



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA  
CALABRIA  
FACOLTA' DI INGEGNERIA

---

*Dipartimento di Elettronica, Informatica e sistemistica*

**Dottorato di Ricerca in Ricerca Operativa (MAT09)**

**XXIV Ciclo**

**TESI**

**Modelli e metodi di ottimizzazione nella  
progettazione, organizzazione e gestione dei  
Centri di Distribuzione.**

Relatore

Prof. Roberto Musmanno

Candidata

Maria Simini

Coordinatore

Prof. Lucio Grandinetti

---

## Sommario

<b><u>Capitolo 1 – Dal Magazzino al Centro di Distribuzione</u></b> .....	<b>3</b>
<u>1.1 Premessa</u> .....	3
1.2 Il Centro di Distribuzione ed il contesto territoriale	
<u>1.3 Le funzioni di un Centro di Distribuzione</u> .....	4
<u>1.4 Le tipologie di Centri di Distribuzione</u> .....	8
<u>1.5 I costi logistici in un Centro di Distribuzione</u>	
<u>1.6 Il personale di un Centro di Distribuzione</u>	
<u>1.7 La gestione del Centro di Distribuzione</u>	
<u>1.7.1 Problemi di decisione</u> .....	9
.....	

## **Capitolo 2 – Le decisioni strategiche in un Centro di Distribuzione**

2.1. <u>Introduzione</u>	
2.2. <u>La progettazione di un Centro di Distribuzione</u>	
2.3. Elementi progettuali	
2.3.1 Selezione del sito	
2.3.2 Caratteristiche della costruzione	
2.3.3 Dimensionamento	
2.3.4 Suddivisione delle aree in nuclei funzionali	
2.4 Parametri prestazionali del magazzino	
2.5 Scelta delle strutture di posizionamento dei materiali	
2.5.1 Sistemi di immagazzinamento statici	
2.5.2 Sistemi di immagazzinamento dinamici	
2.5.3 Sistemi di immagazzinamento automatizzati	
2.5.4 Altri sistemi di immagazzinamento	
2.5.5 Criteri di scelta	
2.6 Il Layout di un Centro di Distribuzione	

### **2.6.1 Facility Layout Problem**

#### **2.6.2 Internal Layout Design**

2.6.2.1 Asiles Configuration Problem	
2.6.2.2 Storage Assignment Problem	
2.6.3 Pianificazione del Layout dell'area di ricevimento	
2.6.4 Pianificazione del Layout dell'area di stoccaggio	
2.6.5 Pianificazione del Layout dell'area di spedizione	
2.7 Modelli di calcolo per la pianificazione automatica del layout	
2.7.1 Programmi di calcolo per la pianificazione automatica del layout	

## Capitolo 3 – Le decisioni tattiche in un Centro di Distribuzione

### 3.1 Introduzione

#### 3.2. La movimentazione dei materiali

##### 3.2.1 I principi base della movimentazione

#### 3.3 Il dimensionamento dell'unità di carico

#### 3.4 I mezzi di trasporto della merce

#### 3.5 Scelta dei mezzi di movimentazione

##### 3.5.1 Principali attrezzature per la movimentazione dei materiali

**Errore. Il segnalibro non è definito.**

##### 3.5.2 I sistemi di movimentazione operanti su percorsi fissi

##### 3.5.3 Sistemi automatici di movimentazione

##### 3.5.4 Produttività di un mezzo di movimentazione

##### 3.5.5 Determinazione del numero di mezzi per la movimentazione

#### 3.6 Criteri di allocazione dei prodotti a magazzino

##### 3.6.1 Modello di Assegnazione dei vani ai prodotti

#### 3.7 L'automazione a livello operativo nel magazzino

##### 3.7.1 Il sistema di controllo del Centro di Distribuzione

##### 3.7.2 I Sistemi di identificazione automatica degli imballi

###### 3.7.2.1 Il Sistema Bar Code ..... 59

###### 3.7.2.2 La tecnologia RFID (Radio Frequency Identification) ..... 62

###### 3.7.2.3 Confronto tra la tecnologia RFID e Codice a Barre ..... 71

###### 3.7.2.4 L'Etichetta logistica e il codice SSCC

##### 3.7.3 La pallet card

#### 3.8 La gestione delle scorte

##### 3.8.1 I Costi di gestione

##### 3.8.2 Politiche di gestione delle scorte

##### 3.8.3 Modelli di gestione a fabbisogno: MRP (Materials Requirements Planning)

##### 3.8.4 La programmazione Just-in-time

##### 3.8.5 L'ottimizzazione delle scorte

###### 3.8.5.1 Indici prestazionali

###### 3.8.5.3 Analisi ABC ..... 17

## Capitolo 4 – Le decisioni operative in un Centro di Distribuzione

### 4.1 Introduzione

#### 4.2. Gli approvvigionamenti ..... 26

#### 4.3 Modelli di gestione a scorte

##### 4.3.1 Modello di Wilson

##### 4.3.2 La Politica a punto di riordino costante

4.3.3	La politica a periodo di riordino costante	
4.3.4	Punto di riordino e Periodo di riordino: un confronto	
4.3.5	La gestione delle scorte in ipotesi di assorbimento variabile	
4.3.6	Un caso studio	
4.4	La ricezione degli ordini	
4.5	La preparazione dell'ordine	
4.5.1	Il Prelievo della merce	
4.5.2	Informazioni per il prelievo	
4.5.3	Il sistema Voice picking	
4.5.4	Modelli di Picking	
4.5.5	Dimensionamento dei lotti	
4.6	Instradamento degli Addetti	
4.6.1	Approcci risolutivi	
4.7	Problemi di <i>scheduling</i>	
4.7.1	Approcci risolutivi	
4.7.2	<i>Scheduling</i> ottimale degli ordini.....	46
4.8	Caricamento dei Mezzi di Trasporto	
4.8.1	Algoritmi euristici	
4.8.2	Modelli e Metodi	
4.8.3	Problemi di Caricamento ad una dimensione	
4.8.4	Problemi di Caricamento a due dimensioni	
4.8.5	Problemi di Caricamento a tre dimensioni	
4.9	La gestione della qualità	
4.9.1	Il controllo degli errori	
4.9.2	Anagrafica dei prodotti	
4.9.3	Il report	
4.9.4	Metodologie di controllo della qualità .....	53
4.9.5	La qualità nei servizi	

**Capitolo 5 - Il problema di allocazione dei prodotti a scaffale in un magazzino multi-livello con vincoli di compatibilità fra le classi: un modello matematico ed un approccio euristico**

5.1 Introduzione

5.2 Scenario considerato

5.2.1 Linearizzazione del modello

5.3 Implementazione del modello

5.3.1 Generazione delle istanze test

5.3.2 Setting dei parametri

5.3.3 Analisi di sensitività

5.4 Implementazione di un approccio euristico

5.5 Valutazione della bontà della procedura euristica

## Conclusioni

## INTRODUZIONE

Per fronteggiare la crescente competitività del mercato, sempre più spesso, le aziende devono confrontarsi non solo sul rapporto qualità/prezzo del prodotto ma anche su un elevato livello di servizio che consiste nella puntualità delle consegne di materie prime ai reparti di produzione e di prodotti finiti al cliente, riduzione del ciclo temporale di rifornimento con lo scopo di ridurre le giacenze, in altre parole: sicurezza di avere il prodotto giusto al posto giusto, nel momento giusto ed al costo proporzionato.

Dal primo dopoguerra sino ad oggi l'attenzione delle imprese è stata rivolta ad una ricerca di sempre maggior efficienza che ha comportato sostanziali cambiamenti nell'organizzazione del sistema logistico, che comprenda tutte le attività dall'approvvigionamento di materiali fino alla distribuzione di prodotti finiti (*supply chain*), andando conseguentemente ad incidere in maniera profonda anche sulla struttura stessa del canale distributivo. Soprattutto negli ultimi anni, la ricerca dell'efficienza logistica ha spinto numerosi autori e ricercatori ad indirizzare i propri studi al tentativo di ottimizzare la *Supply Chain*, concentrando le proprie ricerche su singoli specifici argomenti, nel tentativo di produrre miglioramenti locali all'interno di un filone di ricerca complesso, dando in questo modo origine ad una letteratura di settore variegata e ricca di suggerimenti.

All'interno del canale distributivo, un ruolo centrale è ricoperto da quelle strutture a cui è deputato lo stoccaggio delle merci e la riconfigurazione dei flussi logistici: i magazzini. Comunque presente all'interno dell'azienda, a prescindere dalla tipologia produttiva o commerciale e/o dalle sue dimensioni, solo a partire dagli anni '70, in cui nasce la logistica come la si conosce oggi, il magazzino esce dal cono d'ombra per diventare uno spazio dove si crea valore aggiunto: è, infatti, in magazzino che si personalizzano i prodotti, si concretizza l'efficienza dell'azienda e si calibra la logistica *distributiva*. E', infatti, in quest'area che i materiali vengono ricevuti, posizionati, custoditi, prelevati per la loro destinazione finale. E' il magazzino, quindi, il vero centro operativo, in cui si realizza tutta l'attività logistica dell'azienda.

Lungi dall'essere solamente un "contenitore" per le merci in attesa di spedizione, all'interno di un moderno canale distributivo, i magazzini risultano uno spazio indispensabile per la gestione corretta dei processi produttivi o dei processi di vendita, incidendo sulla quantità e la qualità dei flussi in transito attraverso il magazzino stesso.

Ed i motivi per cui da alcuni anni le aziende hanno rivolto maggiore attenzione alle problematiche del magazzino, dalla progettazione del loro layout alla gestione delle operazioni che in essi vengono compiute, sono, di conseguenza, molteplici.

La gestione di un magazzino, comporta innanzitutto dei costi per l'azienda: costi economici, derivanti dai capitali immobilizzati nella merce stoccata; costi legati allo spazio occupato, derivanti da investimenti in termini di infrastrutture e risorse destinate al mantenimento dello spazio stesso (tasse, energia, ecc.); costi di obsolescenza legati al deterioramento, danneggiamento e furti della merce; e in ultimo, costi derivanti dall'attività di ricezione che comprendono il controllo qualità, la gestione delle giacenze, la ricerca e selezione, l'imballaggio e la spedizione della merce. Una corretta gestione, che adotti un'intelligente politica degli approvvigionamenti dei materiali, evita

immobilizzi inutili (e quindi migliora la liquidità finanziaria dell'azienda), riduce drasticamente i costi di gestione, riduce la presenza di materiali obsoleti, risulta dunque indispensabile.

È, per questi motivi, evidente riscontrare all'interno delle diverse catene di distribuzione, profonde e radicali operazioni di riorganizzazione, re-ingegnerizzazione e ottimizzazione caratterizzate da una marcata tendenza alla diminuzione del numero dei magazzini e all'aumento delle loro dimensioni medie attraverso processi di consolidamento, ricollocazione ed eliminazione degli stessi. Tale consolidamento può portare un notevole risparmio per quanto riguarda i trasporti, la movimentazione delle merci ed i costi di immagazzinamento in genere, grazie alle economie di scala derivanti dall'aumento delle dimensioni e dei volumi trattati per ogni magazzino; ma comporta un possibile incremento del tempo di approvvigionamento e conseguentemente un possibile deterioramento del servizio offerto a cliente, dovuto alla diminuzione del numero di magazzini dislocati sul territorio che genera un allungamento delle distanze da percorrere per raggiungere il cliente. Proprio questo ultimo aspetto sottolinea come la problematica legata alla gestione efficace ed efficiente dei magazzini sia un aspetto tutt'altro che secondario poiché avrà poi un riscontro immediato sulla competitività dell'impresa sul mercato e sulla sua capacità di venire incontro alle esigenze della clientela, prima fra tutte quella di una consegna puntuale e corretta delle merci ordinate.

Una gestione ottimale della *Supply Chain* non può quindi esulare da una considerazione attenta e precisa delle problematiche connesse ad una profonda analisi preliminare in grado di definire vincoli ed obiettivi relativi ad una corretta progettazione e gestione delle strutture contenenti le merci, i magazzini appunto.

In questo lavoro si è cercato, quindi, di dare una visione d'insieme di tali problematiche, sia a livello strategico che tattico e operativo, dove i differenti processi sono analizzati congiuntamente, i problemi considerati dal punto di vista dinamico ed obiettivi multipli considerati simultaneamente.

Nella parte iniziale della tesi, è stata introdotta l'importanza ed il ruolo rilevante del Centro di Distribuzione nell'ambito delle Catene Logistiche. Nello specifico, il *focus* è stato incentrato e rivolto sulla funzione principale che esso svolge; sull'incidenza che una sua organizzazione e gestione efficiente ha sui costi logistici complessivi; sui ruoli/compiti svolti dal personale impegnato e soprattutto sui problemi di decisione che esso pone tuttora ai vari ricercatori operativi.

Nel secondo capitolo, si è passato all'analisi e allo studio di tutte le decisioni strategiche che riguardano la gestione efficiente e l'organizzazione del Centro. In primo luogo, si è incentrato l'interesse sulla fase di Progettazione, includendo, con questo, anche la selezione e la definizione del *layout*. Si è passato, quindi, ad una disamina delle misure di performance che incidono maggiormente sulla gestione efficiente e sull'organizzazione. Lo *step* successivo è stato quello di esaminare le strutture di posizionamento, includendo con ciò anche la scelta dei vari sistemi di stoccaggio.

Il terzo capitolo ha invece riguardato le decisioni tattiche, tra cui la movimentazione dei materiali, il dimensionamento delle unità di carico, i mezzi di trasporto scelti per movimentare la merce verso e da un Centro di Distribuzione, l'automazione a livello operativo, rivolgendo una particolare attenzione ed analisi ai moderni sistemi come la *tecnologia RFID*, il *sistema Bar Code* e la *Pallet*

*Card*. Quindi, si è analizzato e studiato i principali metodi e modelli per la gestione della fase di stoccaggio all'interno del Centro, focalizzandosi non solo su quelli in ambito deterministico ma anche quelli applicabili in situazioni di aleatorietà della domanda dei clienti.

