

La configurazione ottimale del magazzino

Una procedura per ottimizzare la sistemazione a catasta, ossia con sistema block stacking, dei materiali pallettizzati

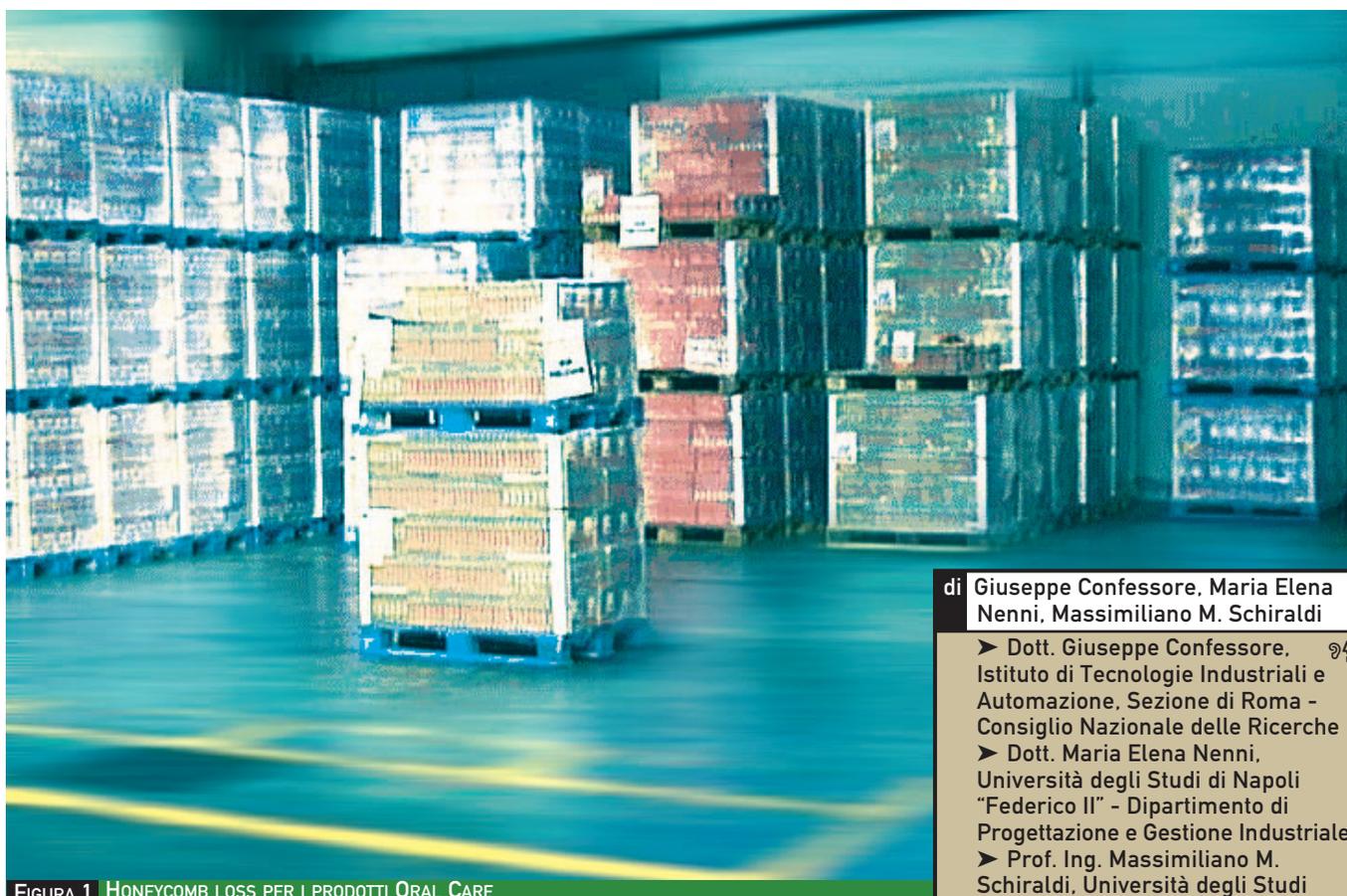


FIGURA 1 HONEYCOMB LOSS PER I PRODOTTI ORAL CARE

PREMESSA

A dispetto della riconosciuta criticità del ruolo dei magazzini nel contesto di una rete logistica – e, in senso più ampio, nell'architettura e nella gestione dei sistemi produttivi manifatturieri – accade spesso di riscontrare, soprattutto presso le PMI, che costituiscono la parte strutturalmente più significativa del tessuto industriale del nostro paese, che per l'immagazzinamento non siano in realtà adottati criteri in tutto coerenti con

la criticità anzidetta. È infatti ben ricorrente che i materiali vengano meramente accatastati, in assenza cioè di qualsiasi razionale attenzione a problemi – non certo irrilevanti – quali l'economia degli spazi, la rintracciabilità e l'accessibilità dei pallet, l'efficienza stessa della movimentazione. A tale ultimo riguardo andrebbe in ogni caso osservato che lo stoccaggio a catasta (block stacking storage system) rappresenta pur sempre una soluzione

di Giuseppe Confessore, Maria Elena Nenni, Massimiliano M. Schiraldi

- Dott. Giuseppe Confessore, Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione, Sezione di Roma - Consiglio Nazionale delle Ricerche
- Dott. Maria Elena Nenni, Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Dipartimento di Progettazione e Gestione Industriale
- Prof. Ing. Massimiliano M. Schiraldi, Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" - Dottorato di Ricerca in Ingegneria Economico Gestionale

