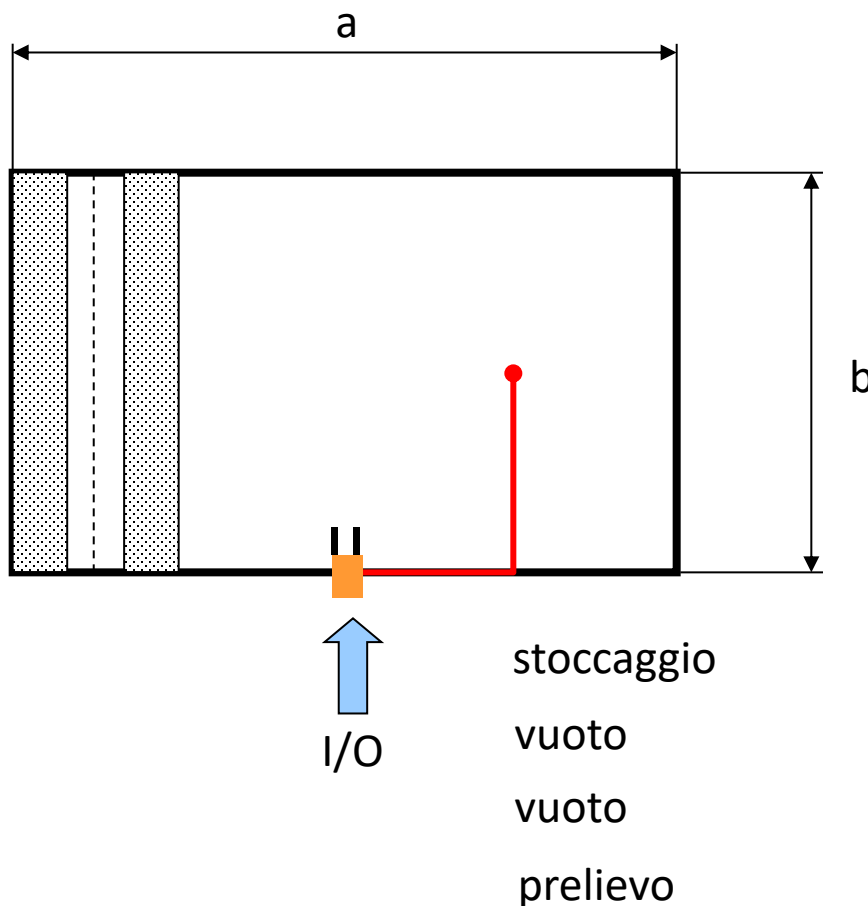


Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

L'analisi quantitativa si basa sulle seguenti assunzioni:

- Pianta del magazzino rettangolare, di lati a e b ($a \geq b$), e superficie $S = a \cdot b$
- La planimetria della scaffalatura è definita come un dominio (rettangolare) continuo
- Equiprobabilità di accesso ai vani (ovvero, allocazione casuale delle UdC)
- Spostamenti «rettangolari» dei carrelli

Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

Ciclo semplice, magazzino longitudinale, banchina
I/O posizione centrale

$$r = 4 \cdot \left(\frac{a}{4} + \frac{b}{2} \right) = a + 2b$$

$$r = a + 2 \cdot \frac{S}{a}$$

$$a \cdot b = S$$

$$b = \frac{S}{a}$$

$$\frac{dr}{da} = 0 \Rightarrow 1 - 2 \cdot \frac{S}{a^2} = 0$$

$$a^* = \sqrt{2 \cdot S}$$

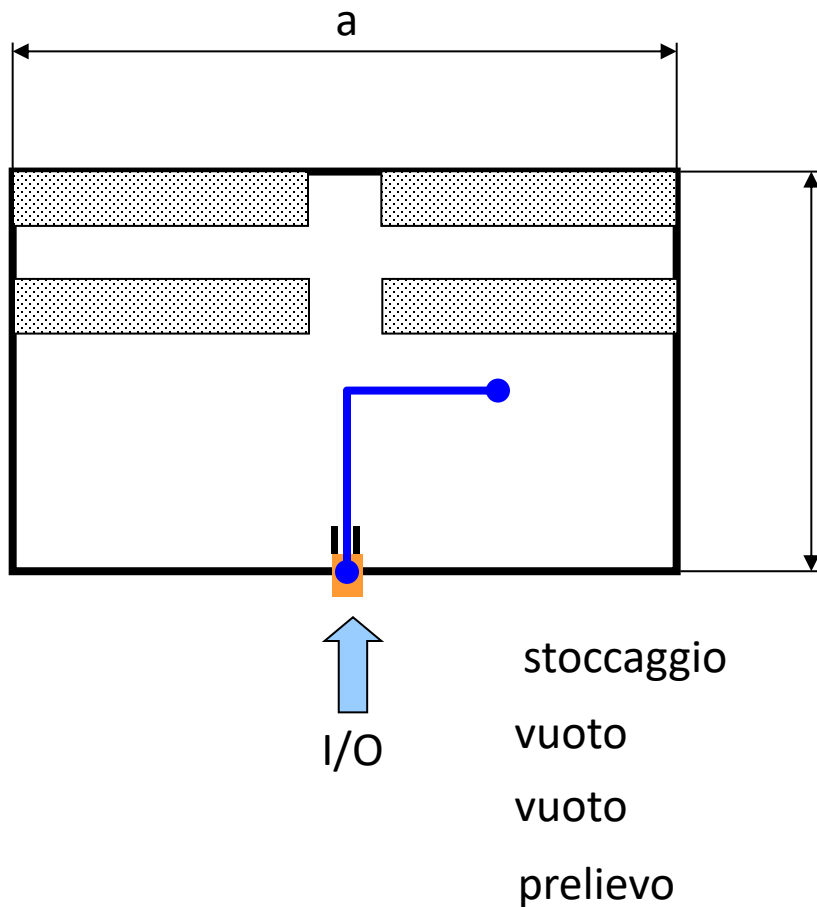
$$\frac{a^*}{b^*} = \frac{\sqrt{2S}}{\sqrt{\frac{S}{2}}} = 2$$

