

POSITION PAPER 02/2022

# MAGAZZINI VERTICALI AUTOMATICI VLM Calcolo delle prestazioni



**ANIMA**<sup>®</sup>  
CONFINDUSTRIA  
MECCANICA VARIA



ASSOCIAZIONE ITALIANA SISTEMI DI SOLLEVAMENTO, ELEVAZIONE E MOVIMENTAZIONE  
ITALIAN ASSOCIATION OF SYSTEMS FOR LIFTING, ELEVATION AND HANDLING

Scopo del presente documento è presentare un metodo condiviso per il calcolo delle prestazioni di un magazzino verticale automatico (VLM – Vertical Lift Module) in termini di movimentazioni dell’unità di carico (UdC) nell’unità di tempo, capace di valutare il tempo di produzione del magazzino ovvero il numero di unità di carico consegnate in un’ora.

## Sommario

	pag.
1. SCOPO .....	3
2. Definizioni .....	3
2.1 Le tipologie di baie .....	4
2.2 Indice delle Figure .....	4
2.3 Ciclo semplice. ....	4
2.4 Il tempo di ciclo semplice .....	5
2.5 Ciclo combinato .....	5
2.6 Tempo di ciclo combinato .....	6
3. Calcolo .....	7
3.1 Assunzioni .....	7
3.2 La scelta dei punti .....	8
4. Conclusioni. ....	9
4.1 Per l’esposizione dei dati in offerta commerciale .....	9
5. Test e simulazioni .....	9
5.1 Le formule di calcolo delle prestazioni di un VLM .....	9
5.2 Le prove eseguite e i risultati ottenuti .....	11
Prove in simulazione .....	11
Prove sperimentali .....	11
Valutazioni .....	12

## 1. SCOPO

Scopo del presente documento è presentare un metodo condiviso per il calcolo delle prestazioni di un magazzino verticale automatico (VLM – Vertical Lift Module) in termini di movimentazioni dell'unità di carico (UdC) nell'unità di tempo, capace di valutare il tempo di produzione (throughput) del magazzino ovvero il numero di unità di carico consegnate in un'ora.

Il documento si ispira al documento FEM 9.851 Performance Data of S/R Machines Cycle Times (rev. 06/2003) con le dovute modifiche di adattamento ai sistemi VLM.

Nella prima parte del documento è descritto come calcolare le prestazioni del sistema VLM e come organizzare le informazioni da comunicare al cliente all'interno dell'offerta commerciale.

La seconda parte del documento è un report dettagliato delle prove eseguite per mettere a confronto i risultati ottenuti utilizzando due approcci, uno dei quali direttamente derivato dalla raccomandazione FEM 9.851. In particolare sono state eseguite prove simulate e prove sperimentali su un magazzino automatico utilizzando un generatore casuale di liste di movimentazione.

## 2. DEFINIZIONI

Baia munita di doppio livello	Baia in cui sono presenti due livelli in cui poter depositare un vassoio; è possibile accedere ad un solo vassoio per volta e a quello depositato in basso solo se il livello superiore è vuoto
Baie cooperanti	Baie utilizzate dal medesimo "operatore" <sup>1</sup> in maniera sequenziale
Baie multiple	Baie che ricadono in una delle tipologie descritte sopra: baia munita di doppio livello o baie cooperanti.
Sistema di elevazione in baia	Sistema in cui è possibile depositare il vassoio mentre l'operatore opera sul vassoio presente in baia e lo rende disponibile a seguito del prelievo del vassoio presente in baia. Può essere assimilato ad un buffer in cui viene depositato il vassoio mentre l'operatore sta effettuando operazioni sull'unità di carico in baia
Tempo ciclo combinato per sistemi di baie multiple	Tempo necessario a rendere disponibile nella seconda baia/livello di baia un nuovo vassoio partendo con l'elevatore dal livello della prima baia/livello di baia
Tempo ciclo combinato per baia 'semplice'	Tempo che intercorre tra la fine delle operazioni da parte dell'operatore su un vassoio e l'inizio delle operazioni sul vassoio successivo
Tempo operatore	Tempo che intercorre tra il momento in cui l'unità di carico è disponibile nella baia e la fine delle operazioni sulla stessa
Tempo di gestione vassoio	Tempo che intercorre tra l'avvio della movimentazione del vassoio richiesto dall'operatore al completamento delle operazioni di picking/refilling in baia sul medesimo vassoio.