Il proseguo del lavoro ha riguardato l'analisi e la valutazione dei metodi e dei modelli per la gestione e risoluzione ottimizzata delle principali decisioni operative che riguardano un Centro di Distribuzione. Nello specifico, oltre ai problemi di caricamento dei mezzi di trasporto, è stata data anche rilevanza alle problematiche inerenti la ricezione della merce (controllo del flusso in ingresso) e la spedizione degli ordini (controllo del flusso in uscita). In particolare, con riferimento al prelievo della merce, si è analizzato anche i moderni sistemi automatizzati, tra cui il sistema di *Voice Picking*. Quindi, si è passati allo studio delle strategie usate per l'instradamento degli addetti al prelievo merci all'interno del Centro di Distribuzione oltre a focalizzarsi su un aspetto importante quale la gestione della qualità: il controllo degli errori, l'anagrafica dei prodotti e la qualità nei servizi offerti.

L'importanza di un tale lavoro si è concretizzata nell'analisi attenta e scrupolosa di un problema molto rilevante per la gestione efficiente di un Centro di Distribuzione: l'allocazione ottimale dei prodotti (o classi di prodotti) alle postazioni di stoccaggio presenti. Un tale problema, che tuttora risulta un *open issue* per i ricercatori operativi, è stato analizzato sia con riferimento ai classici metodi e modelli proposti in letteratura che con focus su quelli più innovativi ancora in fase di validazione e sviluppo.





# Capitolo 1 – Dal Magazzino al Centro di Distribuzione

## 1.1 Premessa

Nel linguaggio corrente il termine “magazzino” si riferisce ad un locale adibito al deposito ed alla conservazione delle merci. Da un punto di vista logistico questa definizione risulta decisamente riduttiva: il ruolo assolto dal magazzino va ben oltre a quello di semplice deposito delle merci. Esso funge da raccordo tra gli acquisti dell’impresa e i processi di trasformazione, e tra quest’ultimi e quelli di vendita. Garantisce, da un lato, la continuità del processo produttivo e la tempestività nel soddisfacimento dei bisogni della clientela, fronteggiando eventuali impedimenti o ritardi nel ricevimento della fornitura. Dall’altro, consente di separare due segmenti del processo distributivo (acquisto materie e vendita prodotti), dotati di differenti dinamiche, al fine di ottenere una riduzione dei costi, garantire le capacità di stoccaggio ed assicurare il flusso delle merci.

Conseguenza stessa della complessità e dell’importanza del ruolo del magazzino è la possibilità di realizzare differenti tipologie di magazzino caratterizzati da differenti tipologie di costruzione, attrezzature, organizzazione, gestione. La prima delle suddivisioni riguarda il posizionamento del magazzino all’interno della catena logistica:

- terminali: collocati agli estremi della catena logistica del produttore, sono quelli da destinare al contenimento di materie prime (in ingresso) e prodotti finiti (in uscita) e corrispondono anche a quelli con dimensioni maggiori;
- interoperazionali: da destinare al contenimento dei semilavorati;
- ricambi ed archivi: da destinare al contenimento di imballi, materiali di consumo, utensili, pezzi di ricambio necessari al buon funzionamento degli impianti di uno stabilimento, e altro.

Un’altra suddivisione riguarda la struttura fisica del magazzino: tradizionale e autoportante. Nel primo caso, si hanno normali scaffalature metalliche contenute all’interno di un edificio solitamente preesistente; mentre in una struttura autoportante lo scaffale stesso sostiene le pareti ed il tetto e diventa esso stesso un edificio a tutti gli effetti, normalmente di grosse dimensioni.

Inoltre, i magazzini si suddividono in manuali o automatici. Questi ultimi si differenziano a seconda delle tipologie dell’automazione, in particolare delle macchine che eseguono il deposito ed il prelievo, ed inoltre in funzione delle unità di carico gestite (pallet, cassoni, scatole, ecc.).

A seconda, poi, della tipologia di impresa analizzata, il magazzino assume particolari ruoli e caratteristiche all’interno del processo produttivo: **Approvvigionamento, Trasformazione economico-tecnica, Commercializzazione.**

Nel magazzino delle **imprese industriali**, a seconda delle diverse fasi di lavorazione dei beni, distinguiamo:

- il magazzino delle materie prime, sussidiarie, semilavorati e componenti destinate ad essere impiegati nei processi di trasformazione .
- il magazzino dei prodotti finiti che si originano nel processo produttivo, in particolare dei semilavorati e dei prodotti in corso di lavorazione nonché di sottoprodotti.

Tale tipo di impresa generalmente è dotata di una struttura produttiva rigida (vedi figura 1.1), quindi non può essere modificata continuamente nel breve periodo per rispondere alla variabilità del mercato. Non potendo adattarsi prontamente alle aleatorietà del mercato di riferimento (inflazione e/o carenza di un determinato bene), esso provvede alla conservazione/stoccaggio delle merci in magazzino. Anche il magazzino “prodotti finiti” svolge un ruolo fondamentale perché consente di mantenere regolari e costanti i processi produttivi. Ad esempio, in periodi di depressione dei livelli di domanda, il magazzino costituisce un deposito di prodotti.



**Figura 1.1** *Processo produttivo di un'impresa industriale.*

In altre parole il ruolo svolto dal magazzino dei prodotti finiti di un'impresa industriale è quello di tenere separati i ritmi di produzione dalle oscillazioni della domanda del mercato finale.

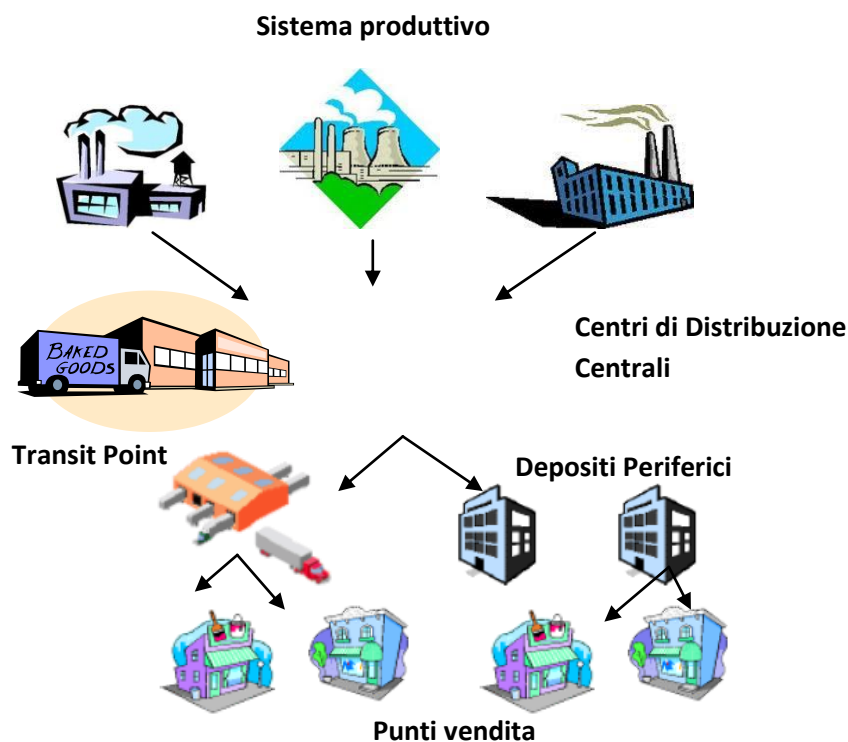
Un'impostazione ben diversa da quella industriale è richiesta per un'**impresa mercantile**. Le imprese mercantili, infatti, non effettuano una trasformazione tecnica e materiale delle merci bensì una trasformazione economica nel tempo e nello spazio, limitandosi al più a modificare l'aspetto esteriore del bene per la presentazione al pubblico. Nelle imprese mercantili, il magazzino è composto principalmente dalle merci e dal materiale di consumo utile all'attività di distribuzione. Esso garantisce continuità nell'evasione delle richieste di clienti; gestione degli acquisti nei momenti più convenienti e le campagne promozionali utili ad attirare la clientela e a pubblicizzare l'impresa.

Per le **imprese di servizi**, vi è l'impossibilità di immagazzinare il prodotto, in quanto i servizi devono essere utilizzati nel momento stesso in cui sono prodotti. In questo contesto, il magazzino potrebbe essere utile al più alla conservazione del materiale utile a svolgere il proprio servizio.

Oltre a questo ruolo più tradizionale di magazzino inteso come *deposito di fabbrica*, in cui è prevalente la capacità di stoccaggio rispetto alle funzioni di smistamento e distribuzione, il magazzino può avere all'interno della catena di distribuzione un ruolo più orientato alla soddisfazione del cliente finale, il che comporta scelte di assetto strutturale e scelte di gestione relative alle funzioni logistiche e all'operatività del sistema. In tal caso il magazzino assume, anche dal punto di vista impiantistico, le caratteristiche di *deposito distributivo*. In una struttura logistica **distribuita evoluta**, il processo decisionale relativo alla progettazione del sistema, è caratterizzato da uno snellimento della rete, al fine di permettere un'efficiente ed efficace collocazione dell'output dell'impresa presso il cliente. In figura 1.2 è riportata la rappresentazione schematica di una catena logistica in cui il processo di produzione dei beni finiti si articola in più fasi, realizzate in diversi centri. A monte di questo stadio sono presenti i fornitori dei materiali e dei componenti che alimentano il processo produttivo finale. A valle è invece situato un tipico sistema di distribuzione a due livelli con una struttura ad albero.

Lungo il canale che congiunge il sistema produttivo ai punti vendita possiamo, distinguere:

- *Depositi centrali (Central Distribution Centers, CDC)* destinati all'accumulo di prodotti da distribuire in un secondo momento e utilizzati soprattutto nella grande distribuzione in cui i flussi logistici e la movimentazione dei materiali è piuttosto veloce (ad esempio ipermercati). La loro più tipica funzione è quella di concentrare in un unico sito logistico i prodotti provenienti da diversi produttori in maniera temporanea, in attesa di essere successivamente distribuiti nei punti vendita. *Depositi periferici (Regional Distribution Centers, RDC)* che ricevono prodotti dai depositi centrali.
- *Transit-point (o transshipment point)* punti di appoggio per flussi logistici particolarmente veloci. La loro funzione prevalente è quella di trasformare flussi in ingresso in flussi in uscita con particolare riferimento alla composizione delle unità di carico. In sintesi, la merce staziona all'interno del sistema per poche ore per essere manipolata, e, successivamente, distribuita nelle località geografiche intorno al magazzino stesso.



**Figura 1.2 Struttura logistica distributiva evoluta**

Alla luce delle considerazioni fatte, appare ora chiara la distinzione concettuale tra termini tra loro sinonimi nel linguaggio comune quali deposito, magazzino, centro di distribuzione, ma che sono sostanzialmente differenti da un punto di vista logistico.

Nel seguito, data l'enfasi che negli ultimi anni è stata posta su concetti quali gestione efficace ed efficiente delle scorte e/o struttura distributiva snella, si analizzeranno le caratteristiche di un sistema di stoccaggio e distribuzione dei materiali con riferimento alla struttura di un centro di distribuzione centralizzato (*central distribution centers, CDC*) questo anche quando per semplicità si utilizzeranno termini come deposito e/o magazzino.

## 1.2 Il Centro di distribuzione ed il contesto territoriale

I centri di distribuzione rappresentano infrastrutture nodali del sistema logistico dove si svolgono attività come la ricezione, lo stoccaggio e lo smistamento delle merci verso i mercati di assorbimento, e in particolare verso i clienti, siano essi gli utilizzatori finali o i grossisti di distribuzione al dettaglio. Queste infrastrutture risultano tanto più complesse (vedi figura 1.3) in rapporto alla qualità delle funzioni svolte e alla quantità delle merci movimentate. Nelle imprese della distribuzione commerciale e, in particolare, della grande distribuzione, i centri di distribuzione immagazzinano merci per brevi periodi e l'attività predominante consiste nel riassortimento dei materiali, cioè nella ricezione di grossi lotti dai produttori e nella formazione di piccole partite, contenenti diversi articoli, per il rifornimento dei punti di vendita.



*Figura 1.3 Centro di Distribuzione*

Il posizionamento del centro di distribuzione rispetto alla rete dei trasporti risulta quindi di importanza strategica. I centri di distribuzione rappresentano un vero e proprio supporto al sistema dei trasporti perché determinano, quando collocati opportunamente ed adeguatamente, grandi confluenze per il successivo smistamento verso la destinazione finale, nel punto economicamente più prossimo all'ubicazione del ricevitore.

In relazione al tipo di trasporto i centri di distribuzione possono essere suddivisi in unimodali ed intermodali.

- **Centri di distribuzione unimodale:** prevedono l'utilizzazione di un solo tipo di vettore nel ciclo di trasporto. Tipico centro unimodale di grande traffico merci è l'autoporto, che consiste in una infrastruttura di supporto dedicata agli operatori del trasporto stradale comprendente magazzini dimensionati per la movimentazione; il deposito temporaneo delle merci con o senza rottura del carico con la possibilità di movimentazioni di grandi unità (per esempio container); nonché servizi generali e specializzati.

L'autoporto per sua natura si colloca nelle immediate vicinanze delle periferie urbane e alla confluenza di strade di diversa importanza; la collocazione è la risultante di diverse considerazioni di

tipo macroterritoriale legate all'analisi delle direzioni e dimensioni di flussi di merci in vasti bacini di utenza, per i quali il centro di distribuzione dovrebbe rappresentare il baricentro degli scambi.

Un aeroporto estremamente specializzato è quello di confine, posto su di una via di comunicazione internazionale e in vicinanza del confine tra due Stati, con funzioni esclusivamente doganali.