$$b^* = \frac{S}{a^*} = \frac{S}{\sqrt{2S}} = \sqrt{\frac{S}{2}}$$

$$a^* = 2b^*$$

$$r_{min} = r^* = 2a^* = 2\sqrt{2S}$$

Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

Ciclo semplice, magazzino trasversale, banchina
I/O posizione centrale

$$r = 4 \cdot \left(\frac{a}{4} + \frac{b}{2} \right) = a + 2b$$

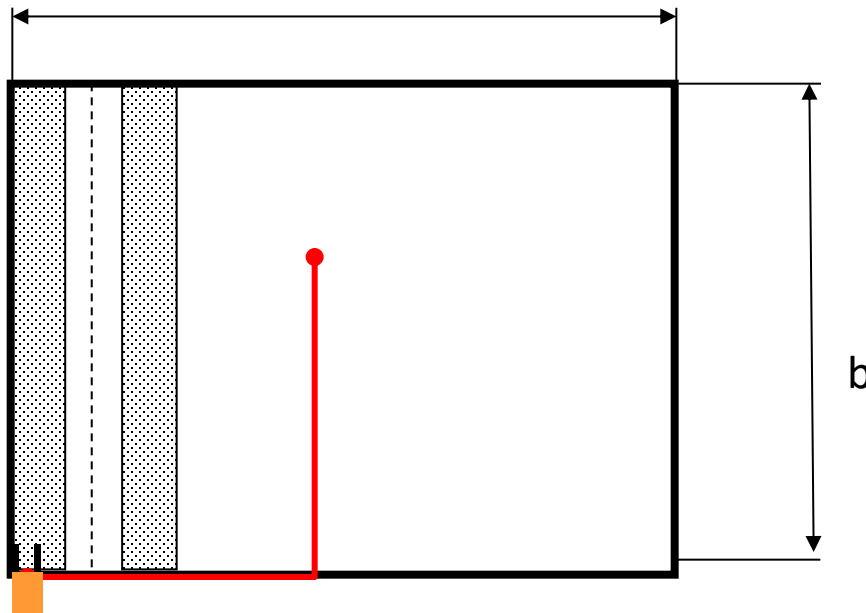
Come nel caso di magazzino longitudinale

$$\frac{a^*}{b^*} = \frac{\sqrt{2S}}{\sqrt{S}} = 2$$

$$a^* = 2b^*$$

$$r_{min} = r^* = 2a^* = 2\sqrt{2S}$$

Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

Ciclo semplice, magazzino longitudinale, banchina
I/O all'estremità

stoccaggio
vuoto
vuoto
prelievo

$$r = 4 \cdot \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2} \right) = 2a + 2b$$