<sup>1</sup> L'operatore può essere un umano o un robot collaborativo.

## 2.1. Le tipologie di baie

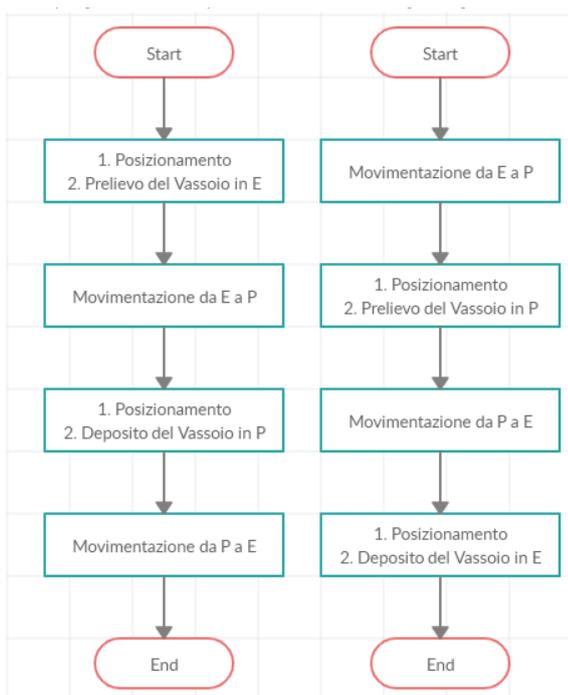
I tipi di baia considerati sono i seguenti:

1. Baie cooperanti (solo magazzini multicolonna): baie che sono utilizzate dal medesimo "operatore"<sup>2</sup> in maniera sequenziale; in linea di massima due baie per essere considerate cooperanti devono trovarsi allo stesso livello e devono essere 'vicine'.
2. Baia con doppio livello: nella baia sono presenti due livelli in cui poter depositare un vassoio; è possibile accedere ad un solo vassoio per volta e a quello depositato in basso solo se il livello superiore è vuoto.
3. Baia munita di sistema di elevazione: nella baia è presente un sistema in cui è possibile depositare il vassoio mentre l'operatore opera sul vassoio presente in baia; può essere assimilato ad un buffer in cui viene depositato il vassoio mentre l'operatore sta effettuando operazioni sull'unità di carico in baia.

## 2.2. Indice delle Figure

	pag.
Figura 1 Fasi del Ciclo Semplice di Deposito e di Prelievo . . . . .	4
Figura 2 Ciclo Semplice di Deposito e di Prelievo . . . . .	5
Figura 3 Schematizzazione del Ciclo Combinato per sistemi di baie multiple . . . . .	6
Figura 4 Tabella per la scelta dei punti di prelievo deposito . . . . .	8
Figura 5 Ciclo Combinato VLM proposto (gdl VLM – AISEM) . . . . .	10
Figura 6 Fasi del Ciclo Combinato VLM (C1) . . . . .	10
Figura 7 Tabella riassuntiva dei risultati ottenuti dalle prove eseguite in simulazione . . . . .	11
Figura 8 Tabella riassuntiva dei risultati ottenuti dalle prove sperimentali . . . . .	11

## 2.3. Ciclo semplice



Le fasi che compongono il ciclo semplice sono illustrate nella figura seguente:

**Figura 1** Fasi del Ciclo Semplice di Deposito e di Prelievo

<sup>2</sup> L'operatore può essere un umano o un robot collaborativo.