- **Centri di distribuzione intermodali:** dove si integrano più sistemi di trasporto con trasbordi di merci da differenti vettori (per esempio marittimi-ferroviari, ferroviari-stradali). I centri intermodali si differenziano da quelli unimodali per l'importanza, la qualità e la quantità dei servizi offerti agli operatori del trasporto e del magazzinaggio. Tipica struttura intermodale è il centro merci, un'infrastruttura costituita oltre che dal terminal intermodale con servizi annessi, anche da magazzini per la scomposizione e ricomposizione dei carichi, il trasbordo, la raccolta e la sosta delle merci. In questi centri la manipolazione dei carichi ed il magazzinaggio risultano attività preponderanti rispetto a quelle di trasbordo intermodale. L'interporto è forse la più completa tipologia di centro merci, dove alle funzioni tipiche di manipolazione e magazzinaggio, si associano attività di supporto agli operatori (sportelli bancari, postali ecc.), al personale (mense, alberghi, ecc) e ai mezzi (officine di riparazione, di rifornimento ecc.). Gli interporti per dimensione e servizi generano una grande attrazione di flussi di traffico, pertanto richiedono soluzioni di collegamento dettagliate con la rete dei trasporti, ancor più degli aeroporti.



*Figura 1.4 Interporto di Nola.*

In figura 1.4 è riportata la veduta aerea dell'interporto di Nola, alle porte di Napoli. Inizia a funzionare nel 1999, nella zona adiacente il CIS, il polo per il commercio all'ingrosso più grande d'Europa. Attualmente la sua superficie è di circa 3 milioni di metri quadrati, di cui 500.000 coperti. Con 24 km di strade percorribili, un terminal di 225.000 metri quadrati e la stazione ferroviaria, in via di completamento, con 13 coppie di binari gestita da Trenitalia e inserita nella rete nazionale, la movimentazione delle merci è possibile in ben quattro diverse modalità: camion, aereo, nave e treno.

### 1.3 Le funzioni di un Centro di Distribuzione

I motivi che conducono le aziende ad utilizzare un sistema di immagazzinamento possono essere:

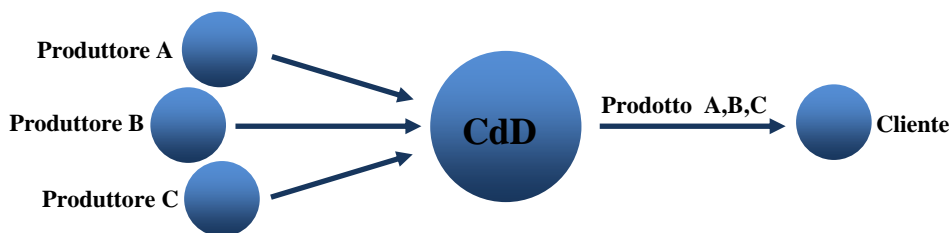
1. *Riduzione dei costi di trasporto.* All'immagazzinamento di scorte sono associati dei costi, che possono diminuire grazie al miglioramento dell'efficienza nei trasporti e nella produzione. Il centro di distribuzione, può giocare un ruolo fondamentale nella riduzione dei costi di trasporto di un'azienda: da un lato la dislocazione strategica sul territorio dei centri di distribuzione può diminuire la distanza dai punti di domanda; dall'altro, l'azienda può, ad esempio, decidere di applicare una politica di sconti di quantità, effettuando spedizioni a pieno carico. Di conseguenza i costi di trasporto in uscita andranno a diminuire più velocemente rispetto al previsto aumento di quelli in entrata.
2. *Coordinare approvvigionamento e domanda.* L'immagazzinamento risulta una fase essenziale nel coordinare approvvigionamento e domanda. Si pensi a prodotti stagionali, o prodotti soggetti a forti oscillazioni di prezzo da un periodo all'altro. Il Centro di distribuzione consente di acquistare un quantitativo elevato di materie prime, anche se le necessità del processo produttivo risultano in quel momento ben inferiori, usufruendo di particolari sconti o prezzi vantaggiosi sul mercato, e depositare l'eccedenza in magazzino, per venderla poi, nel momento in cui c'è richiesta. O si pensi ancora alla situazione in cui, in presenza di un'elevata domanda di mercato, l'impresa decida di non sfruttare al massimo gli impianti produttivi (evitando così il lavoro straordinario dei dipendenti) e di soddisfare, invece, la maggiore richiesta rispetto alla propria produzione utilizzando parte della produzione precedentemente accumulata nei magazzini. In questi casi il centro di distribuzione consente all'azienda di produrre tutto l'anno, a un livello costante, minimizzando i costi ma mantenendo scorte a sufficienza per soddisfare la domanda nei periodi in cui c'è una forte richiesta di un determinato prodotto.
3. *Supportare il processo di produzione.* Nel caso in cui i prodotti richiedono un certo periodo di tempo per la stagionatura (formaggi, vini, ecc.), l'immagazzinamento entra a far parte del processo produttivo. In alcuni casi l'immagazzinamento può comprendere servizi a "valore aggiunto" per il cliente. Ad esempio: uno speciale *packaging* o preparazione del prodotto per il cliente.
4. *Supportare il marketing.* Può essere migliorato il servizio per il cliente, diminuendo il tempo di consegna, immagazzinando il prodotto in un nodo più vicino al cliente. Migliorare il servizio al cliente può significare un aumento delle vendite.

La messa in esercizio di un centro di distribuzione è progettata intorno a cinque funzioni.

- *Ricevimento.* Il ricevimento è il primo processo che viene eseguito sui prodotti entranti nell'area del centro di distribuzione e include: le attività di scarico dei prodotti dai mezzi di trasporto (o dal reparto di produzione in caso di produzione interna), l'aggiornamento del valore di quantità a scorta e l'accertamento di eventuali errori legati alla quantità o alla tipologia dei prodotti ricevuti.
- *Gestione delle scorte.* L'utilizzo più ovvio di un centro di distribuzione è quello di provvedere al mantenimento delle scorte. Ci sono diversi tipi di centri di distribuzione, da centri specializzati, a quelli per merce generale, a centri per lo stoccaggio di beni che sostano temporaneamente. I prodotti

immagazzinati in questi vari modi includono materie prime, semilavorati che sostano per essere assemblati e prodotti finiti pronti ad essere immessi sul mercato.

- **Prelievo.** Il processo di prelievo (*picking*) da magazzino ha invece lo scopo di ottenere la giusta quantità dei prodotti richiesti dal cliente. Durante questa attività avviene il prelievo, da parte degli addetti o di un sistema automatizzato, dei prodotti facenti parte di una lista (*picking-list*), a sua volta associata ad un determinato cliente, al fine di allestire l'ordine ricevuto. Qualora i prodotti facenti parte dei diversi ordini-cliente vengano prelevati in modalità *batch*<sup>1</sup>, potrebbero rendersi necessarie una serie di attività collaterali quali la selezione e il consolidamento dei carichi. Infatti, nel caso in cui si utilizzi una strategia di prelievo *batch*, ogni qualvolta viene prelevata una data quantità di materiale da magazzino è necessario, in primo luogo, associarla ad un determinato ordine-cliente ricevuto. Quest'ultimo passaggio permette, in un secondo momento, di riconfigurare il flusso logistico proveniente dalla fase di prelievo e consolidare le unità di carico (d'ora in poi denominate semplicemente *udc*) che comporranno i diversi ordini-cliente.
- **Consolidamento** (vedi Figura 1.3). La spedizione consolidata consiste nel mettere insieme tante spedizioni provenienti da più mittenti avente in comune il nodo infrastrutturale dove verranno esportati (non necessariamente la stessa destinazione finale), con lo scopo di creare una soluzione di trasporto più economica. Arrivata a destinazione la merce consolidata verrà sdoganata ed un corrispondente o la filiale locale del consolidatore provvederà a smistare le singole spedizioni al loro destinatario. Al limite, un centro di distribuzione può concentrarsi solo sulle attività di ricezioni e invio merci, eliminando lo stoccaggio e le operazioni di *picking*.
- **Distribuzione.** Non sempre il trasporto delle merci dal punto di fornitura alla destinazione finale è diretto, più frequentemente è conveniente effettuare operazioni di carico/scarico intermedie. Se un sistema a *single-step*, infatti, ha il vantaggio di non richiedere alcun costo aggiuntivo di movimentazione/deposito, risulta efficace solo se è assicurato il pieno carico e la destinazione è un unico cliente. In un sistema *multi-step*, invece, il trasporto delle merci è interrotto in almeno un punto in cui avviene la distribuzione/aggregazione delle merci destinate/provenienti da luoghi diversi.



**Figura 1.3** La merce proveniente da produttori differenti viene consolidata all'interno del Centro di Distribuzione e distribuita verso una filiale

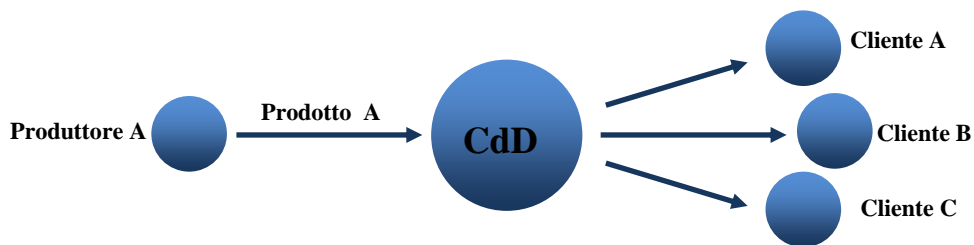
<sup>1</sup> Una modalità di prelievo viene definita di tipo *batch* quando non sussiste una corrispondenza biunivoca tra un ordine di prelievo e un ordine-cliente, ma più ordini-cliente possano essere aggregati/suddivisi in diversi ordini di prelievo al fine di aumentare l'efficienza del processo



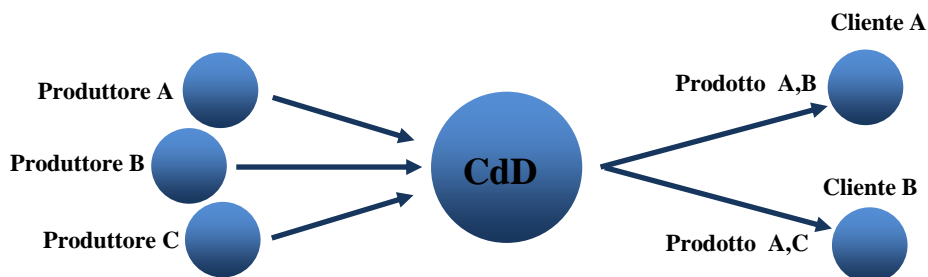
In un tale sistema il centro di distribuzione può avere funzione di punto di accumulo della merce (vedi figura 1.3) o punto di smistamento e quindi usato per il trasferimento di carichi da un automezzo ad altri camion più piccoli allo scopo di diminuire i costi di trasporto (vedi Figura 1.4).

Un'evoluzione di tale sistema è il *cross-docking*: una modalità distributiva che prevede la gestione della merce a flusso, tramite piattaforma Multi-Produttore/Multi-Distributore, verso il punto di consegna finale (tipicamente il punto vendita) eliminando fasi intermedie di stoccaggio della merce stessa.

Nel *cross-docking* i beni sono distribuiti in maniera continua dai fornitori ai clienti attraverso i centri di distribuzione dove la merce rimane in giacenza per più di 15 ore. Esso è un caso molto frequente per la distribuzione di prodotti alimentari e in particolare di quelli deperibili (frutta, verdura, prodotti caseari, ecc.).



*Figura 1.4 Il centro di distribuzione riceve dal produttore e provvede allo scarico e alla formazione di piccole partite di merce da inviare ai vari clienti.*



*Figura 1.5 Il centro di distribuzione riceve carichi di merce da diversi produttori e provvede ad assemblare i vari ordini e spedire la merce a più clienti*

Gli effetti positivi che questo processo genera sono: una distribuzione tempestiva di merci e una migliore sincronizzazione tra domanda ed offerta, la diminuzione/azzeramento della merce accumulata, rifornimenti frequenti, una riduzione degli spazi fisici di magazzino, una riduzione degli errori come conseguenza della minore necessità di movimentare il prodotto e non ultimo, una miglior garanzia in termini di tracciabilità.

La strategia Cross-docking risulta efficace in una serie di situazioni. Il cross-docking può essere utilizzato per consolidare rifornimenti in entrata, per sistemi produttivi orientati a sostenere il just-in-time. Per la **distribuzione**, il cross-docking può essere utilizzato per consolidare i prodotti in entrata da fornitori diversi, che possono essere rispediti solo quando l'ultimo carico in entrata è ricevuto. Per il **trasporto**, il cross-docking comporta il consolidamento delle spedizioni provenienti da fornitori diversi (spesso in lotti LTL<sup>2</sup>) al fine di realizzare economie di scala. L'uso di questa strategia è comune soprattutto quando la percentuale del trasporto in entrata è più bassa di quella in uscita, e/o quando la distanza tra produttore e cliente è elevata. In tali situazioni infatti, la possibilità di utilizzare il centro di distribuzione essenzialmente come una struttura ad alta velocità di smistamento garantisce economie di scala nei flussi in uscita (dal centro di distribuzione ai clienti): piuttosto che preparare e spedire la merce direttamente ai singoli clienti, rappresenta per i punti di produzione la possibilità di realizzare una riduzione dei costi di trasporto come conseguenza della possibilità di effettuare spedizioni a pieno carico. La strategia cross docking è efficace, tuttavia, per grandi sistemi di distribuzione dove è presente un sistema di trasporto veloce ed efficiente con un numero elevato di veicoli, ed è garantito un volume di spedizioni tale da permettere giornalmente l'impiego di veicoli a pieno carico.

#### 1.4 Le tipologie di Centri di Distribuzione

Ci sono varie tipologie di centri di distribuzione: di proprietà, in affitto e pubblici.

Il Centro di proprietà viene utilizzato per prodotti con domanda elevata e continua e richiede un elevato investimento iniziale.

Una soluzione di questo genere risulta meno costosa nel lungo periodo rispetto al noleggio o l'affitto e può essere l'unica alternativa quando il prodotto richiede strumenti e personale specializzato (prodotti farmaceutici o prodotti chimici).

Presenta il vantaggio di un più alto grado di controllo sulle operazioni di immagazzinamento, oltre ai benefici rappresentati dalla proprietà in sé e per sé di beni immobili, e/o dalla possibilità di utilizzare lo spazio di proprietà anche come area di parcheggio o sedi di uffici (rappresentanza, vendite, marketing, ecc.).

