

## DIMENSIONAMENTO DI UN MAGAZZINO AUTOMATIZZATO SERVITO DA TRASLOELEVATORI

Quando si utilizzano trasloelevatori, un aspetto importante da considerare, è la possibilità di traslare simultaneamente in direzione orizzontale e verticale. Questo fa sì che negli spostamenti tra un punto e l'altro del magazzino, la durata del percorso è data dal valore massimo tra il tempo di traslazione orizzontale e quello verticale.

Supponiamo di dover dimensionare un magazzino automatizzato servito da trasloelevatori, in cui i vincoli progettuali sono i seguenti:

### DATI

- Altezza massima utile magazzino (sistema antincendio già considerato)  $H_{\max} = 30 \text{ m}$ ;
- Profondità massima scaffalature  $q_{\max} = 100 \text{ m}$ ;
- Quota di ingresso/uscita trasloelevatore  $Y_{I/O} = 5 \text{ livello}$ ;
- Giacenza richiesta  $G = 16000 \text{ pallet}$ ;
- Potenzialità di movimentazione PM = (120 in + 120 out) pallet/h totalmente random;
- Dimensioni UDC 800 (b) x 1200 (L) x 1400 (h)
- Modalità di funzionamento trasloelevatore: 50% ciclo semplice + 50% ciclo combinato;

Si è scelto di impiegare un trasloelevatore per ogni corridoio (soluzione tipica). Il costruttore dei trasloelevatori ha fornito le specifiche prestazionali delle proprie macchine:

- Velocità orizzontale  $V_x = 2 \text{ m/s}$ ;
- Velocità verticale  $V_y = 0.6 \text{ m/s}$ ;
- Tempi fissi  $T_f = 20 \text{ s}$ ;
- Larghezza corridoio  $L_c = 1.5 \text{ m}$ .

Per ciò che riguarda le scaffalature, si impiegheranno unità modulari in profilati d'acciaio delle seguenti caratteristiche:

- Spessore montante: 100mm
- Spessore corrente: 100mm;
- Gioco fra due pallet: 100mm;
- Gioco pallet/montante: 100mm;
- Gioco pallet/corrente: 150mm.

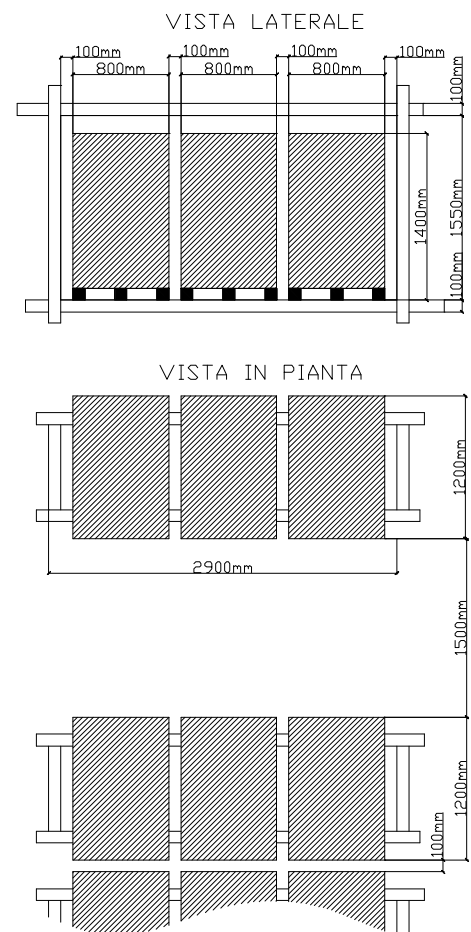
Si è deciso di stoccare il materiale "di punta", perciò, le UDC saranno disposte come nella figura accanto che mostra le dimensioni del "modulo base".

### RISOLUZIONE DEL PROBLEMA

Modulo Base MB<sub>1</sub> (1 livello):

- $H_b = 1650 \text{ mm}$ ;
- $p_b = 4000 \text{ mm}$ ;
- $q_b = 2900 \text{ mm}$ ;
- Capacità stoccaggio  $G_{1b} = 6 \text{ pallet}$ .