## 2.4. Il tempo di ciclo semplice

Infine è necessario definire come calcolare il tempo ciclo semplice: media aritmetica del tempo ciclo semplice di prelievo e del tempo ciclo semplice di deposito così come descritto nella Norma FEM 9.851 al paragrafo 2.3.1 e schematizzati sotto:



Figura 2 Ciclo Semplice di Deposito e di Prelievo

Il tempo ciclo semplice di deposito, rispetto al tempo ciclo semplice di prelievo, prevede la presenza di un vassoio in baia; in entrambi i casi l'elevatore è posizionato a livello della baia all'avvio della movimentazione.

Il tempo ciclo semplice massimo è definito come il tempo ciclo semplice dove il vassoio interessato dalla movimentazione è quello posizionato nell'allocatione di magazzino più distante dalla baia. Nel caso in cui la baia non sia posizionata "a terra", la movimentazione prevista dal ciclo deve prevedere che l'elevatore si trovi al livello più basso (livello 0).

Tutti tempi descritti in questo capitolo sono da considerarsi calcolati a partire da magazzino fermo, ovvero non deve essere presente nessuna movimentazione in corso avviata precedentemente.

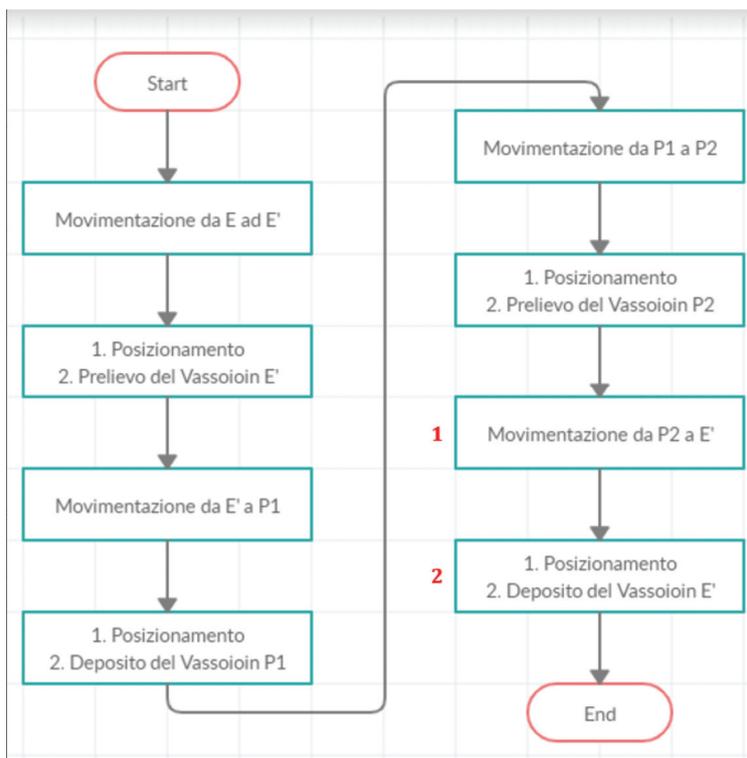
Oltre a questo, è necessario eseguire il calcolo del tempo ciclo combinato nel caso in cui la baia non si possa considerare 'semplice'.

## 2.5. Ciclo combinato

Il ciclo combinato per sistemi di baie multiple può essere schematizzato nel modo seguente dove

- E è la posizione della baia (il primo livello o il livello di deposito nel sistema di elevazione in baia),
- E' è la posizione della seconda baia o del secondo livello di baia o del livello di operatività della baia con sistema di elevazione,

- P1 e P2 sono i punti interni al magazzino individuati utilizzando la tabella di Figura 4 rispetto alla baia E'.
- All'avvio della movimentazione il traslo è posizionato a livello di E e le baie hanno vassoio a bordo.