suscettibile di ottimizzazione, come ben evidenziato nella competente letteratura [1÷5]. Ciò che in particolare accade di vedere sottovalutato presso molte aziende è il beneficio, in termini di efficienza ed efficacia, conseguibile attraverso una politica d'assegnazione intelligente (per estensione e dislocazione) delle superfici

>> La configurazione ottimale del magazzino

ai diversi materiali; e, all'interno di queste, attraverso la corretta dimensione delle file di stoccaggio e il razionale sviluppo planimetrico dei corridoi. E in simili casi non è raro verificare che anche rilevanti economie potrebbero ottenersi attraverso semplici, immediati e ben poco costosi interventi di razionalizzazione del layout di magazzino.

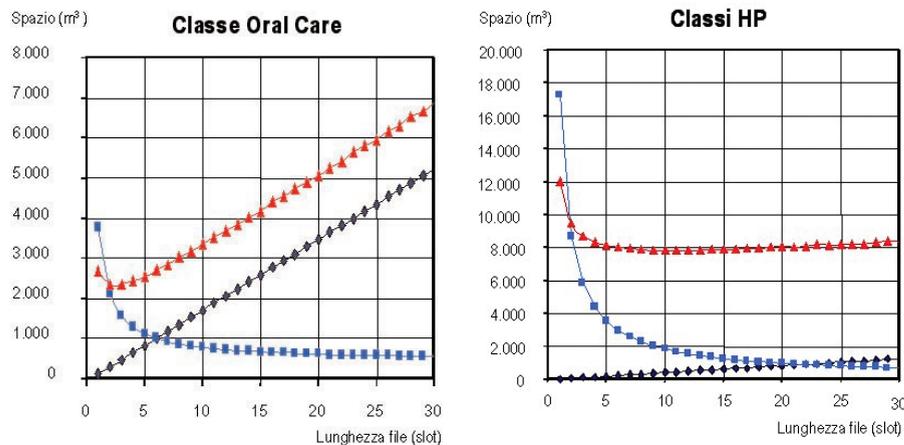
Sulla scorta di tali rilievi, peraltro in linea con quelli posti alla base degli stessi contributi sopra richiamati, nel presente lavoro verrà prospettata una procedura per ottimizzare la sistemazione a catasta di materiali pallettizzati in magazzini presso i quali i prodotti siano distinti per classi di stoccaggio (class based storage system). L'efficacia di tale metodologia è stata verificata dagli stessi scriventi

“ L'operazione di riassortimento delle classi di prodotto si rivela realmente necessaria quando accade che a un unico raggruppamento vengano assegnati materiali che richiedano in magazzino diverse modalità di trattamento... ”

presso il principale centro di stoccaggio in Italia di un'azienda di rilievo internazionale per prodotti di larghissimo consumo.

CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA.**CRITICITÀ E SOLUZIONE PROSPETTATA**

Obiettivi, tipicamente contrastanti, perseguiti per l'organizzazione ottimale di un magazzino, sono evidentemente rappresentati dalla semplicità della gestione operativa e dal massimo grado d'utilizzazione delle disponibilità di superficie. Nell'ambito di tale trade off, un primo passo riguarda senz'altro la scelta del criterio d'allocatione dei materiali, da effettuarsi in pratica tra stoccaggio dedicato, stoccaggio per classi o stoccaggio casuale [6]. Ai fini del presente studio, si è fatto riferimento al problema, alquanto frequente, posto dalla sistemazione di un magazzino finiti presso un'azienda in cui una spiccata diversificazione produttiva orienti in partenza la classificazione dei materiali in base a ben distinti caratteri geometrici, fisico-chimici e merceologici. In casi come questo, nonostante le classi così definite possano non adattarsi perfettamente al problema dell'ottimizzazione della configurazione di magazzino – dove è più opportuno distinguere i prodotti, ad esempio, sulla base degli indici di movimentazione dei

FIGURA 2 ANDAMENTO DELL'HONEYCOMB LOSS IN FUNZIONE DELLA LUNGHEZZA D_i 

opportuno livello di servizio α delle superfici di stoccaggio, definito come probabilità che nella superficie assegnata a ogni classe i si abbiano slot sufficienti per contenere tutte le scorte della classe medesima (stock keeping units, SKU). In base a ciò si determina il numero q_i di slot da assegnare a i .

La scelta del livello di servizio è alquanto critica, ma fortunatamente al di là dell'intervallo di valori ammissibili che detto livello può teoricamente assumere ($\alpha \in [0;1]$), il range tipico è piuttosto contenuto. In particolare un valore molto alto (ad es. $\alpha \geq 0.98$) induce a maggiorare la superficie assegnata alle classi da immagazzinare. E ciò porta alla semplificazione delle procedure di gestione del magazzino, in termini di accessibilità agli slot e di rintracciabilità dei pallet. D'altra parte, tuttavia, in virtù di specifiche limitazioni sussistenti per il magazzino, il ricercato valore di α potrà essere individuato attraverso un numero relativamente basso di iterazioni, confrontando le aree assegnate ai prodotti con quelle effettivamente disponibili. È infine possibile – anche se al prezzo di un notevole incremento di complessità derivante al problema – specializzare un diverso valore del livello di servizio per ogni classe di prodotti.

Step 2 - Determinazione della lunghezza ottimale delle file di stoccaggio

In generale, in ordine all'evidente obiettivo di minimizzare gli sprechi di superficie (honeycomb loss), la scelta della lunghezza da assegnare alle file di stoccaggio è a sua volta un problema complesso. I pur svariati contributi al riguardo già disponibili in letteratura [1], [4], [7] non sono comunque orientati

singoli codici – non è sempre conveniente riassortire i raggruppamenti di materiali. Le complicazioni derivanti dalla differente classificazione dei materiali tra l'impianto di lavorazione e il magazzino possono infatti risultare numerose; e converrà ricordare che tale differente classificazione deve essere accettata anche dal sistema informativo aziendale.