$$b = \frac{S}{a} \Rightarrow r = 2a + 2 \cdot \frac{S}{a}$$

$$\frac{dr}{da} = 0 \Rightarrow 2 - 2 \cdot \frac{S}{a^2} = 0$$

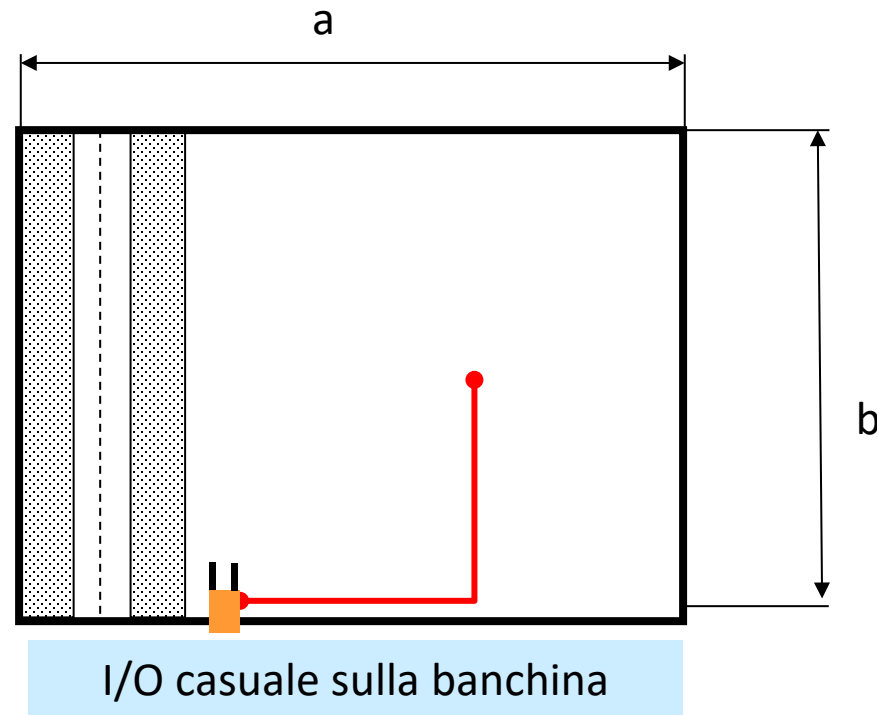
$$a = a^* = \sqrt{S}$$

$$b = b^* = \frac{S}{a^*} = \frac{S}{\sqrt{S}} = \sqrt{S}$$

Magazzino quadrato

$$r_{min} = r^* = 2a^* + 2b^* = 4a^* = 4\sqrt{S}$$

Ciclo semplice, magazzino longitudinale, banchina I/O in posizione casuale



I/O casuale sulla banchina

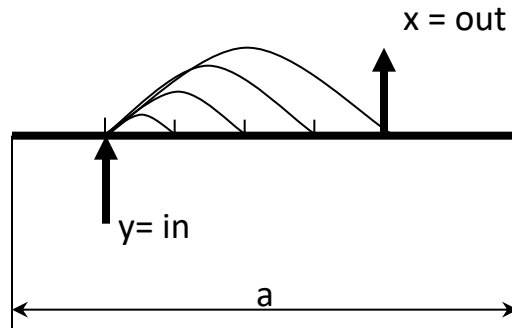
stoccaggio

vuoto

vuoto

prelievo

I/O in posizione casuale sulla banchina - premessa



ipotesi: Ingresso e uscita casuali

Calcolare: percorso medio

Fissato y_{in} il percorso è la media di tutti i possibili percorsi n_x

$$\sum_{x=1}^{n_x} \frac{|y-x|}{n_x}$$

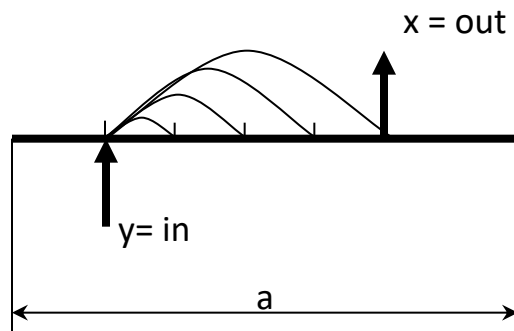
Calcolo su tutte le possibili n_y posizioni di y_{in}

$$\frac{1}{n_y} \sum_{y=1}^{n_y} \sum_{x=1}^{n_x} \frac{|y-x|}{n_x}$$

$$n_y = n_x = n$$

$$\frac{1}{n^2} \sum_{s=1}^n \sum_{p=1}^n |y-x|$$

I/O in posizione casuale sulla banchina - premessa



$$\frac{1}{a^2} \int_{y=0}^a \left(\left[yx - \frac{1}{2} x^2 \right]_0^y + \left[\frac{1}{2} x^2 - yx \right]_y^a \right) \cdot dy$$

$$\frac{1}{a^2} \int_{y=0}^a \left(y^2 - \frac{1}{2} y^2 + \frac{1}{2} a^2 - ya - \frac{1}{2} y^2 + y^2 \right) \cdot dy$$

$$\frac{1}{a^2} \int_{y=0}^a \left(y^2 - ay + \frac{1}{2} a^2 \right) \cdot dy$$

$$\frac{1}{a^2} \left[\frac{1}{3} y^3 - a \cdot \frac{1}{2} y^2 + \frac{1}{2} a^2 \cdot y \right]_0^a$$

$$\frac{1}{a^2} \cdot \left(\frac{1}{3} a^3 - \frac{1}{2} a^3 + \frac{1}{2} a^3 \right)$$

$$\frac{a}{3}$$

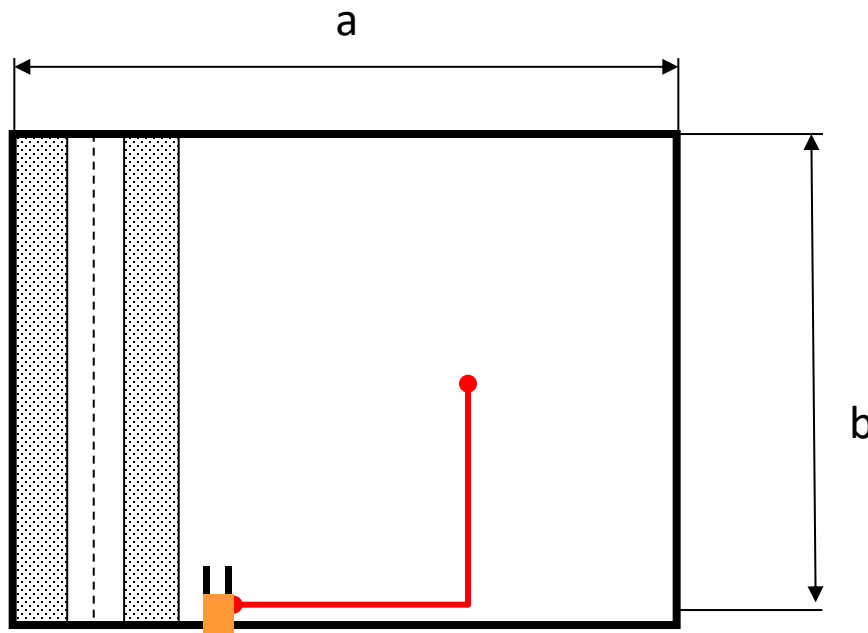
distanza media percorsa

Nel caso continuo

$$\frac{1}{a^2} \int_{y=0}^a \int_{x=0}^a |y - x| \cdot dx \cdot dy$$

$$\frac{1}{a^2} \int_{y=0}^a \left(\int_{x=0}^y (y - x) dx + \int_{x=y}^a (x - y) dx \right) \cdot dy$$

Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

Ciclo semplice, magazzino longitudinale, banchina
I/O in posizione casuale

I/O casuale sulla banchina

stoccaggio

vuoto

vuoto

prelievo

$$r = 4 \cdot \left(\frac{a}{3} + \frac{b}{2} \right) = \frac{4}{3}a + 2b$$

$$b = \frac{S}{a} \Rightarrow r = \frac{4}{3}a + 2 \cdot \frac{S}{a}$$

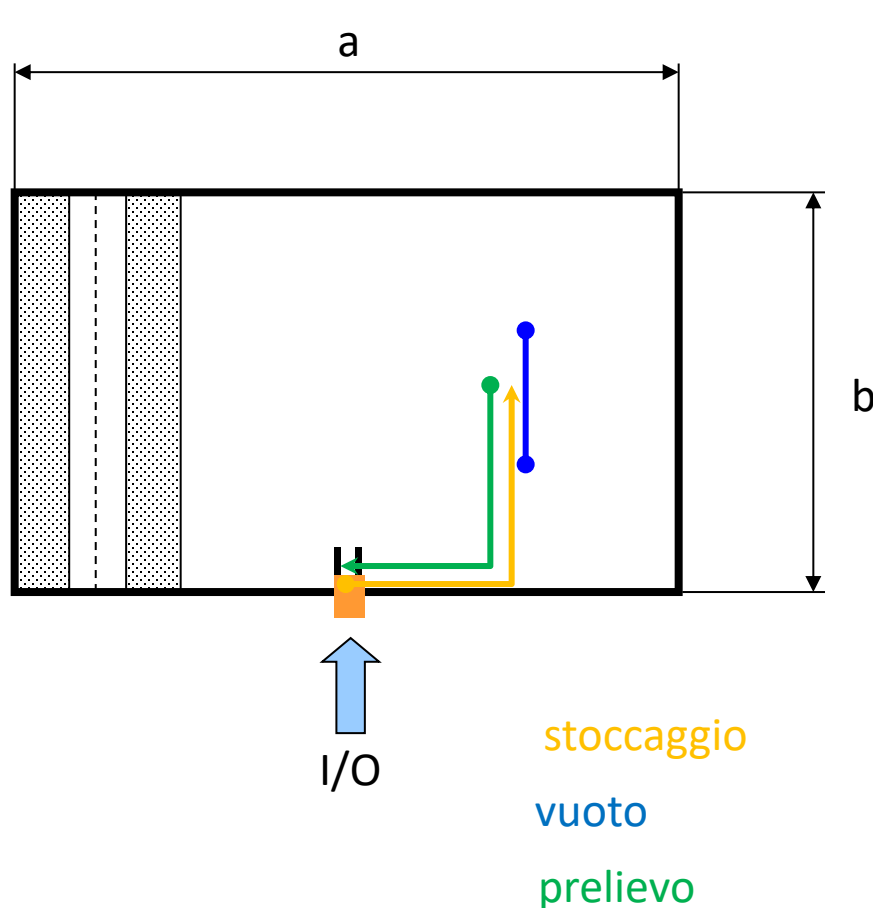
$$\frac{dr}{da} = 0 \Rightarrow \frac{4}{3} - 2 \cdot \frac{A}{a^2} = 0$$

$$a^* = \sqrt{\frac{3}{2}S}$$

$$b^* = \frac{S}{a} = \frac{S}{\sqrt{\frac{3}{2}S}}$$

$$\frac{a^*}{b^*} = \frac{\sqrt{\frac{3}{2}S}}{\frac{S}{\sqrt{\frac{3}{2}S}}} = \frac{3}{2} = 1,5$$

Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

Ciclo combinato su un corridoio, magazzino
longitudinale, banchina I/O posizione centrale

$$r = 2 \cdot \left(\frac{a}{4} + \frac{b}{2} \right) + \frac{b}{3}$$

$$r = \frac{a}{2} + \frac{4}{3}b$$

$$b = \frac{S}{a} \Rightarrow r = \frac{a}{2} + \frac{4}{3} \cdot \frac{S}{a}$$

$$\frac{dr}{da} = 0 \Rightarrow \frac{1}{2} - \frac{4}{3} \cdot \frac{S}{a^2} = 0$$