**Figura 3** Schematizzazione del Ciclo Combinato per sistemi di baie multiple

Nel caso di baia con sistema di elevazione la movimentazione indicata con 1 è da P2 a E, la fase 2 diventa *Posizionamento e Deposito Vassoio in E*.

Il ciclo descritto risulta essere ripetibile: nel caso interessi la prima baia (caso baie cooperanti) o il primo livello di baia (caso baie con due livelli di deposito/prelievo), ad inizio ciclo l'elevatore dovrà trovarsi dietro la baia/il livello di baia considerato e i punti P1 e P2 dovranno essere individuati rispetto a questa/questo. Nulla varia per il caso di baia munita di sistema di elevazione.

## 2.6. Tempo di ciclo combinato

Il Tempo Ciclo Combinato può essere definito come il tempo necessario a rendere disponibile nella seconda baia/livello di baia un nuovo vassoio partendo con l'elevatore dal livello della prima baia/livello di baia. Nel caso di baia 'semplice' il Tempo Ciclo Combinato rappresenta il tempo che intercorre tra la fine delle operazioni da parte dell'operatore su un vassoio e l'inizio delle operazioni sul vassoio successivo.

### 3. CALCOLO

#### 3.1. Assunzioni

- a. Nel caso in cui la macchina parametrizzi la velocità in funzione del carico, i dati devono essere forniti sia per vassoio a pieno carico nominale che a metà carico.
- b. Le movimentazioni devono interessare un vassoio alto 300 mm.
- c. Deve essere possibile eseguire il ciclo combinato per un'ora in modo da poter confrontare il tempo misurato con quello indicato al punto a. (la Norma FEM 9.851 indica in 5 i cicli consecutivi da eseguire)
- d. Per il dato al punto c. deve essere indicato come varia il numero di vassoi consegnati all'ora al variare del tempo operatore (tempo che intercorre tra il momento in cui l'unità di carico è disponibile nella baia e la fine delle operazioni sulla stessa), considerando i seguenti tempi operatore:
  - 0 sec
  - 30 sec
  - 60 sec
  - 90 sec.

Il numero di vassoi consegnati all'ora sarà ottenuto come il rapporto tra 3600 e il tempo di gestione vassoio (misurato in secondi).

- e. Se il magazzino verticale è dotato di baia singola ad unico livello e priva di sistema di sollevamento, il tempo di gestione vassoio è la somma del Tempo Ciclo Combinato e il tempo operatore.
- f. Se il magazzino verticale è dotato di un sistema di baie/livelli di carico multipli 'cooperanti', definiamo:  
 $T_{moveNext}$  = Tempo Posizionamento Prossimo Vassoio già in zona di Picking  
 $T_{moveToBay}$  = Tempo Ciclo Combinato –  $T_{moveNext}$   
 $T_{picking}$  = Tempo Operatore.  
Se  $T_{picking} > T_{moveToBay}$  → la fase di chiamata/ritorno cassetto in baia è mascherata da tempo di picking e tempo di gestione vassoio sarà:  
 $T_{moveNext} + T_{picking}$ .

Se  $T_{picking} < T_{moveToBay}$  → il tempo di gestione vassoio sarà il tempo del Ciclo Combinato.

*A titolo d'esempio:*

- Nel caso particolare di baia con elevatore in baia,

"Tempo Posizionamento Prossimo Vassoio già in zona di Picking" ( $T_{moveNext}$ ) è pari alla somma dei tempi per:

- aprire la porta di chiusura (se presente);
- caricare vassoio in baia;
- spostarsi elevatore in baia verso alto + chiusura porta, se presente;

Nel caso particolare di baia munita di doppio livello interni il "Tempo Posizionamento Prossimo Vassoio già in zona di Picking" ( $T_{moveNext}$ ) è pari alla somma dei tempi per:

- aprire la porta di chiusura (se presente);

- depositare il vassoio ad un livello della baia;
- spostarsi verso l'altro livello di baia;
- prelevare il vassoio su cui sono state completate le operazioni;
- chiudere la porta di chiusura (se presente).