I Centri in affitto sono meno costosi nel breve periodo, cioè richiedono minori investimenti iniziali e forniscono gli stessi servizi dei centri di proprietà. Sono da preferire quando è prevista una riconfigurazione del sistema di distribuzione.

Un Centro pubblico può soddisfare diversi bisogni delle aziende, ma disponendo di attrezzature standard può soddisfare esigenze di carattere generale e quindi non adatti a usi specializzati.

I centri di distribuzione pubblici possono essere classificati in diversi gruppi:

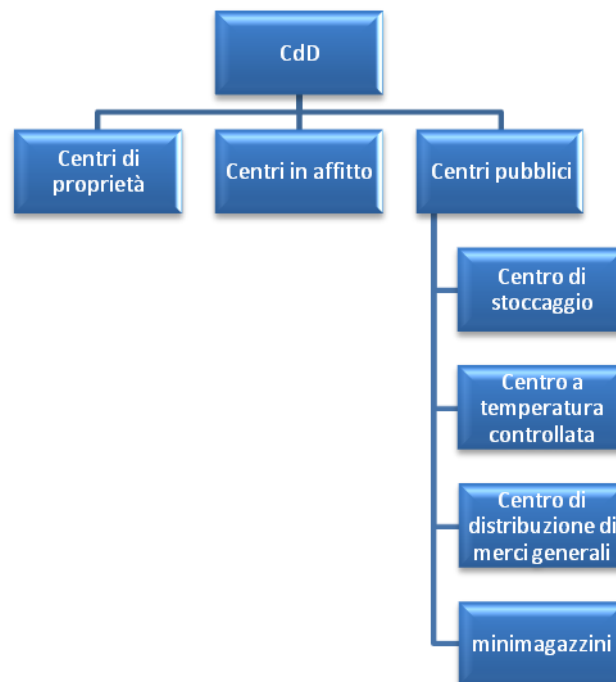
---

<sup>2</sup> LTL (*Less than Truck Load*)

Termine usato se la quantità (peso o volume) di uno o più lotti di merce non satura la capacità del mezzo di trasporto standard (camion).

- *centri di stoccaggio* che limitano il loro servizio allo stoccaggio e alla movimentazione di alcune merci, come legname, cotone, tabacco, e altri prodotti che si possono rovinare facilmente;
- *centri a temperatura controllata* che vengono utilizzati per prodotti altamente deperibili come frutta, ortaggi, surgelati, prodotti chimici o mediche e tutti quei prodotti che richiedono questo tipo di immagazzinamento;
- *centri di distribuzione di merce generale* che sono i più comuni e si occupano di una grande varietà di merce.
- *minimagazzini* che sono piccoli centri, da considerarsi come uno spazio extra e non offrono molti servizi.

Bisogna specificare che questa non è una classificazione rigida, ci possono essere molteplici combinazioni di queste tipologie. In figura 1.6 è riportato uno schema riassuntivo.



**Figura 1.6** *Tipologie di Centri di distribuzione*

I centri di distribuzione pubblici non richiedono elevati investimenti iniziali: sono convenienti quando l'azienda intende investire il capitale in altre operazioni o semplicemente non possiede il capitale necessario. I costi sono direttamente proporzionali allo spazio occupato, quindi possono offrire costi più bassi di quelli di proprietà quando l'utilizzazione dello spazio è bassa. Questo può rappresentare il vantaggio di garantire una maggiore flessibilità: consente di adeguare rapidamente la struttura del servizio logistico alle variazioni spazio-temporali della domanda dei prodotti. Ma ci possono essere delle inefficienze nei magazzini di proprietà a causa della sotto o sovra utilizzazione dello spazio.

Piuttosto che usare soltanto una tipologia, presupponendo che la necessità di spazio nel magazzino subisca una fluttuazione minima nel tempo, si è soliti ricorrere ad una strategia mista soprattutto quando i requisiti di spazio oscillano molto.

Ad esempio, nel caso in cui sia possibile occupare verticalmente lo spazio, potrebbe verificarsi un sottoutilizzo notevole durante il corso dell'anno quando si verificano periodo di stallo; oppure nel caso di un magazzino di proprietà di dimensioni vincolate, la migliore soluzione sarebbe quella di sfruttare un magazzino (centro) in affitto su una base di breve durata, per fare fronte alle richieste di merce nei periodi di punta. Il centro di proprietà è caratterizzato da una combinazione di costi fissi e variabili, mentre il centro in affitto è essenzialmente formato da costi variabili. Poiché i costi del centro di proprietà sono maggiori, il costo complessivo iniziale coinciderà con i costi fissi, mentre lo spazio sottoutilizzato del magazzino sarà responsabile dell'aumento dei costi complessivi.

L'obiettivo della strategia mista è di trovare combinazioni differenti di centri di proprietà e determinare il punto di minimo costo dello spazio di cui si necessita durante l'anno.

### 1.5 I costi logistici in un Centro di Distribuzione

La conoscenza dei costi in un centro di distribuzione permette, oltre all'attuazione di possibili interventi per la loro riduzione, di analizzare contemporaneamente anche tutte le attività che vengono svolte, di verificarne il valore e di poter valutare i vari processi logistici.

- **Costi di investimento.** Sono i costi di avvio all'attività logistica di un centro di distribuzione. Comprendono:
  - costo di acquisto del terreno sul quale verranno o sono stati edificati gli edifici destinati ad attività logistiche, o valore annuo della quota di ammortamento;
  - oneri di urbanizzazione, particolarmente elevati in alcune aree;
  - costo di ammortamento degli edifici adibiti ad attività logistiche;
  - realizzazione delle aree frontali alle banchine di carico e scarico;
  - impiantistica di supporto alla attività logistica quali quella dedicata alla sicurezza (antinfortunistica, antincendio, cartellonistica, ecc.);
  - altri costi derivanti alle attività logistiche e ammortizzabili secondo i piani finanziari.
- **Costi per il ricevimento dei materiali.** È una voce che non sempre viene rilevata ed analizzata nel suo giusto valore e nella sua entità. Spesso incluso nel costo di acquisto, il costo per il ricevimento dei materiali è principalmente composto dalle seguenti voci:
  - costo del trasporto delle merci in arrivo;
  - costo del reparto ricevimento, ed in questo caso vanno inclusi il costo delle risorse umane addette, la quota di ammortamento dei mezzi utilizzati per lo scarico dei materiali e delle eventuali strutture per il controllo (bilance, conta pezzi, ecc.), il costo della gestione amministrativa. Quest'ultimo costo può essere anche elevato, in relazione particolarmente alle eventuali procedure spesso farraginose previste dall'azienda. L'analisi di questi costi può essere una occasione per rivedere queste procedure;

- costo dell'area di ricevimento come quota di ammortamento dell'investimento iniziale e di tutti i costi per la sua gestione, quali illuminazione, energia, riscaldamento o condizionamento, ecc.;
- costo dei trasporti interni di movimentazione.
- **Costi di gestione.** Sono i costi sostenuti per la gestione dei materiali posizionati a magazzino e per la loro movimentazione. Possiamo indicare alcune fra le principali voci che compongono questo costo:
  - gli oneri finanziari che gravano sul valore delle scorte immagazzinate;
  - il costo di posizionamento dei materiali in entrata, e quindi principalmente il costo delle risorse umane addette a questa attività e la quota di ammortamento delle strutture di posizionamento;
  - il costo per l'allestimento degli ordini per i materiali in uscita, e fra questi principalmente il costo del processo operativo, delle risorse umane addette e degli imballaggi da trasporto;
  - il costo relativo alle aree sia interne che eventualmente esterne alla area principale (depositi esterni, depositi presso le filiali, ecc.) adibite al posizionamento dei materiali, ed in questo costo vanno inclusi i ratei di ammortamento del valore dell'edificio e delle strutture per il posizionamento, il costo di manutenzione (quali ad esempio i costi per illuminazione, riscaldamento, eventuale condizionamento, ecc.)
  - il costo di ammortamento e eventuale gestione delle attrezzature antinfortunistiche e di prevenzione (ad esempio, degli impianti antincendio);
  - il costo della gestione amministrativa: si pensi alla elaborazione e gestione delle bolle di accompagnamento materiali, a tutto il sistema informatico per la gestione dei materiali a magazzino, ecc.

Un'analisi interessante da valutare con attenzione è quella relativa al costo degli imballaggi. In particolare nelle industrie produttrici di beni industriali questa voce può essere rilevante come valore e come importanza sulla protezione del prodotto.

È una voce spesso trascurata nella determinazione dei costi logistici, ed è una voce importante specialmente nelle aziende che hanno una percentuale elevata di prodotti dedicati all'esportazione, oppure con prodotti di particolari dimensioni o pesi e costruiti con materiali che possono subire danni durante le varie fasi della distribuzione.

Fanno parte di questi costi: il costo dei materiali di imballaggio; il costo dei materiali accessori (etichette, nastri di chiusura, ecc.); il costo dell'eventuale reparto addetto all'imballaggio, (affitto e manutenzione dell'area e delle attrezzature adibite alle operazioni di imballaggio; costo delle risorse umane addette; costo di esercizio: energia, riscaldamento ecc.).

La valutazione di questa voce di costo porta spesso a decidere di terziarizzare questa attività sia per affidare a specialisti la realizzazione di imballaggi idonei in funzione del contenuto e delle direttrici di traffico, sia per ridurre i costi di esercizio di questo settore.

- **Costi di distribuzione.** Si tratta di una voce importante dei costi logistici non solo perché sono costi variabili (dipendenti dalla quantità di merce trasportate, dalle direttrici di traffico, dalle tipologie dei contratti con i clienti, ecc.), ma anche perché sono costi che devono essere costantemente sottoposti a controllo sui quali si può spesso intervenire per una sua anche drastica riduzione e contemporaneamente ottenere un miglioramento del livello di servizio. I costi di distribuzione sono principalmente composti da:

- Costo dell'area adibita al carico dei materiali in partenza, formato dalla quota di ammortamento o di affitto dell'area dedicata alle spedizioni e dalla quota di ammortamento dei mezzi utilizzati per la movimentazione in quest'area.
- Costo delle attività per il carico dei prodotti in distribuzione sui mezzi in partenza, composto principalmente dal costo delle risorse umane addette e dalla quota di ammortamento delle attrezzature dedicate al carico.
- Costo dei noli per i differenti mezzi utilizzati per la distribuzione (gomma, rotaia, mare, aereo). Una netta distinzione deve essere fatta fra i costi preventivati per trasporto e consegne in tempi operativi definiti e costi per consegne "urgenti". L'analisi di questi ultimi costi e la loro imputazione porta a valutazioni sulle motivazioni delle "urgenze" che, se opportunamente analizzate, possono modificare e ridurre notevolmente la "politica" delle urgenze.
- Costo delle assicurazioni complementari. Spesso il valore versato dai vettori in funzione delle leggi esistenti e dei contratti stipulati con i vettori stessi per danni, perdite o avarie ai prodotti trasportati è inferiore al reale valore del prodotto trasportato. Ne deriva l'esigenza da parte di chi effettua la spedizione e ne è responsabile (dal punto di vista assicurativo secondo le normative nazionali ed internazionali in relazione agli *incoterms*<sup>3</sup> previsti contrattualmente con i clienti) di stipulare con le compagnie assicuratrici delle polizze complementari per coprire la differenza fra il valore di rimborso previsto dalle leggi ed il valore reale del prodotto. È un costo che deve essere valutato e incluso nei costi di distribuzione e non, come spesso avviene, tra i costi generali aziendali.
- Costo della documentazione di spedizione. Anche questo costo può assumere valori rilevanti, particolarmente nelle spedizioni in importazione ed in esportazione: si pensi alla documentazione doganale, ai certificati d'origine, ecc. Sarebbe opportuno che questi costi venissero addebitati a ciascuna spedizione e valutati in relazione al valore della merce trasportata: un'analisi potrebbe anche far rivedere le condizioni di vendita in alcune aree.
  - **Costi di rischio.** Sono costi che ad un'analisi attenta delle attività logistiche, devono essere tenuti costantemente sotto controllo poiché sono costi spesso imprevedibili e possono assumere valori notevoli.

Si possono dividere in due categorie: costi di rischio operativi e commerciali.

Fra i principali costi di rischio operativo devono essere considerati, ad esempio, quelli relativi ai prodotti che, nell'arco di un determinato periodo di tempo, possono divenire obsoleti. Le motivazioni logistiche che portano una azienda a decretare la obsolescenza di uno o più prodotti o di una intera famiglia di prodotti sono normalmente legate all'area e volume che occupano: quindi motivazioni di spazio insufficiente che costringe a fare una selezione di prodotti, o costo gestionale elevato e che diventa un costo improduttivo per l'azienda. Tale decisione richiede la conoscenza, oltre del valore dei prodotti stessi, il costo di gestione di questi prodotti ed i costi relativi eventualmente al loro smaltimento o distruzione.

---

<sup>3</sup> contrazione di *international commercial terms* è la serie di termini utilizzati nel campo delle importazioni ed esportazioni, valida in tutto il mondo, che definisce in maniera univoca e senza possibilità di errore ogni diritto e dovere competente ai vari soggetti giuridici coinvolti in una operazione di trasferimento di beni da una nazione ad un'altra.

Oltre al valore dei materiali obsoleti, fra i costi di rischio operativi devono essere rilevati ed analizzati, il valore dei prodotti danneggiati sia all'interno del magazzino sia durante la fase di distribuzione; dei cali insiti nella natura stessa di alcuni prodotti; degli ammanchi e dei guasti che si possono verificare nelle fasi di sosta nel magazzino.