$$a^* = 2 \cdot \sqrt{\frac{2}{3}S} = \frac{2}{3}\sqrt{6S}$$

$$b^* = \frac{S}{a} = \frac{S}{\frac{2}{3}\sqrt{6S}} = \frac{1}{4}\sqrt{6S}$$

$$\frac{a^*}{b^*} = \frac{8}{3} = 2,66$$

Ciclo combinato

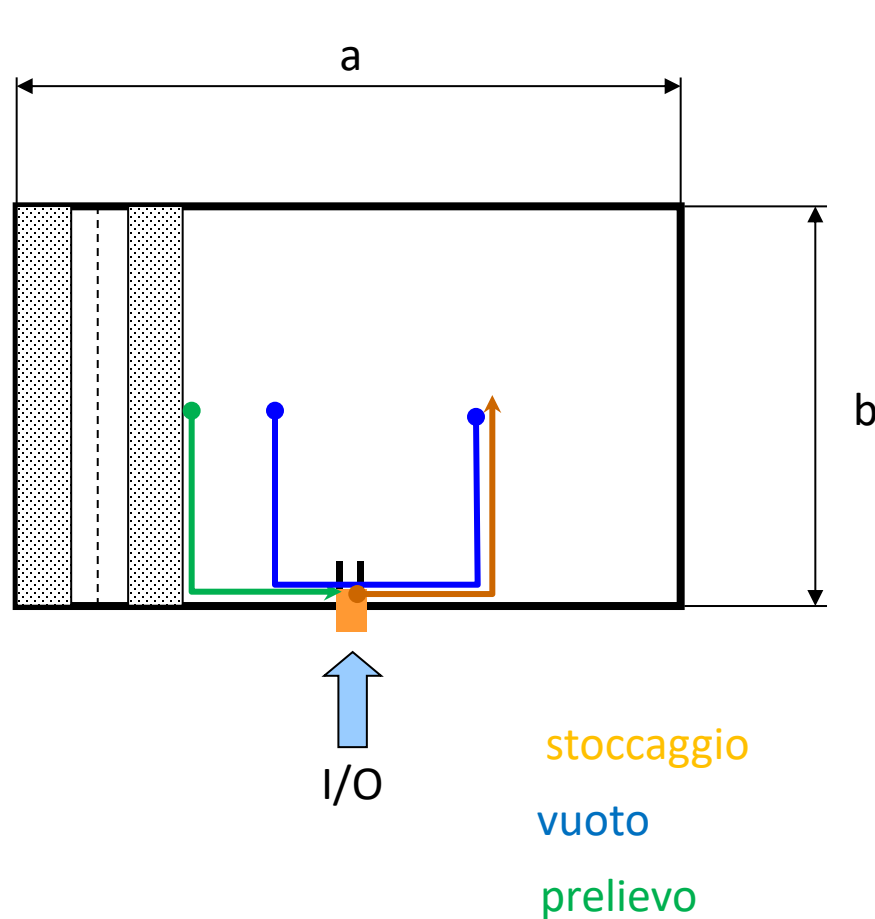
$$r^* = \frac{1}{3}\sqrt{6S} + \frac{1}{3}\sqrt{6S}$$

$$= \frac{2}{3}\sqrt{6S} = a^*$$

Ciclo semplice

$$r^* = 2a^* = 2\sqrt{2S}$$

Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

Ciclo combinato su 2 corridoi, magazzino
longitudinale, banchina I/O posizione centrale

$$r = 2 \cdot \left(\frac{a}{4} + \frac{b}{2} \right) + \frac{a}{3} + \frac{b}{2} + \frac{b}{2}$$

$$r = \frac{5}{6}a + 2b$$

$$b = \frac{S}{a} \Rightarrow r = \frac{5}{6}a + 2 \cdot \frac{S}{a}$$

$$\frac{dr}{da} = 0 \Rightarrow \frac{5}{6} - 2 \cdot \frac{A}{a^2} = 0$$

$$a^* = \sqrt{\frac{12}{5}S} = 2 \cdot \sqrt{\frac{3}{5}S}$$

$$b^* = \frac{S}{a} = \frac{S}{\sqrt{\frac{12}{5}S}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{5}{3}S}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{2 \cdot \sqrt{\frac{3}{5}S}}{\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{5}{3}S}} = \frac{12}{5} = 2,4$$

$$r^* = \frac{5}{6} \sqrt{\frac{12}{5}S} + \sqrt{\frac{5}{3}S}$$

$$r^* = 2 \sqrt{\frac{5}{3}S} = 4b^*$$

$$r^* = 1,667 a^*$$



Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

Combinazione di cicli semplici, combinati su 1 e 2 corridoi, magazzino longitudinale, banchina I/O posizione centrale

Notazione:

α : % di cicli combinati su 1 corridoio

β : % di cicli combinati su 2 corridoi

$1 - \alpha - \beta$: % di cicli semplici

r_{CS} : Percorso medio totale su due cicli semplici (1 di prelievo e 1 di stoccaggio)

r_{CC1} : Percorso medio totale ciclo combinato su 1 corridoio

r_{CC2} : Percorso medio totale ciclo combinato su 2 corridoi



Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

Percorso di ciclo semplice

$$r_{cs} = a + 2b$$

**Percorso di ciclo combinato
su un corridoio**

$$r_{cc1} = \frac{a}{2} + \frac{4}{3}b$$

**Percorso di ciclo combinato
su due corridoi**

$$r_{cc2} = \frac{5}{6}a + 2b$$

$$r = (1 - \alpha - \beta) \cdot r_{cs} + \alpha \cdot r_{cc1} + \beta \cdot r_{cc2}$$

$$r = r_{cs} - \alpha \cdot (r_{cs} - r_{cc1}) - \beta \cdot (r_{cs} - r_{cc2})$$

$$r = a + 2b - \alpha \cdot \left(\frac{1}{2}a + \frac{2}{3}b \right) - \beta \cdot \frac{1}{6}a$$