- Nel caso particolare di baia munita di doppio livello esterni il "Tempo Posizionamento Prossimo Vassoio già in zona di Picking" ( $T_{moveNext}$ ) è pari al tempo di scambio cassetto.

- Nel caso particolare di 2 baie cooperanti il "Tempo Posizionamento Prossimo Vassoio già in zona di Picking" ( $T_{moveNext}$ ) è nullo.

- g. In caso di più baie 'non cooperanti', nel documento di offerta deve essere indicata rispetto a quale baia sono stati calcolati i valori prestazionali descritti sopra; per default potrebbe essere utilizzata quella più favorevole.  
Infine, all'interno dell'offerta commerciale deve essere indicata la percentuale di precisione dei dati riportati che può attestarsi al 5%.

### 3.2. La scelta dei punti

Nel caso di VLM i punti E ed A (così come definiti al paragrafo 2.1 della norma FEM 9.851) vanno considerati coincidenti e corrispondenti alla baia.

In questo modo il tempo ciclo combinato per magazzino verticale con baia 'semplice' descritto in Figura 6 coincide con quello della norma FEM 9.851 al paragrafo 2.3.2.

A seconda della disposizione della baia vengono scelti opportunamente due punti interni al magazzino che vengono discretizzati per considerare l'allocazione di magazzino corrispondente.

In caso di magazzino multicolonna e di allocazione di magazzino con posizione nella stessa colonna in cui è posizionata la baia deve essere considerata l'allocazione di magazzino alla medesima altezza ma disposto nella colonna adiacente.

I casi possibili di disposizione della baia sono i seguenti:

1. Baia posizionata in un vertice inferiore del magazzino;
2. Baia disposta sopra il vertice inferiore;
3. Baia posizionata sullo spigolo inferiore;
4. Baia disposta in mezzo al volume di lavoro.

Di seguito la tabella per la scelta dei punti P1 e P2 note

- Le coordinate del punto E, ovvero la posizione della baia;
- La larghezza del magazzino L;
- L'altezza utile H del VLM, ovvero lo spazio disponibile per il deposito delle unità di carico:

E	Coordinate P <sub>1</sub> (x ; y)	
	$0 < x_e \leq L/2$	$L/2 < x_e \leq L$
$0 < y_e \leq H/2$	$(1/5L+1/3x_e; 2/3H+1/3y_e)$	$(7/15L+1/3x_e; 2/3H+1/3y_e)$
$H/2 < y_e \leq H$	$(1/5L+1/3x_e; 1/3y_e)$	$(7/15L+1/3x_e; 1/3y_e)$
E	Coordinate P <sub>2</sub> (x ; y)	
	$0 < x_e \leq L/2$	$L/2 < x_e \leq L$
$0 < y_e \leq H/2$	$(2/3L+1/3x_e; 1/5H+1/3y_e)$	$(1/3x_e; 1/5H+1/3y_e)$
$H/2 < y_e \leq H$	$(2/3L+1/3x_e; 7/15H+1/3y_e)$	$(1/3x_e; 7/15H+1/3y_e)$

**Figura 4** Tabella per la scelta dei punti di prelievo deposito

In caso di magazzino monocolonna si consideri  $L$  pari a 0 e, in maniera analoga, il valore di  $x_E$  è pari a 0: per tanto le coordinate  $x$  dei punti P1 e P2 saranno pari a 0.

Se si considera un magazzino multicolonna il valore di  $x_E$  è pari alla distanza che intercorre tra il vertice e l'inizio della colonna in cui è posizionata la baia; la coordinata  $x$  dei punti P1 e P2 va misurata a partire dal medesimo vertice da cui è stata misurata la distanza  $x_E$ .