L'operazione di riassortimento delle classi di prodotto si rivela realmente necessaria quando accade che a un unico raggruppamento vengano assegnati materiali che richiedano in magazzino diverse modalità di trattamento (come ad esempio pallet con diverso livello di impilabilità) oppure quando una classe presenti un numero particolarmente elevato di prodotti, poiché questi fattori rischiano di inficiare il successo della procedura di razionalizzazione della configurazione stessa del magazzino. Una volta effettuata la classificazione dei prodotti finiti, la procedura illustrata nel presente lavoro si specializza in tre passi principali:

Step 1 - Scelta del livello di servizio delle aree del magazzino

Per dimensionare l'area d'immagazzinamento necessaria per una classe di prodotti occorre individuare il più

>> La configurazione ottimale del magazzino

al criterio di stoccaggio per classi. Viene qui da noi prospettata l'opportunità di modificare la formula segnalata anche da M. J. Kay [8], osservando che, all'interno di una classe, l'assegnazione delle file ai codici avviene in maniera casuale, nonché assumendo che risulti costante il numero di differenti codici da sistemare sulla superficie assegnata alla classe i , e ciò indipendentemente dall'influenza della stagionalità sul livello di giacenza. In tal modo la lunghezza ottima D_i delle file di stoccaggio nella zona assegnata a i risulta espressa attraverso la relazione

$$D_i = \left(\frac{1}{2} A \cdot \frac{2q_i - N_{si}}{y \cdot N_{si} H_i} \right)^{1/2} \quad (1)$$

in cui, in aggiunta ai parametri già introdotti, figurano

- H_i = livello di impilabilità dei pallet per i prodotti appartenenti a i ;
 N_{si} = numero di differenti codici in i ($N_{si} > 1$)
 y = profondità dello slot;
 A = ampiezza del corridoio, espressa dal numero massimo di slot contenuti nella dimensione trasversale del corridoio.

Giova appena precisare che il valore fornito dalla (1) andrà ricondotto all'intero più immediato.

Step 3 - Dislocazione ottimale delle superfici di stoccaggio

Una volta ridisegnati i settori in cui è suddiviso il magazzino, per assegnare ad esso le classi di prodotto si deve tenere conto non solo del numero e della collocazione dei punti d'ingresso (comunemente coincidenti con le stazioni di pallettizzazione) e d'uscita (comunemente coincidenti con le bay di caricamento degli automezzi), ma anche della quantità di materiali trasportate dai mezzi in ogni ciclo di trasporto.

Per gli scopi del presente studio si è scelto di perfezionare la procedura di Larson *et alii* [9], impostando un modello di programmazione lineare intera in grado di posizionare le classi di prodotto contrassegnate da indici di accesso più elevati per l'appunto all'interno dei settori raggiungibili percorrendo tracciati via via più agevoli, per lunghezza e configurazione (numero di svolte), dal baricentro dell'area di stoccaggio ai punti d'ingresso/uscita dal magazzino.

A tal fine, essendo, in aggiunta ai parametri già introdotti,
 j = indice identificativo della porta (ingresso/uscita);

- k = indice identificativo del settore;
 L = numero totale di punti ingresso/uscita;
 N = numero totale delle classi;
 Q = numero totale dei settori;
 t_i = frequenza di accesso dei prodotti di i ;
 y_{jk} = tempo medio di percorrenza dalla porta i al settore k ;
 r_{jk} = quantità trasportata in ogni ciclo da i a k o viceversa;
 p_{jk} = rapporto tra il numero di pallet di classe i transitati attraverso j e il numero totale di pallet movimentati per i , potendo inoltre porsi nella forma

$$s_{ik} = \sum_{j=1}^L p_{ij} \cdot y_{jk} \cdot \frac{1}{r_{jk}}$$

il valore atteso del tempo di percorrenza, lungo tutti i tracciati fino a k per la classe i assegnata a quest'ultimo, è possibile impostare il problema di programmazione lineare definendo la variabile binaria