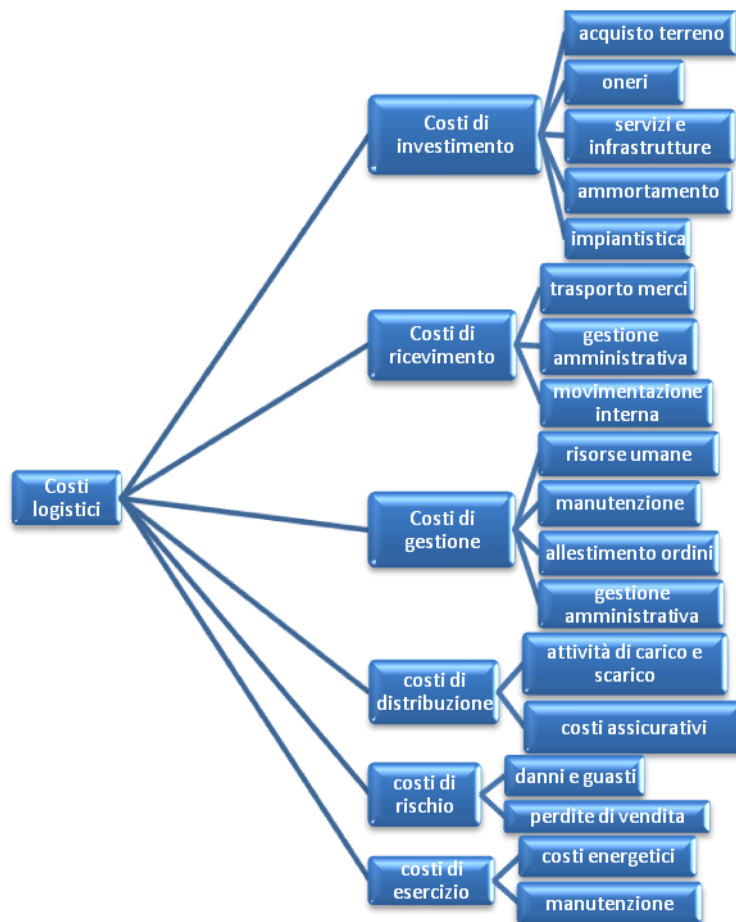
Il costo di rischio commerciale per motivi logistici è imputabile sia a perdite di vendita ai clienti (imballaggio di spedizione non idoneo e quindi la merce viene respinta, consegne in ritardo rispetto al convenuto, ecc.), sia a perdita di immagine (errori di spedizione, vettori che effettuano le consegne con metodologie non ortodosse, ecc.).

- **Costi di esercizio.** Le voci che costituiscono i costi di esercizio sono molteplici e non sempre di facile valorizzazione.

Possiamo includere fra questi:

- costi per polizze assicurative per furto, incendio, ecc. dei prodotti posizionati nei magazzini;
- costi per gli impianti antinfortunistici, attrezzature per gli addetti, segnaletica, ecc.;
- costi per l'ammortamento degli impianti antincendio nei magazzini quali ad esempio estintori nelle loro differenti tipologie, scale di sicurezza, attrezzature specifiche in consegna agli operatori, ecc.;
- costi per l'ammortamento e la gestione degli impianti antifurto;
- costi per la manutenzione dei mezzi di movimentazione (ad esempio, ricarica batterie dei carrelli elevatori);
- costi relativi alle fonti di energia sia per l'illuminazione che per eventuale condizionamento dei locali adibiti a magazzinaggio di prodotti che richiedono particolari condizioni climatiche.

Ciascuno dei settori dei quali sono state evidenziate le principali voci di costo deve essere analizzato con attenzione partendo dal principio che sono possibili miglioramenti attraverso interventi diretti o indiretti.



**Figura 1.7 I Costi logistici di un Centro di Distribuzione**

### 1.6 Il personale di un Centro di Distribuzione

In un centro di distribuzione operano diverse figure professionali.

- *Responsabile di centro di distribuzione.* Una delle funzioni aziendali più complesse è quella del responsabile di centro di distribuzione, o capo magazzino. I suoi ruoli sono molteplici: dalla gestione delle scorte al coordinamento con gli altri enti aziendali direttamente o indirettamente legati alla logistica, dal coordinamento di tutte le attività legate alla movimentazione dei materiali alla gestione delle risorse umane. La funzione organizzativa comprende non solo una previsione operativa in reazione ai programmi di vendita a breve termine, ma anche il controllo continuo e assiduo delle attività che vengono svolte, in particolare la richiesta di consegne “urgenti” dalla direzione commerciale, la gestione dei ritardi dei vettori o gli arrivi della merce “fuori orario” di lavoro. Il responsabile del centro di distribuzione deve programmare e coordinare il raccordo tra i fornitori ed i clienti. Da lui dipende la movimentazione di tutti i materiali che entrano nel centro di distribuzione e la movimentazione della merce che deve essere prelevata per essere spedita al cliente.
- *Responsabile del sistema informativo del centro di distribuzione.* Figura di estrazione informatico-elettronica, ha responsabilità per le seguenti attività: gestione ed amministrazione del database (controllo utenti abilitati, sicurezza delle informazioni, gestione password, ecc.), monitoraggio del



corretto funzionamento del sistema dal punto di vista sistemistico (*backup*, prestazioni, situazioni di errore) ed elettro-meccanico (sensoristica, scanner laser e componenti movimentazione automatica in generale), sostituzione, inserimento o configurazione nuove postazioni di lavoro (PC desktop, terminali RFid) e relative periferiche (configurazione stampanti, modem, dispositivi di rete, ecc.); modifica della configurazione sistemistica dell'impianto (accesso a parametri di sistema interni).

- *Addetto al coordinamento ricevimento/spedizione merci*, detto anche addetto alla banchina di carico/scarico, si occupa di coordinare e controllare che le operazioni di ricevimento/spedizione si svolgano in modo corretto e nei tempi prestabiliti.
- *Responsabile accettazione merci*. Provvede a controllare i documenti di trasporto dei vettori che giungono presso il centro di distribuzione per scaricare la merce. Procede, inoltre ad aggiornare sul sistema informativo del centro di distribuzione i dati relativi alle quantità di ogni merce dopo ogni arrivo.
- *Preparatore*. Si occupa della preparazione e della movimentazione della merce che deve poi essere spedita ai vari clienti.
- *Addetto al controllo alla merce in uscita*. Controlla che la merce preparata per essere inviata ad un cliente, corrisponda esattamente all'ordine emesso dal cliente stesso.
- *Addetto al controllo della merce in ingresso*. Si occupa del controllo della merce in entrata, una volta che questa è stata posizionata sulla banchina di scarico.
- *Carrellista*. Provvede, dopo che la merce viene scaricata dai vettori dei fornitori e controllata, alla movimentazione e al posizionamento delle unità di carico nella posizione di stoccaggio assegnata al prodotto dal sistema.
- *Addetto alle operazioni di carico/scarico merce*. Provvede a caricare/scaricare le unità di carico sui/dai vettori dalla/sulla banchina di carico/scarico.
- *Autista*. Guida i mezzi di trasporto del centro di distribuzione ed è responsabile della consegna della merce presso i clienti.
- *Addetti ai servizi vari* (controllo e movimentazione vuoti, manutentori, addetti alle pulizie , ecc.).  
I sistemi retributivi e le formule di incentivazione maggiormente adottate nel settore sono:
- *Sistema a tempo*: si basa soltanto sulle ore lavorate.
- *Sistema a incentivo*: è formato dalla paga base, con l'aggiunta di un premio che scatta al raggiungimento di un determinato livello di prestazione lavorativa.
- *Sistema a incentivo a scatti*: introduce degli "scatti" nello schema a incentivo fornendo, in tal modo, un ulteriore incentivo.
- *Sistema a premio basato sul merito*: oltre alla paga base, riconosce un bonus che, però, non viene correlato con la produttività.
- *Sistema a pezzi*: basa la retribuzione unicamente sulla quantità del lavoro svolto.
- *Retribuzione basata sui risultati*: nella sua versione base, è simile al sistema a pezzi; normalmente si tratta di una retribuzione di merito aggiunta alla paga base.
- *Sistema ad incarico*: è simile al sistema a pezzi o al sistema basato sui risultati, ma riferito agli sforzi compiuti e ai risultati conseguiti (risparmi nei costi). Si tratta di un comune sistema premiante per il *management*.

- *Sistemi retributivi a livello di azienda.* Sono premi collettivi basati sulla produttività collettiva. Possono essere riferiti all'incidenza dei costi sulle vendite, al valore aggiunto dell'operazione e/o all'aumento della produttività.
- *Fringe Benefits.* Sono forme diverse di riconoscimento, non legate alla produttività che vanno dal pagamento delle vacanze, al premio di Natale, ai buoni mensa, alla fornitura del vestiario, e così via.
- *Piani di ripartizione dei profitti:* si riferiscono agli utili della società. Hanno lo scopo di far crescere l'attaccamento del personale verso l'azienda.

L'applicazione di questi metodi retributivi varia, in relazione al tipo di mansione e vengono gestiti sulla base di standard determinati attraverso lo studio dei tempi di lavoro delle singole mansioni. Gli schemi basati sulla produttività sono validi soltanto per attività che possono trarre qualche vantaggio da piani del genere, vale a dire quando un aumento di efficienza da parte del lavoratore produce un aumento di produttività. Ad esempio, l'accuratezza e la tempestività nelle operazioni di prelievo possono avere un'importanza maggiore del numero degli atti di prelievo che il personale esegue in un'ora.

La pertinenza dei diversi schemi retributivi viene meglio evidenziata, nel settore della distribuzione, prendendo a riferimento gli autisti e il personale del centro di distribuzione. Sembra logico retribuire gli autisti in base alle ore di lavoro o alle ore di presenza, cioè, con una forma di retribuzione a tempo. Si può inserire anche una percentuale speciale per la mansione basata sull'esperienza di lavoro o sulle capacità di guida. Come incentivo, anziché una retribuzione aggiuntiva, si può gestire una forma contrattuale del tipo “*a fine lavoro te ne vai*” e concedere un tempo di riposo supplementare. Si può stabilire un incentivo economico sotto forma di una retribuzione basata sui risultati, assumendo come riferimento i chilometri percorsi, il numero di cartoni consegnati e così via. E' vietata ogni forma di incentivo che comprometta la sicurezza sulle strade. Può essere, non solo pericoloso ma addirittura illegale, proporre un piano di incentivazione degli autisti che preveda una retribuzione aggiuntiva legata alla velocità di esecuzione del lavoro.

Anche il personale di centro di distribuzione può essere retribuito in base alle ore di lavoro o alle ore di presenza. In un ambiente più controllato, come può essere un centro di distribuzione, le ore di lavoro del personale vengono sicuramente rilevate. E' altresì verosimile che esistano paghe differenziate per diverse mansioni (carrellisti, preparatori, ecc.). Si possono proporre premi di merito basati sulle prestazioni e sono molto frequenti le forme retributive correlate con la produttività, calcolata in termini di cartoni prelevati, di pallet movimentati e così via.

## **1.7 La Gestione del centro di distribuzione**

Nella gestione di un sistema logistico occorre tenere conto di tre aspetti: il capitale utilizzato, il costo di esercizio e il livello di servizio fornito al cliente. La scelta di un giusto compromesso tra i valori di queste variabili costituisce una delle decisioni strategiche più importanti per un'impresa di produzione e/o distribuzione e contribuisce a determinare il volume delle vendite, i margini di profitto e la collocazione dell'impresa sul mercato.

*Il capitale investito nel sistema logistico* è costituito dalle risorse finanziarie impegnate sotto forma di immobili (capannoni, depositi, ecc.), di attrezzature (macchinari, veicoli, ecc.) e di scorte (capitale circolante).

*Il costo delle attività logistiche* è dato dalle risorse finanziarie consumate dall'azienda per lo svolgimento delle attività di raccolta ed elaborazione degli ordini, nonché per lo stoccaggio, la movimentazione, l'imballaggio ed il trasporto delle merci.

*Il livello di servizio* esprime il grado complessivo di soddisfazione del cliente e dipende da numerosi fattori (indicati collettivamente come *marketing mix*), connessi alle caratteristiche del prodotto, al prezzo, alle offerte promozionali e alle modalità di distribuzione.

Le componenti logistiche del livello di servizio (tempo medio di consegna, rispetto delle scadenze pattuite, disponibilità di informazioni circa eventuali ritardi nelle consegne, ecc.) hanno un ruolo di preminenza soprattutto in quei mercati caratterizzati da prodotti omogenei e di basso valore unitario. In questi casi la competizione tra le imprese riguarda soprattutto le modalità di distribuzione.

Un buon indicatore del livello di servizio di una rete di distribuzione è dato dal tempo di fornitura (*order-cycle time*), definito come l'intervallo temporale che va dall'emissione di un ordine alla consegna delle merci.

Il tempo di fornitura è una variabile aleatoria con una distribuzione di probabilità multimodale. Questa proprietà può essere agevolmente illustrata facendo riferimento ad un tipico sistema di distribuzione a due livelli con una struttura ad albero: i centri del primo livello (*central distribution centers*, CDC) sono magazzini riforniti direttamente dagli impianti di produzione, mentre ciascun centro del secondo livello o Centro periferico, (*regional distribution center*, RDC) è un magazzino collegato ad un unico CDC (vedi figura 1.2).

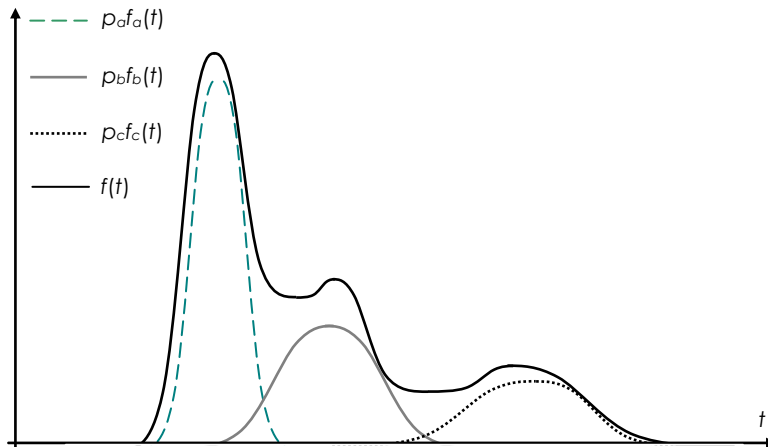
Quando un punto di domanda (cliente o dettagliante) richiede delle merci, si possono verificare tre situazioni:

- a) se le merci sono disponibili nelle quantità e nell'assortimento richiesti dall'RDC al quale il punto di domanda afferisce, la consegna viene effettuata in modo celere;
- b) in caso contrario, è necessario il preventivo rifornimento dell'RDC da parte di un CDC e solo successivamente si può procedere al soddisfacimento della richiesta del punto di domanda;
- c) se neppure il CDC dispone delle merci richieste, queste vengono messe in produzione e solo successivamente vengono riforniti (nell'ordine) il CDC, l'RDC e il punto di domanda.