Numero livelli in verticale:



$$N_H = \frac{H_{\max}}{H_b} = \frac{30000}{1650} = 18.18 \rightarrow \mathbf{18 \text{ livelli}}$$

I rimanenti 300mm (30.000-18\*1650) siano allocati tutti come gioco a soffitto.  
Quindi per ogni campata del magazzino (MB<sub>18</sub>) possono essere stoccati:

$$G_{18b} = 18 \cdot G_b = \mathbf{108 \text{ UDC}}$$

Tale dato è utile per stimare le dimensioni in pianta del futuro magazzino, infatti, nota la giacenza totale richiesta e la giacenza di una campata G<sub>18b</sub> è possibile calcolare facilmente quanti moduli base sono necessari e, quindi, l'area da impegnare per lo stoccaggio:

$$N_{MB} = \frac{G}{G_{18b}} = \frac{16000}{108} = 148.15 \rightarrow \mathbf{149 \text{ MB}} \rightarrow A_{\text{mag}} = 149 \cdot (p_b \cdot q_b) = 149 \cdot 4 \cdot 2.9 = \mathbf{1728 \text{ m}^2}$$

L'area del magazzino dovrà approssimativamente essere pari ad 1728 m<sup>2</sup>.  
Supponiamo di voler dimensionare il magazzino in modo tale che il rapporto tra la sua larghezza p e la sua profondità q sia pari a 0.5 (valore arbitrario ma condivisibile per non dimensionare magazzini troppo stretti e lunghi o viceversa), si ha:

$$\frac{p}{q} = 0.5 \longrightarrow A = p \cdot q = 0.5 \cdot q^2 = 1728 \longrightarrow q = \sqrt{\frac{1728}{0.5}} = 58.9 \text{ m}$$

Con tale valore della profondità q posso, quindi, inserire un numero di campate pari a:

$$N_L = \frac{q}{q_b} = \frac{58.9}{2.9} = 20.31 \longrightarrow N_L = 21 \text{ campate}$$

Con N<sub>L</sub>= 21, comunque, è rispettato il vincolo della profondità massima q<sub>max</sub>=100 m imposto dal committente, infatti:

$$q = N_L \cdot q_b = 21 \cdot 2.9 = 60.9 \text{ m} < 100 \text{ m}$$

Avendo nota la lunghezza di ogni corridoio, è ora possibile calcolare la giacenza di ogni corridoio e conseguentemente il numero minimo di corridoi da inserire nel futuro magazzino:

$$G_{1\text{corr}} = N_L \cdot G_{18b} = 21 \cdot 108 = \mathbf{2268 \text{ UDC}}$$

$$N_{\text{corr}} = \frac{G}{G_{1\text{corr}}} = \frac{16000}{2268} = \mathbf{7.05} \rightarrow \text{(arrotondato per difetto per non acquistare un traslo in più)} \mathbf{N_{\text{corr}} = 7}$$