Il valore di  $y_E$  deve essere misurato a partire dalla prima allocazione disponibile (che rappresenta il livello 0 della macchina) e rappresenta la distanza tra questo punto e il livello di deposito del vassoio in baia. In modo analogo l'altezza dei punti P1 e P2 va misurata a partire dal livello 0.

## 4. CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati ottenuti durante diverse prove e simulazioni, si ritiene di applicare per il calcolo delle prestazioni dei VLM, il metodo sopra presentato per quanto riguarda la definizione della posizione dei vassoi da movimentare, riferito alla raccomandazione FEM 9.851.

Tuttavia la raccomandazione FEM 9.851 è incentrata su sistemi di traslo elevatori che si muovono su rotaie e necessita di integrazioni per poter essere applicata ai magazzini verticali, che possono essere dotati anche di baie multiple.

Si è voluto adattare il metodo FEM 9.851 già ben noto e referenziato ai VLM, facendo in modo che il ciclo combinato abbia la caratteristica di ripetibilità sequenziale, e pertanto essere riprodotto più volte ripetitivamente.

### 4.1. Per l'esposizione dei dati in offerta commerciale

Il presente paragrafo dà indicazioni sulle informazioni da inserire nell'offerta commerciale nella sezione relativa alle prestazioni del magazzino.

Le prestazioni dovranno prevedere:

1. Il tempo ciclo combinato;
2. Il tempo ciclo semplice di prelievo massimo;
3. Il numero di vassoi consegnati all'ora derivati dal tempo ciclo combinato e al variare del Tempo Operatore (0,30,60,90 sec) vedi punto 3.1d.

## 5. TEST E SIMULAZIONI

### 5.1. Le formule di calcolo delle prestazioni di un VLM

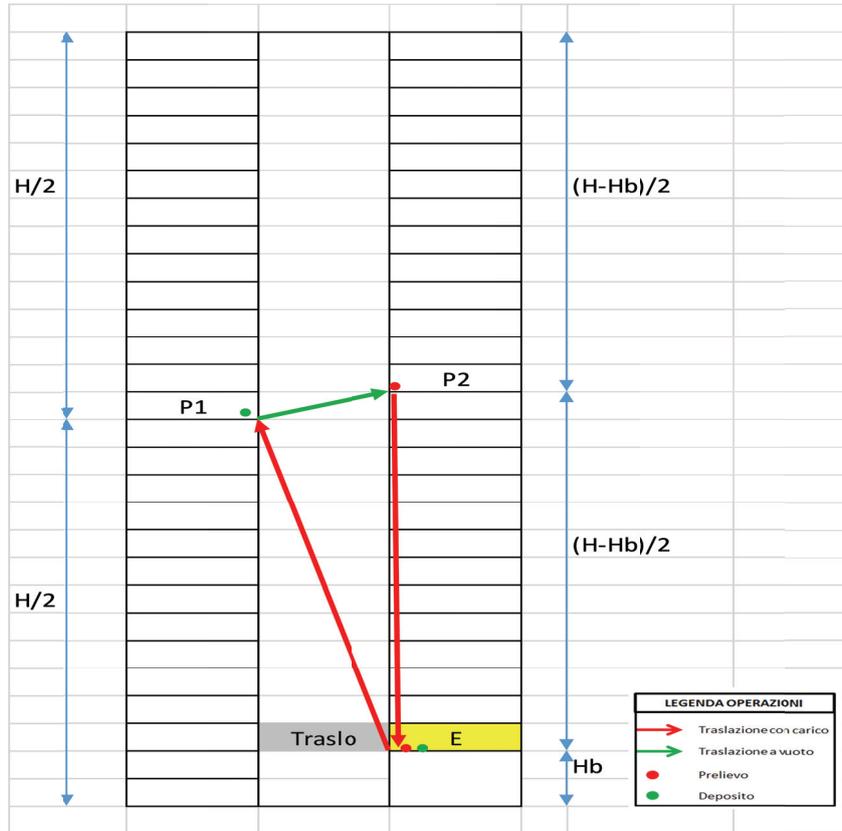
Sono state prese in esame 2 formule per il calcolo delle prestazioni di un VLM che si basano sulla definizione di ciclo combinato tra diversi punti del magazzino e le baie di interfacciamento con il mondo esterno al magazzino automatico. In questa fase dell'analisi è stato considerato un magazzino automatico monocolonna con la baia a singolo livello posizionata a *quota di terra*.