Dette  $p_a$ ,  $p_b$  e  $p_c$  le probabilità dei tre eventi e  $f_a(t)$ ,  $f_b(t)$ ,  $f_c(t)$  le densità di probabilità (condizionate) del tempo di fornitura  $t$  rispettivamente nei casi a), b) e c), la densità di probabilità del tempo di fornitura è data dalla seguente relazione (figura 1.6):

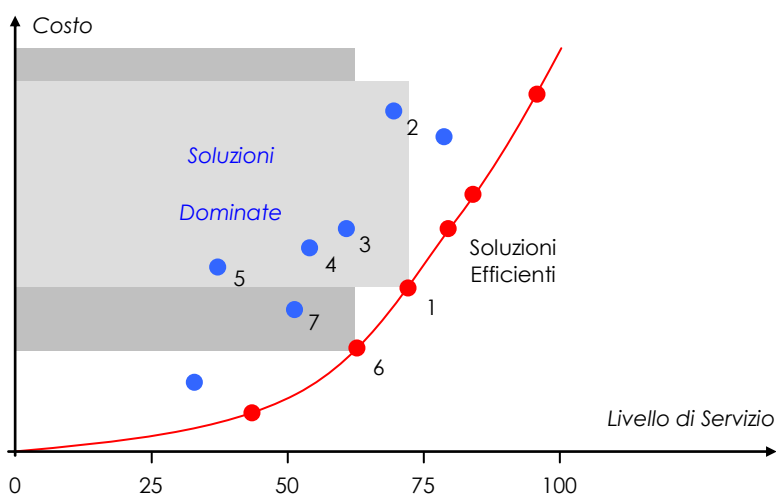
$$f(t) = p_a f_a(t) + p_b f_b(t) + p_c f_c(t). \quad (1.1)$$

Le alternative di "progetto e di esercizio" di un sistema logistico possono essere classificate in base al costo (totale) e al livello di servizio, un'alternativa  $A$  si dice *dominata* da un'alternativa  $B$  se il costo di  $A$  è maggiore o uguale a quello di  $B$ , il livello di servizio di  $A$  è minore o uguale a quello di  $B$  ed almeno una di queste disuguaglianze è verificata in senso stretto.



**Figura 1.6** Distribuzione di probabilità del tempo di fornitura

Riportando in un grafico costo-livello di servizio, ad esempio come in figura 1.7, si nota che le alternative 2, 3, 4 e 5 sono dominate dalla 1, mentre le 3, 4, 5 e 7 sono dominate dalla 6. Le alternative non dominate si dicono *efficienti* oppure *ottime secondo Pareto* ed individuano la curva costo-livello di servizio.



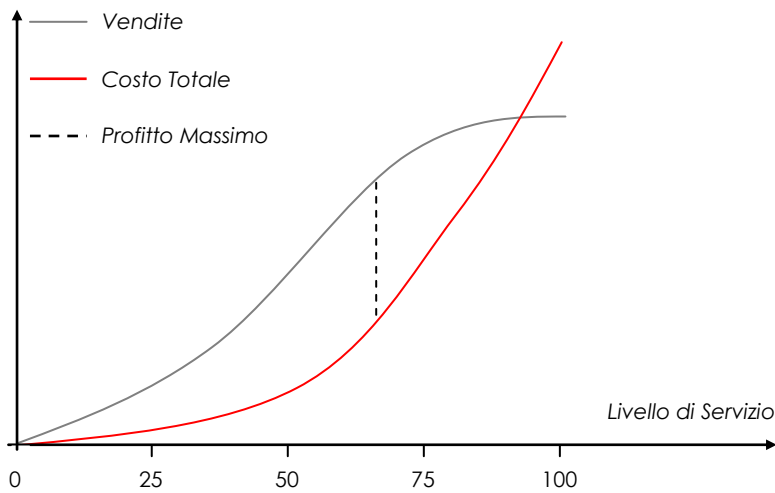
**Figura 1.7** Curva costo-livello di servizio (il livello di servizio è determinato dalla percentuale di clienti serviti nei tempi di fornitura pattuiti)

Il livello di servizio influisce in modo marcato sul volume delle vendite. Tuttavia è difficile stabilire una relazione funzionale tra queste due grandezze poiché il livello di servizio è difficilmente esprimibile in modo analitico.

Ferme restando le altre variabili del marketing mix, l'andamento qualitativo dei ricavi delle vendite e dei costi è riportato in figura 1.8.

Le curve costo-livello di servizio e vendite-livello di servizio possono essere utilizzate per determinare il livello di servizio a cui corrisponde il massimo valore del profitto. Infatti, a partire da tali relazioni funzionali, è possibile ricavare il profitto (differenza tra i ricavi delle vendite e i costi) in

funzione del livello di servizio. In genere, la massimizzazione del profitto si consegue per valori elevati (ma inferiori al massimo) del livello di servizio (figura 1.8).



**Figura 1.8** Determinazione del livello di servizio ottimale

Il punto di massimo profitto, dal punto di vista logistico, sarà quello in corrispondenza del quale la differenza tra le due curve è massima, ossia il livello di servizio per cui le derivate delle due curve si uguagliano (i costi uguagliano i ricavi).

Questo approccio è difficilmente applicabile in pratica a causa della difficoltà di valutazione della relazione tra vendite e livello di servizio. Si preferisce pertanto selezionare l'alternativa a costo minimo in grado di assicurare un prestabilito livello di servizio.

### 1.7.1 Problemi di Decisione

Le decisioni relative all'organizzazione di un sistema logistico consistono nella ricerca dei valori ottimi di opportuni "parametri di progetto e di gestione". Queste scelte si differenziano sensibilmente a seconda dell'orizzonte temporale cui fanno riferimento. Esse sono tradizionalmente classificate in decisioni strategiche, tattiche e operative.

I responsabili di attività logistiche tendono, ove possibile, a ripetere nel tempo le decisioni che si sono dimostrate valide in passato. Ad esempio, una politica di gestione che abbia dato risultati soddisfacenti nel corso degli anni viene spesso utilizzata finché non intervengono dei mutamenti (variazioni della domanda, dei costi, delle tecnologie o della legislazione) che la rendono manifestamente inefficiente. Quando si verificano simili circostanze, e nel caso in cui un sistema logistico debba essere realizzato "ex novo", si rende necessaria la generazione e la valutazione di soluzioni alternative.

Una prima possibilità consiste nell'individuazione di una soluzione che ottimizzi un prestabilito indice di prestazione (approccio *what-is-best*). Questa ricerca può essere convenientemente formulata mediante un problema di *Programmazione Matematica*.

In generale, un problema è detto:

- *di decisione*, se si chiede soltanto di stabilire se una data istanza di input del problema verifica o no una determinata proprietà;
- *di ricerca*, se bisogna determinare una qualsiasi soluzione per l'istanza di input;
- *di ottimizzazione*, se bisogna determinare la soluzione migliore minimizzando o massimizzando una determinata misura della soluzione restituita.

I problemi di ottimizzazione sono spesso denominati, con terminologia equivalente problemi di *Programmazione Matematica*.

Tradizionalmente i problemi di Programmazione Matematica sono suddivisi in problemi “facili” e “difficili” (*NP*-difficili), a seconda che esista o meno un algoritmo risolutivo con un tempo di calcolo limitato superiormente da una funzione polinomiale della “quantità di informazione” impiegata per codificare i dati in ingresso.

Numerosi problemi nel campo dell'organizzazione dei sistemi logistici sono a larga scala (cioè la loro rappresentazione richiede una grossa mole di dati) e *NP*-difficili. Da ciò discende spesso l'impossibilità di determinare la soluzione ottima nei limiti temporali e con le risorse di calcolo a disposizione del decisore. In questi casi ci si orienta verso algoritmi approssimati in grado di fornire soluzioni sub-ottime in tempi accettabili.

Una seconda possibilità consiste nel valutare un numero limitato di soluzioni, selezionate tra quelle suggerite dai responsabili aziendali e tra quelle adottate dalle imprese concorrenti (approccio *what-if*). La valutazione consiste nella determinazione di un prestabilito insieme di indici di prestazione e può essere realizzata con un metodo analitico o con un modello di simulazione.

Nei seguenti tre capitoli saranno presentate le varie problematiche connesse alle decisioni relative alla progettazione, organizzazione e gestione del Centro di Distribuzione suddivise, in un ottica temporale e funzionale, rispettivamente in decisioni strategiche, tattiche ed operative.

## Capitolo 2 – Le decisioni strategiche in un Centro di Distribuzione

### 2.1 Introduzione

La progettazione di un centro di distribuzione, caratterizzato da una specifica collocazione nella rete logistica, richiede la definizione delle caratteristiche quantitative e qualitative del flusso fisico dei materiali, e dei relativi flussi informativi, e quindi l'analisi dettagliata delle relazioni di interfaccia con i differenti segmenti del sistema logistico situati a monte e a valle (fornitori, impianti di produzione, magazzini periferici, punti di domanda).

La verifica di tali relazioni, come pure la definizione del "ruolo" specifico del magazzino nel contesto del sistema logistico, devono essere considerate parti integranti e preliminari della fase di progettazione.

La progettazione del centro di distribuzione richiede, quindi, una serie di decisioni strategiche, ossia di scelte di assetto strutturale che, in una prospettiva a lungo termine, difficilmente vengono poi successivamente modificate.

In questo capitolo saranno illustrate alcune di tali decisioni che definiscono la struttura della rete di distribuzione: dalla localizzazione dei centri logistici, alla scelta di sistemi di stoccaggio e di veicoli, nonché, alla definizione delle politiche di assegnazione degli spazi.

### 2.2 La progettazione di un centro di distribuzione

Progettare un magazzino significa determinare quantitativamente spazi e risorse, mezzi e uomini, necessari per stoccare i materiali e svolgere le attività operative richieste. L'obiettivo da raggiungere è la minimizzazione della somma dei costi imputabili ai locali, alle attrezzature, alla manodopera e ai consumi energetici per un dato insieme di flussi materiali in ingresso ed in uscita, in presenza di vincoli sulla disponibilità di spazi, capitale e manodopera.

La realizzazione di un impianto industriale si articola nelle seguenti fasi:

- ✓ studio di fattibilità
- ✓ progettazione completa
- ✓ realizzazione o esecuzione del progetto

Chi deve progettare un magazzino (o rimetterne in discussione uno funzionante) effettua uno studio preventivo, basato sulla capacità di sviluppare diverse alternative progettuali con l'obiettivo di identificare la soluzione ottimale tra scelte costruttive, suddivisione degli spazi, scelta dei sistemi di movimentazione, gestione delle risorse.

Tale studio preventivo può essere schematizzato nelle seguenti fasi:

- *product design*, ossia studio e definizione di un nuovo prodotto (o servizio) **P**. Questa fase, affidata ad economisti esperti di ricerche di mercato ed a tecnici progettisti, richiede una gestione integrata del prodotto, ovvero con competenze logistiche, civili-architettoniche, impiantistiche, legate alla conoscenza di tecnologie, organizzazione, sistemi informativi di gestione.
- *process design*, ossia scelta del ciclo produttivo **C** e definizione qualitativa del diagramma di produzione, fase affidata ad uno o più esperti di tecnologie industriali.
- definizione dei servizi **S** (o impianti ausiliari) necessari al funzionamento degli impianti di produzione. Questa fase richiede la capacità di porre in concorrenza mirata diversi fornitori al fine di ottenere il massimo delle tecnologie e strutture disponibili al costo più basso, senza rinunciare a sicurezza ed affidabilità.
- scelta della potenzialità produttiva ottimale **Q** e valutazione della redditività economica dell'investimento impiantistico. Gli obiettivi da perseguire in questa fase di competenza di esperti impiantisti, saranno la correttezza nel dimensionamento dell'impianto nelle sue diverse componenti (evitando sovra o sotto-dimensionamenti), ed una stima precisa dei costi/benefici delle diverse alternative progettuali.

Se l'analisi iniziale è stata correttamente impostata, la pluralità di offerte possibili permetterà di scegliere, tra le tante opzioni, quella "su misura". Gli operatori del centro di distribuzione possono avere, infatti, priorità differenti, quindi con esigenze diverse relativamente al deposito delle merci ed all'evasione degli ordini. I *vettori* effettuano in proprio il trasferimento della merce; gli *spedizionieri* svolgono un ruolo essenzialmente di intermediari con gli incaricati del trasporto; i *depositari* effettuano per conto terzi il servizio di stoccaggio e custodia delle merci in arrivo o in partenza. Ciascuno di questi operatori richiede uffici e magazzini dimensionalmente e funzionalmente differenti. Gli *spedizionieri*, ad esempio, svolgono la loro attività in ufficio, e in tal caso, affidandosi a figure esterne di *vettori*, non richiedono spazi per il deposito temporaneo delle merci, o al più necessitano dello spazio destinato ai vettori. Questi ultimi necessitano di un magazzino molto particolare, la ribalta. Si tratta di un edificio destinato alla sosta temporanea, in funzione del cambio di mezzi di trasporto; si avranno così ribalte gomma-gomma (con trasbordo da autoveicolo ad autoveicolo) e ribalte ferro-gomma (con trasbordi da carro ferroviario a autocarri). I *depositari*, invece, richiedono tipologie di grandi edifici per lo stoccaggio a lungo termine, quanto più economici possibile dal punto di vista costruttivo e impiantistico.