- x_{ij} = 1 se la classe i va assegnata al settore k ;
 0 altrimenti;

e risolvendo

$$\min \sum_i \sum_k t_i \cdot H_i \cdot s_{ik} \cdot x_{ik}$$

tale che

- $\sum_{k=1}^L x_{ik} = q_i \quad i = 1, \dots, N$
- $\sum_{i=1}^N x_{ik} \leq 1 \quad k = 1, \dots, L$
- $x_{ik} \geq 0, \quad \forall i, k$

VERIFICA DI EFFICACIA DEL METODO. RISULTATI CONSEGUITI E CONCLUSIONI
 L'efficacia della metodologia qui proposta è stata verificata dagli stessi scriventi presso il centro di stoccaggio Colgate Palmolive S.p.A di Anzio (RM), dotato

di un magazzino di 10.500 m2 contenente circa 600 SKU. Tutti i dati necessari sono stati ottenuti dalle registrazioni di produzioni e spedizioni relative all'ultimo esercizio.

Per quanto attiene alla scelta del criterio di stoccaggio, si noti che le categorie di prodotti finiti memorizzate nel sistema informativo di Colgate Palmolive (AIVE) sono quattro: Body Care (BC), Home Product (HP), Saponi in barra (SB) e Oral Care (OC). Come anticipato, la modifica della classificazione dei materiali esistente in azienda è indicata per casi di effettiva necessità, poiché questa si accompagna sia a costi sia a dispendi di tempo non trascurabili. Nella situazione in esame si è scelto di dividere la classe *BC* in due nuove classi (*BC-LHS-300ml* e *BC 250-750ml*) per tenere conto del diverso livello di impilabilità dei relativi pallet; nonché



“ Una volta ridisegnati i settori in cui è suddiviso il magazzino, per assegnare ad esso le classi di prodotto si deve tenere conto non solo del numero e della collocazione dei punti d'ingresso e d'uscita, ma anche della quantità di materiali... ”

>> La configurazione ottimale del magazzino



di dividere a sua volta *HP* in due classi (*HP-ind* e *HP-casa*) considerandone l'elevato livello di giacenza.

Per il livello di servizio delle aree di stoccaggio si è pervenuti ad assumere $\alpha = 0.95$.

Per quanto riguarda la lunghezza delle file di pallet, si sono riscontrate significative discordanze tra i valori derivanti dall'applicazione della formula proposta e la situazione del magazzino. La lunghezza effettiva delle file dei prodotti Oral Care era in precedenza di 22 slot contro il valore ottimale di $D_{oral-care} = 3$; come mostrato in Fig. 1, infatti, molto spazio era perso a causa dell'honeycomb loss nella zona di stoccaggio dei prodotti della classe Oral Care.

Anche per quanto riguarda entrambe le anzidette classi *HP*, la lunghezza effettiva delle file, pari a 22 slot, andava confrontata con quella ottimale $D_{HP-ind} = D_{HP-casa} = 11$, ma in questo caso il fenomeno dello spazio perso in magazzino non era così evidente. Si è infatti osservato che un parametro amplificatore dell'effetto dello honeycomb loss è il numero di codici diversi per classe: nel caso degli Oral Care, con 110 prodotti, lo spazio perso aumenta rapidamente all'allungarsi delle file, se paragonato alle classi *HP* che vantano meno di 30 codici, come mostrato in Fig. 2. Limitandoci qui per brevità a riferire i soli risultati principali, noteremo che l'applicazione della metodologia al caso Colgate Palmolive ha suggerito la modifica della dislocazione per ben quattro classi di prodotto (Oral Care, Body Care ed entrambe le classi *HP*). La proposta è oltretutto coerente con il logico principio di posizionare i prodotti a più alto indice di accesso nella zona centrale del magazzino, e le altre classi di prodotto – con indici di accesso più bassi – nelle aree di confine. In ragione di questo spostamento è stato infine necessario ritoccare la lunghezza ottimale delle file di stoccaggio, calcolata attraverso (1), in funzione della posizione del settore e dei vincoli in esso presenti (corridoi principali, presenza dell'area di carico, porte, scaffalature, ecc.). Per le