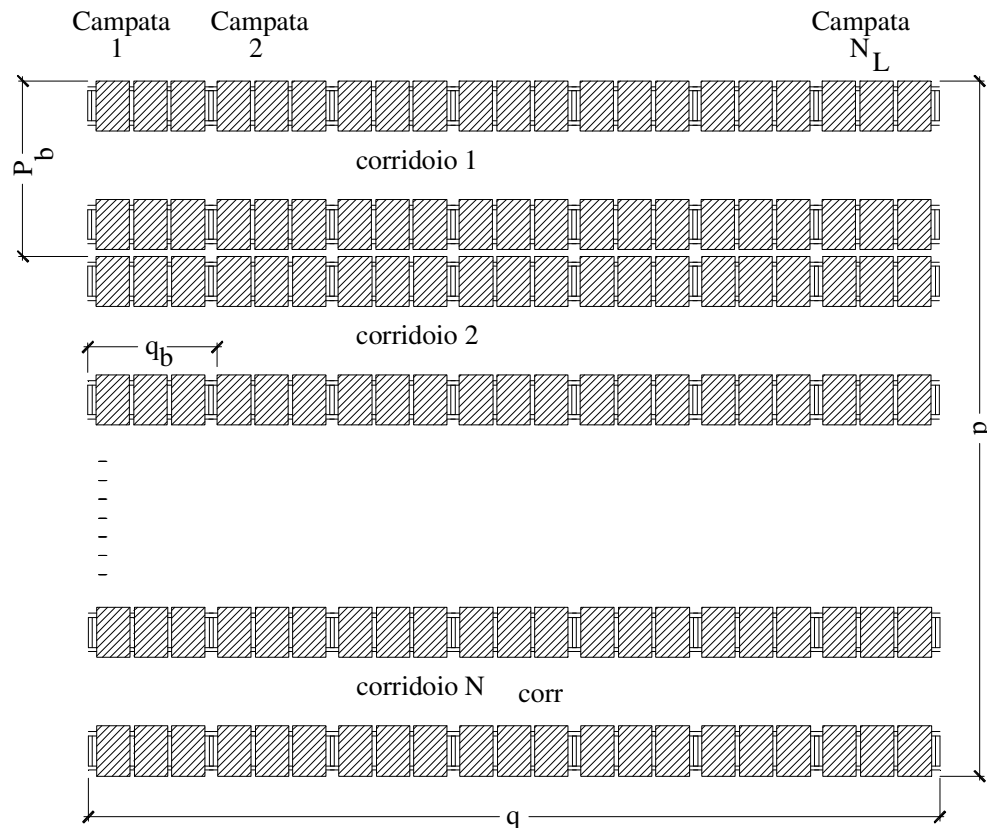
Ma l'arrotondamento per difetto, mantenendo inalterate le grandezze calcolate in precedenza, comporta un sottodimensionamento del magazzino rispetto alla giacenza minima richiesta G. Ciò comporta la modifica del numero di campate per corridoi che da N<sub>L</sub>= 21 deve essere aumentato a N<sub>L</sub>= 22 per garantire G>16000, infatti:

$$G = N_L \cdot G_{18b} \cdot N_{\text{corr}} \begin{cases} 21 \cdot 108 \cdot 7 = 15876 < 16000 \text{ _insufficiente} \\ 22 \cdot 108 \cdot 7 = 16632 > 16000 \text{ _corretto} \end{cases}$$

Si fa presente, inoltre, che la condizione di massima profondità q<sub>max</sub> è comunque garantita anche con 22 campate (q = 22 · 2.9 = 63.8 m < 100 m)

Riassumendo il magazzino sarà così dimensionato:

- Numero di livelli in verticale: 18 livelli in verticale →  $H = 29.7 \text{ m}$
- Numero di campate: 22 campate →  $q = 63.8 \text{ m}$
- Numero di corridoi: 7 corridoi →  $p = 28.0 \text{ m}$



Rimane la verifica della potenzialità di movimentazione dei trasloelevatori che vanno inseriti nei corridoi.

Si procede trasformando in coordinate temporali le dimensioni delle campate. Tenendo presente che il punto di I/O deve essere alla quota del 5° livello (dato di progetto), si considera la scaffalatura costituita da due porzioni di dimensioni diverse (parte 1 e 2), ubicate una al di sopra ed una al di sotto del punto I/O. Quindi, in coordinate temporali \*:

Parte 1:

$$T^1_q = \frac{q}{v_x} = \frac{63.8}{2} = 31.9s$$

$$T^1_h = \frac{H_1}{v_y} = \frac{21.45}{0.6} = 35.75s$$

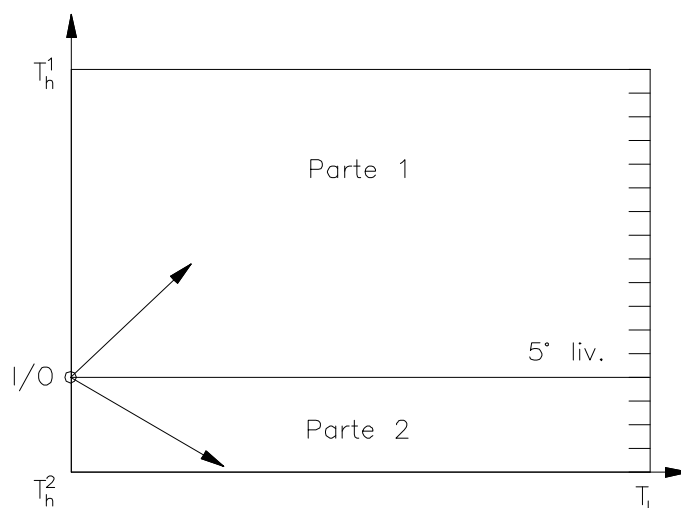
Dove  $H_1 = ((18-4)-1) * 1.65 = 21.45 \text{ m}$

$$T^1 = \max(T_q; T_h) = 35.75 \text{ s}$$

$$b^1 = \min(T_q/T; T_h/T) = 0.89$$

Parte 2:

$$T^2_q = \frac{q}{v_x} = \frac{63.8}{2} = 31.9s$$



$$T^2_h = \frac{H_2}{v_y} = \frac{6,60}{0,6} = 11,00s$$

$$T^2 = \max(T_q; T_h) = 31,90s$$

$$b^2 = \min(T_q/T; T_h/T) = 0,34$$

E' possibile, dunque, calcolare il tempo di ciclo semplice e di ciclo combinato di entrambe le porzioni di magazzino (parte 1 e 2), utilizzando l'approccio Bozer-White:

$$T_m(CS) = T \left( 1 + \frac{b^2}{3} \right) + 2 \cdot T_f$$

$$T_m(CC) = T \left( \frac{4}{3} + \frac{b^2}{2} - \frac{b^3}{30} \right) + 4 \cdot T_f$$

Parte 1	Parte 2
$T^1_m(CS) = 85,19 \text{ s}$	$T^2_m(CS) = 73,13 \text{ s}$
$T^1_m(CC) = 140,98 \text{ s}$	$T^2_m(CC) = 124,34 \text{ s}$

Quelli calcolati sono i tempi di ciclo delle due porzioni d'area, una soprastante e l'altra sottostante il punto I/O. Per il calcolo dei tempi di ciclo  $T_m(CS)$  e  $T_m(CC)$  di TUTTO il corridoio è sufficiente calcolare la media dei precedenti considerando come peso l'area delle due porzioni di magazzino (ciò è lecito per la condizione di equiprobabilità dei prelievi).

Quindi, si ha:

$$T_m(CS) = \frac{T^1_m(CS) \cdot A_1 + T^2_m(CS) \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{85,19 \cdot 1140,43 + 73,13 \cdot 350,9}{1140,43 + 350,9} = 82,35 \text{ s/ciclo}$$

$$T_m(CC) = \frac{T^1_m(CC) \cdot A_1 + T^2_m(CC) \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{140,98 \cdot 1140,43 + 124,34 \cdot 350,9}{1140,43 + 350,9} = 137,06 \text{ s/ciclo}$$

Con  $A_1 = 31,9 \cdot 35,75 = 1140,43$  e  $A_2 = 31,9 \cdot 11 = 350,9$

Inoltre, nota la politica di utilizzo dei trasloelevatori che saranno impiegati per il 50% del tempo per compiere Cicli Semplici e per il 50% per compiere Cicli Combinati, si può calcolare la potenzialità di movimentazione ottenibile dal magazzino appena progettato. Va tenuto presente, però, che il  $T_m(CS)$  è da considerarsi a metà del proprio valore per il fatto che servono due cicli semplici per depositare e prelevare le UDC (attraversamento del magazzino = ciclo IN e ciclo OUT). Quindi:

$$PM_{1 \text{ traslo}} = \frac{3600}{\%CS \cdot T_m(CS) \cdot 2 + \%CC \cdot T_m(CC)} = \frac{3600}{0,5 \cdot T_m(CS) \cdot 2 + 0,5 \cdot T_m(CC)} = 23,86 \text{ pallet/h}$$

Con  $\%CS + \%CC = 100\%$

$$PM_{tot} = 23,86 \cdot N_{corr} = 23,86 \cdot 7 = 167,02 \text{ pallet/h}$$

Il valore così trovato è molto superiore a quello atteso pari a 120 pallet/h. Ciò significa che forse è possibile diminuire il numero di trasloelevatori (quindi il numero di corridoi) del magazzino ricalcolando completamente le profondità dei corridoi stessi.