Le scaffalature destinate al posizionamento della merce a magazzino, ad esempio, possono essere a gravità, a profondità multipla oppure dinamiche. La scelta di movimentazione o dei carrelli può dare la possibilità di districarsi tra le diverse soluzioni: un carrello è il mezzo ideale quando è necessario muoversi senza vincoli di mobilità e diventa necessario operare movimentazioni sia orizzontali che orizzontali/verticali. Ma integrare l'indispensabile carrello con trasloelevatori, trasportatori, elevatori, montacarichi, AGV o navette può rappresentare un'eccellente soluzione quando si tratti di lavorare su flussi/quantità/percorsi dove la rigidità della soluzione risulta compensata dalla velocità e precisione di esecuzione. Ricorrere a mezzi ausiliari quali dispositivi di alimentazione, di posizionamento o robot, se impone un significativo incremento del budget, può garantire a regime un miglioramento in termini di efficienza. Le procedure di prelievo rappresentano infine il vero e



proprio banco di prova di un magazzino, in quanto è evidente che si tratta di coniugare precisione e produttività. Valutare se è l'uomo a doversi muovere verso le postazioni oppure la merce a muoversi verso l'uomo, se l'uomo debba muoversi a piedi, su carrelli elevatore o traslo-elevatore, o adottare soluzioni miste, sono tutte scelte connesse ad una progettazione efficace.

### 2.3 Elementi progettuali

Noti, quindi, il prodotto (P), il ciclo produttivo (C), i servizi o impianti ausiliari (S) e la potenzialità produttiva richiesta (Q), si può procedere alla fase di progettazione completa di un nuovo magazzino o di ristrutturazione di un magazzino esistente. E' necessario partire da tre elementi fondamentali:

1. conoscenza delle caratteristiche fisiche che deve avere un edificio da adibire a ricezione, posizionamento e spedizione delle merci;
2. conoscenza delle caratteristiche dell'attività operativa;
3. conoscenza delle problematiche gestionali connesse con l'attività che nell'edificio dovrà essere svolta.

Fra le problematiche fisiche legate alle caratteristiche della costruzione, si annoverano:

- ✓ selezione del sito
- ✓ studio della disposizione planimetrica dell'impianto, ovvero del *plant layout* di massima (con la definizione delle superfici e dei volumi necessari, il dimensionamento, la suddivisione delle aree);
- ✓ scelta delle strutture di posizionamento della merce;
- ✓ scelta dei mezzi di movimentazione;
- ✓ definizione del *layout* interno.

Dal punto di vista operativo i principali argomenti da affrontare sono:

- ✓ esigenze connesse alle caratteristiche del prodotto;
- ✓ mezzi e procedure per la ricezione dei materiali;
- ✓ logiche di posizionamento dei materiali;
- ✓ logiche di prelievo della merce;
- ✓ formazione delle unità di carico;
- ✓ utilizzo di imballaggi secondari per la spedizione.

Fra le problematiche gestionali ricordiamo:

- ✓ definizione dei livelli di scorta;
- ✓ gestione degli inventari;
- ✓ gestione delle risorse umane;
- ✓ gestione dei costi;
- ✓ controllo della produttività del magazzino.

#### 2.3.1. Selezione del sito

Prima di tutto è necessario risolvere il problema del luogo in cui il magazzino dovrà essere ubicato. Il sito specifico deve essere definito dentro l'area, ottenuta attraverso l'applicazione di una serie di

modelli matematici (Von Thuenen, 1826; Weber, 1929; Hoover, 1948; Lösch 1954;) che danno una approssimazione della localizzazione finale, in termini di regione, area metropolitana o città.

La scelta della zona geografica e del terreno specifico, all'interno della zona, in cui ubicare il magazzino, sono distinte ed avvengono in tempi successivi. In particolare la scelta del terreno può essere fatta solo dopo la stesura del progetto del *layout* generale. I principali fattori ubicazionali a carattere territoriale sono i seguenti: costi di costruzione (che possono variare anche notevolmente in base ad eventuali vincoli urbanistici, oppure disponibilità e costo della manodopera), caratteristiche del mercato di sbocco del prodotto (distribuito o concentrato), caratteristiche delle materie prime (ad esempio, per processi con perdita di peso o di volume della materia prima è preferibile un posizionamento vicino alla fonte), collocazione nella rete logistica (sono da considerarsi le eventuali strutture di interfacciamento esistenti sul territorio, la viabilità, i servizi: trasporti, disponibilità di energie ecc).

Naturalmente, quando i magazzini già esistono, come nel caso di quelli pubblici o in affitto, la selezione è generalmente ristretta alle strutture disponibili. Quando la selezione è tra i magazzini pubblici, i criteri sono concentrati sulle tariffe e sui servizi necessari. Di contro, la selezione di strutture in affitto riguarda fattori noti, come le caratteristiche fisiche delle costruzioni che devono essere affittate, che possono rappresentare dei vincoli per le operazioni nei magazzini. La pianificazione dei magazzini privati offre, di conseguenza, la massima flessibilità di design per tutte le alternative di immagazzinamento.

In ogni caso la progettazione non può non tener conto di eventuali vincoli architettonici che potrebbero influire sulla scelta del sito, sia relativi a nuove costruzioni che ad edifici già esistenti.

Per le nuove costruzioni si tratta di considerare caratteristiche quali la viabilità, la configurazione morfologica e geologica del terreno, forma e dimensione dell'area interessata, normative di piano regolatore o dei beni culturali, normative di sicurezza.

Per edifici esistenti i vincoli da considerare sono ristretti alla viabilità ed alle dimensioni e caratteristiche tecniche dell'edificio (modulo pilastri, impianti tecnologici ecc.).

L'impatto di tali vincoli sul progetto (generalmente) è molto pesante e può tradursi in scelte non sempre favorevoli alla qualità dello stesso; i casi esemplificativi di grosso impatto sono numerosi. Come esempi significativi possiamo descrivere alcune situazioni più frequenti. Nel caso in cui l'edificio sorga o dovrà essere realizzato su terreno collinare o montagnoso, inevitabilmente in toto o in parte l'edificio si andrà a sviluppare su due livelli, soluzione in genere non ottimale per un magazzino.

Nel caso in cui è stato possibile realizzare o prevedere un piazzale di manovra di limitata profondità, le bocche di carico/scarico risulteranno inclinate, oppure si è costretti a rinunciarvi, a discapito dell'efficienza nel carico/scarico degli automezzi.

Nel caso in cui l'edificio abbia un'altezza inferiore ai 6 metri tale vincolo può obbligare ad adottare sistemi non sempre funzionali e limita notevolmente l'impiego di alcune attrezzature tecnologicamente avanzate ed in genere particolarmente idonee allo stoccaggio intensivo.

La presenza di compartimentazioni, uscite e scale di sicurezza, impianti antincendio (in particolare se inseriti negli scaffali) incidono notevolmente, in modo particolare sui magazzini di grande

superficie, sul *layout* e sul coefficiente di utilizzo delle aree. Tali vincoli risultano insidiosi: un edificio apparentemente idoneo può rivelarsi non adatto e l'adozione di eventuali rimedi difficilmente risolve il problema in modo soddisfacente; in genere le aree più penalizzate sono quelle di stoccaggio e di prelievo.

La scelta ubicazionale può essere legata, oltre che a fattori qualitativi, anche a fattori quantitativi. Metodi quantitativi di scelta dell'ubicazione sono: il metodo del punteggio, il metodo in base ai costi, il metodo dei costi di trasporto. Si tratta di metodi veloci e di facile applicazione che consentono di identificare rapidamente le soluzioni palesemente inefficienti.

**Metodo del punteggio.** Si procede elencando tutti i fattori ritenuti importanti e assegnando a ciascun fattore un peso normalizzato (somma dei pesi pari a 100), indicante la sua influenza sulla scelta del sito. In relazione al fattore considerato, si assegna una valutazione numerica, a ciascuna delle ubicazioni. Si moltiplicano i pesi per le valutazioni, e si sommano i risultati per ciascuna soluzione. L'ubicazione ottimale sarà evidentemente quella corrispondente al massimo punteggio totale.

Fattori ubicazionali	Peso P	Valutazione V			Punteggio P·V		
		A	B	C	A	B	C
<b>Manodopera</b>	40	60	30	50	2400	1200	2000
<b>Materie prime</b>	25	40	95	80	1000	2375	2000
<b>Mercato</b>	15	30	80	70	450	1200	1050
<b>Energia</b>	10	40	80	60	400	800	600
<b>Costi costruzione</b>	10	90	25	40	900	250	400
<b>Totale</b>	100				5150	5825	<b>6050</b>

**Tabella 2.1 Esempio di applicazione del Metodo del punteggio.**

Nella tabella 2.1 si riporta una possibile applicazione di tale metodo usando come fattori ubicazionali la presenza nell'area di manodopera e materie prime, la tipologia di mercato, le fonti energetiche disponibili, i costi di costruzione. Il conteggio totale evidenzia (in rosso) il valore corrispondente al punteggio massimo e quindi l'ubicazione preferibile rispetto alle tre possibili alternative.

La scelta tra due o più soluzioni equivalenti va successivamente effettuata con tecniche più raffinate. **Metodo in base ai costi.** Si procede elencando tutti le voci di costi di costruzione, in modo da considerare l'investimento complessivo, per ciascuna delle località alternative messe a confronto); si elencano, quindi, i costi di gestione annui, relativi a ciascuna voce comparando tali valori oppure effettuando una valutazione economico-finanziaria dell'investimento, basata ad esempio sulla tecnica di analisi della redditività degli investimenti (De Rossi, Salzano 1974), infine si sceglie l'ubicazione che risulta essere più vantaggiosa.

Nella tabella 2.2 è riportato un esempio di applicazione del Metodo in base ai costi. Usando come criterio di valutazione la somma dei costi annui di esercizio e dei costi di investimento, espressa in migliaia di euro, l'esempio mostra che la località denominata B, con un costo complessivo inferiore, risulta essere più vantaggiosa.

Nel caso in cui i costi di investimento e i costi di esercizio diano risultati contrastanti si deve procedere ad analisi più raffinate.

Costi di Investimento	Località		Costi annui di esercizio	Località	
	A	B		A	B
<b>Terreno</b>	160	30	<b>Trasporto materie prime</b>	70	50
<b>Fabbricati</b>	840	850	<b>Trasporto prodotti finiti</b>	350	310
<b>Scavi</b>	30	80	<b>Mano d'opera</b>	150	200
<b>Livellamento</b>	40	60	<b>Energia</b>	80	50
<b>Palificazioni</b>	20	15			
<b>Racc. ferrov</b>	10				
<b>Racc. stradale</b>	5	5			
<b>Approv. Acqua</b>	10	10			
<b>Totale K €</b>	<b>1115</b>	<b>1045</b>		<b>650</b>	<b>610</b>

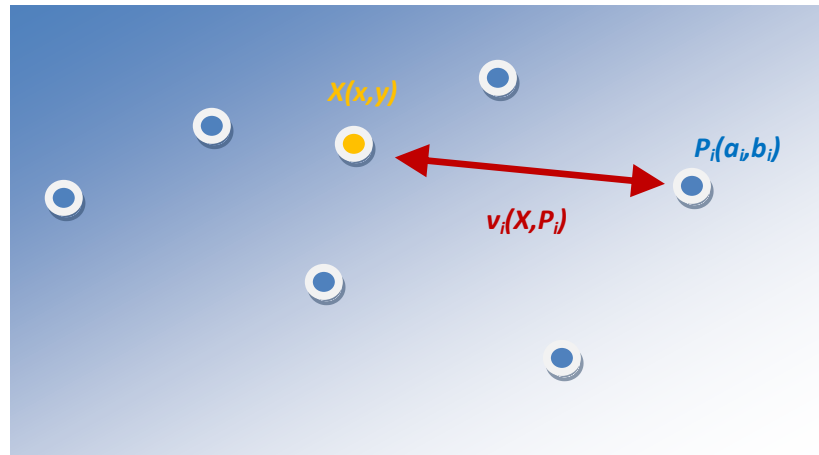
*Tabella 2.2 Esempio di applicazione del Metodo in base ai costi.*

**Metodo dei costi di trasporto.** La posizione dell'impianto è influenzata dai costi di trasporto rispetto ai punti di destinazione dei prodotti in uscita (semi-lavorati o finiti) verso i clienti.

La scelta ubicazionale viene eseguita in base al criterio di minimizzazione dei costi di trasporto esterni. Indicando con  $P_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) i punti di destinazione e con  $X(x,y)$  il punto incognito di ubicazione del nuovo impianto, (vedi figura 2.1), si considera la distanza fra  $X(x,y)$  e  $P_i$  ( $i=1, \dots, n$ ). Può essere utilizzata la distanza euclidea  $d(X, P_i)$ , la distanza rettangolare o la distanza geografica reale, (la scelta dipende dai dati a disposizione e dalle semplificazioni accettabili). Il trasporto della merce tra  $X(x,y)$  e  $P_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) avrà un costo proporzionale alle distanze  $d(X, P_i)$ .

Indicando con  $v_i$  il numero di viaggi in un anno tra  $X$  e  $P_i$ , e con  $c_i$  il costo per unità di percorso del trasporto tra  $X$  e  $P_i$ , si può definire la seguente funzione obiettivo, che rappresenta il costo totale annuale dei trasporti dato dalla somma delle distanze percorse moltiplicate per un certo “peso”:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n v_i \cdot c_i \cdot d(X, P_i)$$



**Figura2.1 Schematizzazione del Metodo dei costi di trasporto.**

dove  $w_i = v_i \cdot c_i$  rappresenta il “peso” espresso in (€/kilometro)(viaggi/anno). Il metodo si basa quindi sulla determinazione del valore  $X^*$  per cui si realizza la seguente condizione:

$$f(X^*) = \min (f(X))$$

### 2.3.2 Caratteristiche della costruzione

L'edificio rappresenta la struttura fisica ed estetica dell'intero impianto industriale, quella che si percepisce subito da fuori e che deve poter permettere di operare in maniera efficiente ed efficace. A seconda delle procedure che si vogliono implementare, dei costi, degli spazi e dei vincoli su di essi, possono essere prese in considerazione diverse ipotesi di costruzione dell'edificio. Un fabbricato industriale a più piani, ad esempio, favorisce un flusso produttivo verticale; è stato usato in passato nei settori automobilistico, tessile, ...ecc. Mentre un fabbricato industriale a un piano favorisce un flusso produttivo orizzontale; è prevalente negli stabilimenti moderni.