categorie Oral Care e Saponi in Barra la lunghezza delle file di stoccaggio è stata dimezzata da $D_{oral-care} = 22$ slot a 11; per creare file del valore ottimale di 3 slot nelle aree del magazzino assegnate a queste classi sarebbe stato infatti necessario posizionare molte file trasversalmente ai corridoi principali e aggiungere corridoi secondari all'interno di alcuni settori; ciò che avrebbe complicato di molto la gestione operativa. Analoga situazione si prospettava per la classe *HP*; qui, a ulteriore dimostrazione del ruolo di "linea guida" che la teoria dovrebbe assumere per la risoluzione dei problemi pratici in impianto, la Fig. 2 aveva preliminarmente mostrato il basso margine di miglioramento in termini di spazio recuperabile dall'honeycomb loss per questa classe di prodotti finiti, e ciò è puntualmente servito come conforto alla decisione di soprassedere alla modifica della lunghezza delle file.

I risultati ottenuti applicando la procedura descritta hanno permesso di valutare le economie di superficie conseguibili e la contrazione dei tempi di movimentazione dei prodotti. Si è in particolare accertato un risparmio totale superiore all'8% rispetto all'area complessiva inizialmente occupata in magazzino. Grazie alla dislocazione delle classi proposta, relativamente alla movimentazione interna dei materiali si è stimato un risparmio di circa il 20% sui tempi necessari per il prelievo dai pallettizzatori e per l'approntamento dei carichi nella banchina di spedizione. Infine, la minore lunghezza delle file influisce positivamente sui tempi per l'operazione di posizionamento e di prelievo del pallet all'interno della fila,

e ciò porta a un ulteriore incremento d'efficienza nelle operazioni di movimentazione. Oltretutto, a fronte di questi vantaggi, gli investimenti preventivati sono trascurabili e i tempi di realizzazione molto bassi. Per l'implementazione delle modifiche suggerite dalla presente procedura

“ I risultati ottenuti applicando la procedura descritta hanno permesso di valutare le economie di superficie conseguibili e la contrazione dei tempi di movimentazione dei prodotti. Si è accertato un risparmio totale superiore all'8% ”

è infatti sufficiente l'ideale indicazione a pavimento delle nuove file di stoccaggio, e lo spostamento dei prodotti in settori differenti da quelli originali, senza necessità di predisporre nuove attrezzature o impianti né di effettuare radicali modifiche al sistema informativo aziendale.

bibliografia

- [1] GOETSCHALCKX M., RATLIFF H. D. *Optimal Lane Depths for Single and Multiple Products in Block Stacking Storage System* – IIE Transactions, Vol. 23, No. 3, pp. 245-258 (1991)
- [2] BERRY J. R. *Elements of Warehouse Layout*, International Journal of Production Research, Vol. 7, n. 2, pp. 105-121 (1968)
- [3] MARSH W. H. *Elements of Block Storage Design*, International Journal of Production Research, Vol. 17, N. 4, pp. 377-394 (1979)
- [4] MATSON J. O., WHITE J. A. *Storage system optimization*, Production and Distribution Research Centre Report, 81-09, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia (1981)
- [5] ASHAYERI J., GELDERS L. F. *Warehouse Design Optimization*, European Journal of Operations Research, Vol. 21, pp. 285-294 (1985)
- [6] CARON F., WEGNER R., MARCHET G. *Impianti di movimentazione e stoccaggio dei materiali*, Hoepli (2001)
- [7] KIND D. A. *Elements of space utilization*, Transportation & Distribution Management, Vol. 15, pp. 29-34 (1975)
- [8] MICHAEL J. KAY. *Lecture notes for facilities design*, nota didattica del corso IE453 della North Carolina State University (2002)
- [9] LARSON T. N., MARCH H., KUSIAK A. *A heuristic approach to warehouse layout with class-based storage* – IIE Transactions, Vol. 29, 337-348 (1997)