Risparmio sul percorso medio
totale ottenibile dal ciclo
combinato su 1 corridoio
rispetto al ciclo semplice

Risparmio sul percorso medio
totale ottenibile dal ciclo
combinato su 2 corridoi
rispetto al ciclo semplice



Dimensionamento: Layout ottimale area di stoccaggio

$$r = \left(1 - \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{6}\right)a + \left(2 - \frac{2}{3}\alpha\right)b = k_1a + k_2b$$

$$b = \frac{S}{a} \Rightarrow r = k_1a + k_2 \cdot \frac{S}{a}$$

$$\frac{dr}{da} = 0 \Rightarrow k_1 - \frac{k_2S}{a^2} = 0$$

$$a^* = \sqrt{\frac{k_2 \cdot S}{k_1}}$$

$$b^* = \sqrt{\frac{k_1S}{k_2}}$$

$$r^* = 2\sqrt{k_1k_2S}$$



I magazzini industriali

-

Allocazione dei codici in un magazzino manuale per UdC pallettizzate



Allocazione dei codici in un magazzino per UdC pallettizzate

- La politica di allocazione dei codici a magazzino influenza sia il tempo richiesto per i cicli di prelievo/deposito sia l'utilizzo dei vani
- Tramite l'indice di accesso, si ottiene una **stima** della probabilità di accesso ai vani
- Tre diverse politiche di allocazione:
 - Allocazione dedicata a ogni singolo codice (*dedicated storage*)
 - Allocazione casuale nei vani (*shared storage*)
 - Allocazione per classi di prodotti (*class-based storage*)



Allocazione *dedicated storage* (1)

- A ogni codice è assegnato, in modo esclusivo, un adeguato numero di vani
- La ricettività necessaria per il magazzino è pari alla somma dei vani dedicati a ciascun codice e, quindi, è al più pari alla somma delle giacenze massime previste (in numero di pallet) di tutti i codici stoccati

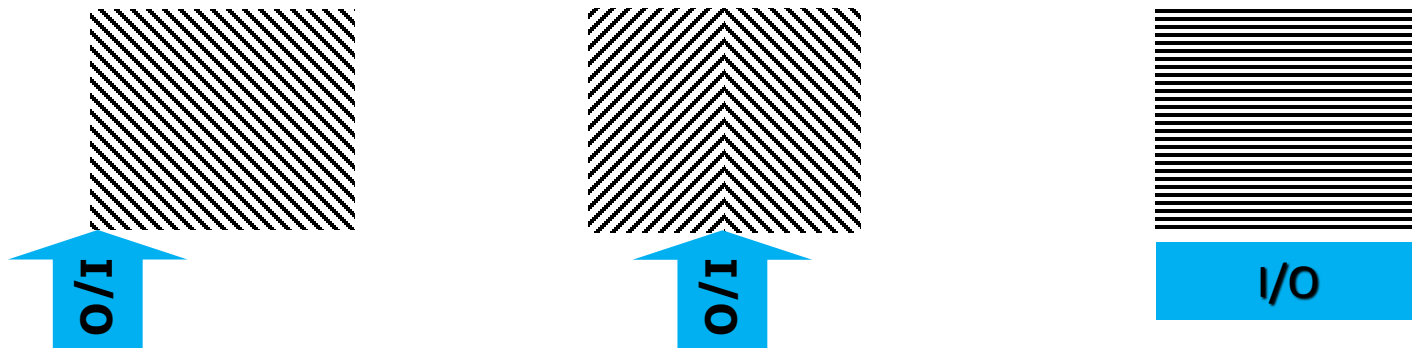


Allocazione *dedicated storage* (2)

- La scelta di quali vani dedicare a ciascun codice può essere fatta in base all'indice di accesso (IA_i): i codici sono allocati nel magazzino, a partire dalla banchina di I/O, per valori decrescenti dell'indice di accesso

Allocazione *dedicated storage* (3)

- Il profilo di allocazione dei codici dipende dalla posizione della banchina di I/O, che determina il profilo delle *curve isotempo di accesso*
- Def. **Curva isotempo di accesso**: luogo dei punti che richiedono il medesimo tempo di accesso dalla banchina I/O





Allocazione *dedicated storage* (4)

- Vantaggi:
 - Minimo tempo di accesso grazie al fatto che i codici sono sempre stoccati nella posizione ideale
 - Facile rintracciabilità da parte dell'operatore
- Svantaggi:
 - Minore utilizzo dei vani, in quanto riservati ai singoli codici prodotto
 - La ricettività richiesta è la somma delle giacenze massime dei singoli codici



Allocazione *shared* (o *random*) *storage* (1)

- Ogni unità di carico può occupare uno qualunque dei vani a magazzino
- L'allocazione è casuale: ogni qual volta si deve stoccare una UdC la si mette nel primo vano disponibile