Si è scelto un sistema semplificato per effettuare le valutazioni sulle due proposte con l'obiettivo di introdurre tutti gli ulteriori casi plausibili in un secondo momento, a seguito della scelta condivisa dell'approccio.

Gli approcci proposti sono due:

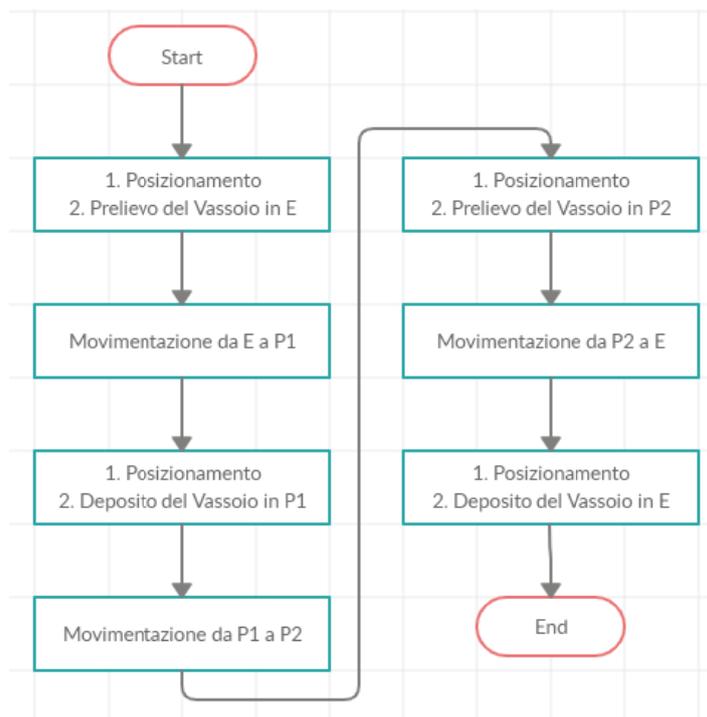
1. Il primo approccio (nel seguito chiamato **C1**) è rappresentato dal ciclo combinato elaborato all'interno del Gruppo di Lavoro VLM di AISEM-Sistemi Intralogistici e prevede l'avvio del ciclo con l'elevatore

posizionato in corrispondenza della baia (E) e con vassoio presente in baia. I punti interni al magazzino interessati dal ciclo sono posizionati ad un'altezza pari alla metà dell'altezza utile del magazzino (P1) e alla metà della distanza che intercorre tra il livello della baia (E) e l'allocatione più alta del magazzino (P2). Il ciclo combinato proposto è schematizzato nella figura seguente:



**Figura 5** Ciclo Combinato VLM proposto (gdl VLM – AISEM)

Le fasi che compongono il ciclo combinato sono illustrate nella figura seguente:



**Figura 6** Fasi del Ciclo Combinato VLM (C1)

2. Il secondo approccio (nel seguito chiamato **FEM9.851**) si basa sulla norma FEM 9.851 *Performance Data of Storage and Retrieval Machines: Cycle Times* e differisce dal primo solo nella scelta dei punti P1 e P2 che sono posizionati a 1/5 dell'altezza H e 2/3 dell'altezza H.