Passando a 6 corridoi, infatti, mantenendo l'altezza delle scaffalature calcolata in precedenza, si ottiene:

- Numero di livelli in verticale: 18 livelli in verticale →  $H = 29,7 \text{ m}$
  - Numero di campate: 25 campate →  $q = 72,5 \text{ m} (25 \cdot 2,9)$
- $$6 \cdot 108 \cdot N_L \geq 16000$$

$$N_L \geq \frac{16000}{648} = 24,69 \longrightarrow 25 \text{ campate}$$

- Numero di corridoi: 6 corridoi  $\rightarrow p = 24.0 \text{ m } (p_b * 6)$
- Giacenza totale: 16200 pallet

$$G = N_L \cdot G_{18b} \cdot N_{corr} = 25 \cdot 108 \cdot 6 = 16.200 \text{ pallet}$$

Per quanto concerne la potenzialità di movimentazione, utilizziamo il medesimo metodo applicato in precedenza:

Parte 1:

$$T^1_q = \frac{q}{v_x} = \frac{72.5}{2} = 36.25s$$

$$T^1_h = \frac{H_1}{v_y} = \frac{21.45}{0.6} = 35.76s$$

$$T^1 = \max(T_q; T_h) = 36.25 \text{ s}$$

$$b^1 = \min(T_q/T^1; T_h/T^1) = 0.99$$

Parte 2:

$$T^2_q = \frac{q}{v_x} = \frac{72.5}{2} = 36.25s$$

$$T^2_h = \frac{H_2}{v_y} = \frac{6.60}{0.6} = 11s$$

$$T^2 = \max(T_q; T_h) = 36.25s$$

$$b^2 = \min(T_q/T^2; T_h/T^2) = 0.30$$

$$T^1_m(CS) = 88.09s \quad T^2_m(CS) = 77.34s$$

$$T^1_m(CC) = 144.92s \quad T^2_m(CC) = 129.93s$$

$$T_m(CS) = \frac{T^1_m(CS) \cdot A_1 + T^2_m(CS) \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{88.09 \cdot 1296.3 + 77.34 \cdot 398.75}{1296.3 + 398.75} = 85.56 \text{ s}$$

$$T_m(CC) = \frac{T^1_m(CC) \cdot A_1 + T^2_m(CC) \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{144.92 \cdot 1296.3 + 129.93 \cdot 398.75}{1296.3 + 398.75} = 141,39 \text{ s}$$

$$\text{Con } A_1 = 36.25 \cdot 35.76 = 1296.3 \text{ e } A_2 = 36.25 \cdot 11 = 398.75$$

$$PM_{1 \text{ traslo}} = 23.04 \text{ pallet/h} \quad PM_{tot} = 138.24 \text{ pallet/h}$$

Come si vede, pur soddisfacendo le richieste della committenza, con questa seconda semplice verifica è stato possibile ridurre il numero di trasloelevatori nel magazzino con notevoli vantaggi economici da parte del cliente.

\* Il modello adottato risulta rappresentativo di magazzini con pallet a livello 1 appoggiato al pavimento. Nel caso di pallet a livello 1 appoggiato a un corrente o sollevato da terra risulta necessario considerare anche tali altezze nel calcolo del percorso verticale del trasloelevatore. In ogni caso, il modello adottato esegue una semplificazione. Non considera una corsa di circa 30 cm in altezza necessaria per sollevare il pallet sull'ultimo livello dal corrente, al fine della sua estrazione dal vano.