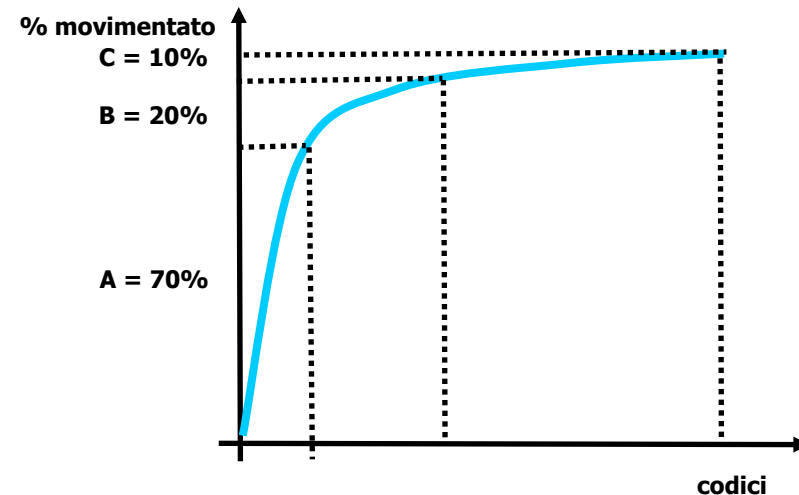
Allocazione *shared* (o *random*) *storage* (2)

- Vantaggi:
 - Massimo utilizzo dei vani a magazzino
 - La ricettività richiesta è la somma delle giacenze *medie* di tutti i codici (se non vi è correlazione tra di esse)
- Svantaggi:
 - Tempo di accesso più elevato: non è possibile sfruttare i benefici dell'allocazione in base all'IA
 - Rintracciabilità difficoltosa: serve sistema gestionale che guida l'operatore

Allocazione dei codici in un magazzino per UdC pallettizzate

Allocazione *class-based storage* (1)

- Coniuga le esigenze di ricettività (*shared*) e le esigenze di tempo di accesso (*dedicated*)
- Si identificano classi di codici sulla base dell'analisi ABC del movimentato annuo
- Ad ogni classe è assegnata una specifica zona del magazzino, mentre i codici della stessa classe sono allocati in modo *shared* nei vani dedicati alla classe





Allocazione *class-based storage* (2)

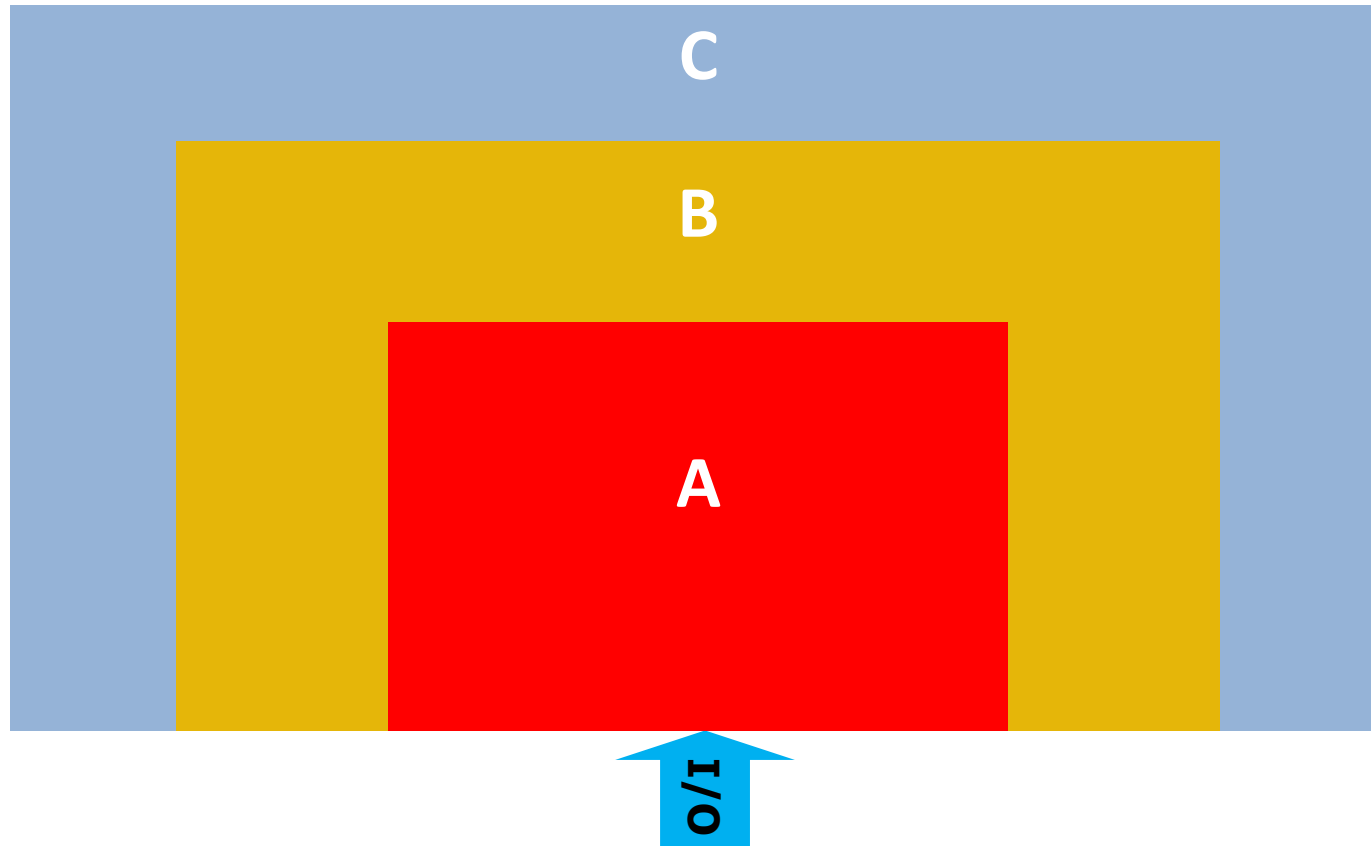
- Il numero di vani da assegnare ad una specifica classe è pari alla giacenza *complessiva* massima per tale classe, valore che differisce, anche sensibilmente, dalla somma delle giacenze massime di tutti gli articoli della classe (valore usato nell'allocazione *dedicated storage*)
 - Nella gestione aggregata in classi, i picchi e le valli di domanda **si compensano**