## 5.2. Le prove eseguite e i risultati ottenuti

Le prove eseguite si sono focalizzate esclusivamente sui tempi di movimentazione dell'elevatore tralasciando tutti i tempi di prelievo e deposito che sono i medesimi per entrambi gli approcci. I test hanno previsto la generazione casuale di liste di movimentazioni, ovvero la definizione dei vassoi da movimentare verso la baia e quindi, in ultima analisi, delle altezze da raggiungere e sono state di due tipi:

1. Prove in simulazione, basate sui tempi standard di movimentazione dell'elevatore;
2. Prove sperimentali, eseguendo movimentazioni reali su un magazzino automatico.

Per ciascuna prova si confrontano i tempi ottenuti con il primo e il secondo approccio con il tempo di movimentazione medio casuale di vassoi (nel seguito chiamato **STATISTICA**).

La scelta di confrontare i due approcci con la movimentazione casuale di vassoi è orientata a individuare un metodo di calcolo che sia confrontabile con l'utilizzo medio (e quindi casuale) di un VLM.

### Prove in simulazione

Per le prove simulate, il riferimento STATISTICA è stato calcolato utilizzando un set composto da 2000 campioni (quindi movimentazione casuale di 2000 vassoi).

TEST IN SIMULAZIONE	T [s]	Err [%]
<b>STATISTICA</b>	<b>10.97</b>	
<b>Metodo C1</b>	<b>9.06</b>	<b>-17%</b>
<b>FEM9.851</b>	<b>10.67</b>	<b>-3%</b>

**Figura 7** Tabella riassuntiva dei risultati ottenuti dalle prove eseguite in simulazione

### Prove sperimentali

Per le prove sperimentali, il riferimento STATISTICA è stato calcolato utilizzando un set composto da 150 campioni (quindi movimentazione casuale di 150 vassoi).

PROVE SPERIMENTALI	T [s]	Err [%]
<b>STATISTICA</b>	<b>10.52</b>	
<b>Metodo C1</b>	<b>9.47</b>	<b>-10%</b>
<b>FEM9.851</b>	<b>10.95</b>	<b>4%</b>

**Figura 8** Tabella riassuntiva dei risultati ottenuti dalle prove sperimentali

## Valutazioni

Come si evince dalle due tabelle, in entrambe le prove il tempo ciclo combinato calcolato secondo C1 risulta sensibilmente inferiore al tempo medio 'reale' (STATISTICA) di movimentazione del magazzino comportando una sovrastima delle prestazioni del sistema.

I dati ottenuti considerando il percorso teorizzato dalla raccomandazione FEM 9.851, invece, si discostano dal dato medio statistico meno e pertanto possono rappresentare una buona stima per il calcolo delle prestazioni del magazzino come capacità di tale impianto di movimentare, in una unità di tempo, una certa quantità di unità di carico da un punto all'altro dell'impianto stesso.

APPARECCHI PER IL SOLLEVAMENTO  
HOISTING EQUIPMENTS

GRU MOBILI  
MOBILE CRANES

CARRELLI INDUSTRIALI, ATTREZZATURE E COMPONENTISTICA  
INDUSTRIAL TRUCKS, ACCESSORIES AND COMPONENT

SCAFFALATURE CISI  
RACKING AND SHELVING SYSTEMS

SISTEMI INTRALOGISTICI  
INTRALOGISTIC SYSTEMS

TRASPORTI CONTINUI  
CONVEYORS FOR BULK HANDLING

PLE  
MOBILE ELEVATING WORK PLATFORMS



ASSOCIAZIONE ITALIANA SISTEMI DI SOLLEVAMENTO, ELEVAZIONE E MOVIMENTAZIONE  
ITALIAN ASSOCIATION OF SYSTEMS FOR LIFTING, ELEVATION AND HANDLING

FEDERATA / MEMBER



**ANIMA**<sup>®</sup>  
CONFINDUSTRIA  
MECCANICA VARIA



AISEM ANIMA | VIA A. SCARSELLINI 11 - 20161 MILANO IT

TEL. +39 0245418.500 - FAX +39 0245418.545 | AISEM@ANIMA.IT - WWW.AISEM.IT