Allocazione *class-based storage* (3)

- I benefici in termini di tempo medio di accesso, rispetto all'allocazione completamente casuale, aumentano all'aumentare del numero di classi, ma, oltre un certo numero, il beneficio marginale diventa trascurabile
- All'aumentare del numero di classi, aumenta la complessità gestionale del sistema
- Nella pratica, come compromesso, si usano, generalmente, 3 ÷ 4 classi

Allocazione *class-based storage* (4)





I magazzini industriali

-

Dimensionamento del sistema di movimentazione in un magazzino manuale per UdC pallettizzate



Dimensionamento del sistema di movimentazione

Dati in ingresso al dimensionamento (1):

- Potenzialità di movimentazione richiesta, PM [movimentazione/h], valore medio che considera sia gli ingressi che le uscite
- Prestazione carrelli:
 - Velocità orizzontale, v_0 [m/min]
 - Velocità salita/discesa gruppo forche, v_u [m/min]
 - Tempi fissi, T_f [min/movimentazione] (tempi identici per tutti i cicli e indipendenti dal posizionamento del vano)



Dimensionamento del sistema di movimentazione

Dati in ingresso al dimensionamento (2):

- Percentuale di cicli combinati su un corridoio, α , combinati su 2 corridoi, β , e semplici, $1 - \alpha - \beta$
- Durata percorso medio di ciclo semplice, r_{CS} , combinato su un corridoio, r_{CC1} , e combinato su due corridoi, r_{CC2}
- Altezza vano di stoccaggio, h [m]
- Numero di vani di stoccaggio per modulo unitario, J



Dimensionamento del sistema di movimentazione

- Il dimensionamento è ottenuto assumendo che i codici siano stoccati in accordo alla politica *shared storage*
 - A parità di numero di carrelli, le politiche *dedicated* e *class-based* raggiungono una potenzialità di movimentazione maggiore (assunzione *shared storage* è cautelativa)
 - Inoltre, il calcolo del numero di carrelli è **semplificato**, grazie all'assunzione della *shared storage* (calcolo di r)



Dimensionamento del sistema di movimentazione

Si calcolano i tempi medi di movimentazione per ciclo:

$$t_{cs} = \frac{r_{cs}}{v_0} + 4 \frac{(J-1)h}{2} \frac{1}{v_u} + T_f \quad [\text{min/ciclo}] \quad \text{Ciclo semplice}$$

Tempo medio
traslazione
orizzontale

Tempo medio traslazione
verticale per 1 prelievo e 1
stoccaggio (4 salite e discese),
per altezza media $(J-1)h/2$

$$t_{cc1} = \frac{r_{cc1}}{v_0} + 4 \frac{(J-1)h}{2} \frac{1}{v_u} + T_f \quad [\text{min/ciclo}] \quad \text{Ciclo combinato su 1 corridoio}$$

$$t_{cc2} = \frac{r_{cc2}}{v_0} + 4 \frac{(J-1)h}{2} \frac{1}{v_u} + T_f \quad [\text{min/ciclo}] \quad \text{Ciclo combinato su 2 corridoi}$$

Dimensionamento del sistema di movimentazione

Il tempo medio di ciclo è dato da

$$t = (1 - \alpha - \beta)t_{cs} + \alpha t_{cc1} + \beta t_{cc2} \quad \left[\frac{\text{min}}{\text{ciclo}} \right]$$

e il numero di carrelli necessario a soddisfare il numero di movimentazioni richieste per ora è

In ogni ciclo del
carrello sono
inclusi 1 stoccaggio
e 1 prelievo

$$N = \left\lceil \frac{PM}{60} \frac{1}{\frac{2}{t} \eta_1 \eta_2} \right\rceil$$

Dove η_1 ($0 < \eta_1 \leq 1$) tiene conto delle varie inefficienze presenti nel sistema e η_2 ($0 < \eta_2 \leq 1$) considera picchi di richiesta oltre il valore medio



I magazzini industriali

-

Bibliografia



Bibliografia

Caron, F., Marchet, G., Wegner, R. (1997). *Impianti di movimentazione e stoccaggio dei materiali*. HOEPLI: Milano.