Un fabbricato industriale si compone di: fondazioni, strutture portanti, coperture e pareti, pavimentazione e strutture varie.

Le fondazioni del fabbricato possono essere: continue, a plinti, su pali, a platea; la scelta dipende dai carichi da sopportare e dalle caratteristiche del terreno. Poiché devono resistere a sollecitazioni dinamiche, occorre evitare risonanza e trasmissione di vibrazioni al terreno e alle strutture e solitamente si impiegano supporti elastici e antivibranti per macchine e fondazioni.

Riguardo alla struttura del centro di distribuzione, sostanzialmente è possibile decidere tra due diverse soluzioni. La soluzione tradizionale consiste in un edificio sorretto da pilastri e da strutture in muratura (vedi Figura 2.2).



**Figura 2.2** Edificio sorretto da pilastri e strutture in muratura, a sinistra vista esterno, a destra vista interno.

La soluzione detta *autoportante* consiste in un edificio che si regge interamente sulle scaffalature senza supporti in muratura (vedi Figura 2.3).

Le strutture portanti devono tenere conto delle seguenti sollecitazioni: carico permanente o fisso (peso proprio delle strutture), sovraccarichi sismici, sovraccarico del vento e della neve, sovraccarico dovuto a carichi sospesi (mezzi di trasporto, tubazioni, canalizzazioni). La struttura portante può essere: in cemento armato normale o precompresso, in acciaio, in laterizio armato (attualmente sostituita sistemi di prefabbricazione più economici).



**Figura 2.3** Edificio sorretto interamente da scaffalature senza supporti in muratura.

Le strutture in cemento armato in generale risultano particolarmente adatte per luci variabili dagli 8 ai 20 m per fabbricati ad un piano, o per luci variabili dai 6 ai 10 m per fabbricati a più piani, presentano un'elevata resistenza al fuoco, non viene attaccata da agenti corrosivi, buona capacità termica e ridotta trasmissione di rumori e vibrazioni.

Parametro essenziale da considerare nella progettazione di un centro di distribuzione è la maglia (di pilastri) che deve risultare compatibile con le strutture da inserire (da considerarsi solo nel caso della soluzione tradizionale, in quanto nei magazzini autoportanti sono le stesse scaffalature che compongono l'edificio); tipicamente le maglie indicative sono  $10\text{ m} \times 17\text{ m}$  oppure  $20\text{ m} \times 17\text{ m}$ , ma in ogni caso è sempre bene disporre di una maglia abbastanza grande, in quanto maggiore è la stessa, maggiore è la possibilità di sfruttamento delle aree.

Le maglie di più frequente adozione per i fabbricati in cemento hanno interassi (valori in metri):  $20 \times 12$ ;  $24 \times 12$ ;  $26 \times 14$ .

Le strutture in cemento armato precomprese vengono fabbricate fuori opera e montate direttamente con cantieri altamente specializzati. Richiedono il minimo numero di pilastri (ogni pilastro occupa da  $0,8$  a  $1,5\text{ m}^2$  utile), consentono rapidità di messa in opera (quindi con riduzione di manodopera). Rispondono all'esigenza di realizzare fabbricati a maglie sempre più ampie.

Le caratteristiche a favore delle strutture in acciaio rispetto a quelle in cemento armato in generale sono: una maggior rapidità di costruzione, minor impiego di manodopera, elevate doti di leggerezza e resistenza degli elementi in acciaio, possibilità di realizzare grandi luci, capacità di sopportare forti sovraccarichi. Gli svantaggi sono: la bassa resistenza al fuoco, un facile attacco da parte di agenti corrosivi per cui si ha necessità di manutenzione frequente, bassa capacità termica.

Le maglie di più frequente adozione per i fabbricati in acciaio hanno i seguenti interassi (valori in metri):  $12 \times 12$ ;  $16 \times 16$ ;  $12 \times 16$ ;  $12 \times 24$ ;  $20 \times 20$ .

Le strutture in laterizio armato, largamente impiegate nel passato per la realizzazione di capannoni a volta, hanno costi di esecuzione relativamente contenuti, e possibilità di realizzare luci fino a 20 metri. Limiti di tali strutture sono: elevati costi di riscaldamento, impossibilità di sospensione dei mezzi di trasporto e dell'impiantistica relativa ai servo mezzi, volume al di sopra dei tiranti scarsamente utilizzato.

Per quanto riguarda le coperture, principali prestazioni e caratteristiche richieste sono: impermeabilizzazione e protezione dalle intemperie, isolamento termico ed acustico, resistenza meccanica e pedonabilità, durata, leggerezza, illuminazione, ventilazione, evacuazione dei fumi. In grandi edifici, per assicurare una sufficiente illuminazione naturale non bastano le superfici vetrate sulle pareti ma occorrono anche sulla copertura, tali superfici perdono la loro efficacia per lo sporco e per la posa in opera di nuovi servizi, inoltre risultano controproducenti dal punto di vista dell'acclimazione ambientale. Negli USA la maggior parte degli stabilimenti è priva di finestre, ma in Europa la normativa impone una adeguata illuminazione naturale.

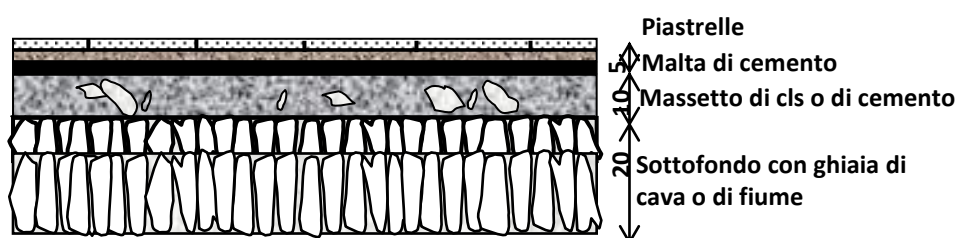
Per quanto riguarda prestazioni e caratteristiche richieste per le pareti esterne, queste fungono da elemento di chiusura e protezione dagli agenti atmosferici, devono quindi garantire la coibentazione e buone caratteristiche termo-acustiche, con l'inserimento di aperture di illuminazione e ventilazione, garantire una buona resistenza meccanica. Le tipologie costruttive per le pareti esterne possono essere in muratura di laterizi o in blocchi di c.l.s., lastre prefabbricate in cemento armato, pareti semplici in lamiera oppure pareti strutturali in vetro (*curtain wall*).

Per quanto riguarda la pavimentazione sono da considerarsi non solo evidentemente, i carichi delle strutture, ma anche la necessità di avere, ad esempio, una pavimentazione con determinate

caratteristiche e prestazioni quali: una resistenza superiore a quella degli uffici e delle abitazioni civili in genere in termini di urti e vibrazioni, bassi costi dei materiali, bassi costi di posa in opera, capacità di assorbimento dei rumori, isolamento contro il caldo e il freddo, buona elasticità per evitare il danneggiamento di oggetti a seguito di caduta, antipolvere e facilità di manutenzione, una determinata resistenza ad oli e grassi, finiture antisdrucchiolo, la palificazione, l'esistenza di una maglia elettrosaldata o ad impasto metallico, ecc.

Le pavimentazioni usate possono essere:

- in calcestruzzo (in lastroni o con trattamento superficiale indurente);
- con piastrelle di materiali vari (korodur);
- con piastrelle di gres;
- in linoleum, resine sintetiche, gomme ecc.



*Figura 2.4 Pavimentazione*

In figura 2.4 è riportato dimensionamento tipico e tipologia di basamento ad di sotto del rivestimento.

Tra i parametri da considerare nella progettazione di un centro di distribuzione non vanno infine trascurati: impianti accessori: necessari all'interno di tutte le strutture aziendali sono l'impianto antincendio (per cui è necessario controllare la disponibilità di acqua), l'impianto di condizionamento (sono da considerare eventuali problemi di deperibilità dei prodotti e dell'imballo, i problemi di compatibilità con il luogo di lavoro), l'impianto di illuminazione (come sopra, con in più considerazioni sulla sicurezza e sulla capacità di lettura).

Particolare importanza ha l'impatto ambientale del centro di distribuzione che si va a progettare in termini di altezza dello stabile (sia per la soluzione tradizionale che per quella autoportante), né bisogna trascurare l'eventuale pericolosità delle merci stoccate, e lo smaltimento dei rifiuti.

### **2.3.3 Il Dimensionamento**

Una volta selezionato il sito e decisa la struttura portante dell'edificio, la fase successiva nella progettazione di un nuovo centro di distribuzione, pone il problema relativo alle dimensioni di base e di altezza che devono essere oculatamente valutate. Una volta che la dimensione generale del magazzino è determinata, infatti, questa rappresenterà un vincolo per le operazioni di immagazzinamento. In generale, il risultato di una pianificazione scadente del dimensionamento del



magazzino è la causa di costi maggiorati di movimentazione dei materiali e di spazio sotto o sovrastimato.

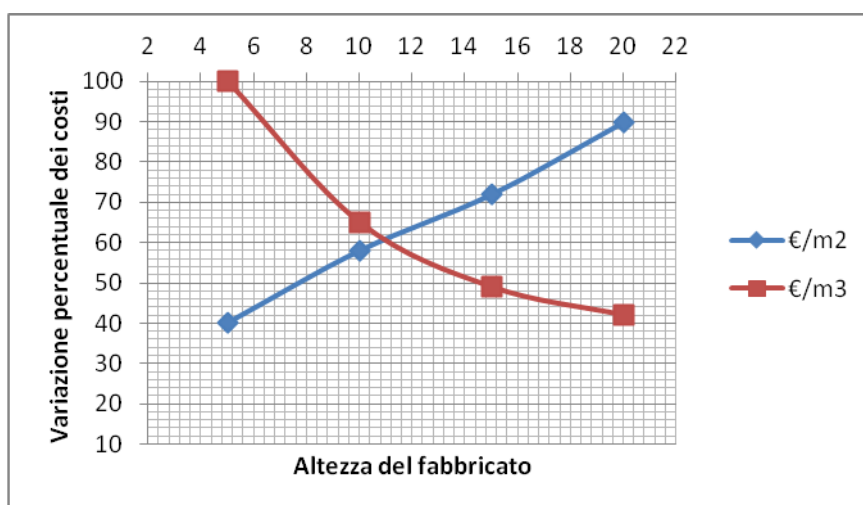
Nel dimensionamento innanzitutto bisogna tenere in considerazione il fatto che non ci saranno cambiamenti significativi nella necessità di spazio nell'imminente futuro, o che eventuali sviluppi a breve e medio termine possono essere opportunamente previsti e pianificati senza dover sospendere l'attività in corso. Quando il *trend* nello spazio richiesto non è costante nel tempo occorre quindi prevedere i cambiamenti dei fattori fondamentali nella definizione dello spazio richiesto. Il problema diventa dinamico, e richiede di affrontare la questione addizionale dei cambiamenti che potrebbero verificarsi nella dimensione del magazzino e del costo conseguente a tale cambiamento.

In secondo luogo, è necessario tenere presente che la *giacenza*, ossia il quantitativo massimo che il magazzino deve contenere, ed i *flussi*, ossia le prestazioni che sono richieste al magazzino in termini di movimentazione nell'unità di tempo, rappresentano i fattori determinanti nelle necessità di spazio. Tali dati sono pianificati dinamicamente nel tempo, e di conseguenza la determinazione della dimensione ottimale del magazzino è da valutare in ogni anno dell'orizzonte di pianificazione. Il dimensionamento del magazzino è, dunque, un problema di pianificazione strategica, o a lungo termine. La determinazione della dimensione migliore del magazzino in ogni istante di tempo è quella ottenuta effettuando un *trade-off* tra i benefici ed il costo del dimensionamento, tenendo conto dei seguenti punti:

1. Ricerca della dimensione migliore del magazzino, in termini di combinazione di magazzino proprio o in affitto. Le dimensioni di un magazzino pubblico saranno evidentemente definite e pianificate; le dimensioni dello spazio privato devono essere definite al presente, ma a differenza del primo, permettere la pianificazione e/o la costruzione di cambiamenti di spazio.
2. Variabilità della richiesta di spazio dovuta alle fluttuazioni stagionali nella catena di distribuzione, nella domanda richiesta e nelle incertezze legate alle previsioni. Come per ogni modello dinamico, sono richieste previsioni a lungo termine accurate per evitare errori nella pianificazione; la dimensione suggerita può essere una stima della dimensione finale della costruzione ma non si devono escludere le diverse alternative di dimensionamento in funzione delle richieste di spazio; la selezione delle alternative di dimensionamento da essere esaminate è basata sul giudizio e non tutte le combinazioni di dimensione devono essere esplorate attraverso l'analisi.
3. Esigenze legate alla tipologia merceologica dei prodotti che dovranno essere immagazzinati, aggregati in categorie o classi di articoli omogenei (metodo ABC *paragrafo 3.8.5.3*) per consentire di poter gestire i prodotti nello stesso modo dal punto di vista delle modalità di stoccaggio e movimentazione. Ancora, eventuali caratteristiche di fragilità che potrebbero richiedere particolari caratteristiche al sistema di *handling*; oltre ad eventuali condizioni climatiche necessarie per la conservazione dei prodotti (temperatura, umidità, ecc.). Ancora, esigenze di sicurezza che potrebbero ad esempio richiedere misure di protezione e prevenzione particolari su certe categorie di merci (liquidi infiammabili, prodotti tossici, merci preziose ecc.).

In base alle considerazioni dette, le esigenze e quindi le alternative possono essere varie: i magazzini possono assumere molte forme e varie dimensioni. Il dimensionamento più semplice si riferisce a tutto il volume cubico della costruzione del magazzino combinando lunghezza, larghezza ed altezza

in relazione ai costi di movimentazione delle merci nel magazzino e ai costi di costruzione del magazzino stesso.



**Figura 2.5** *Variazione percentuale dei costi di investimento e di esercizio al m<sup>2</sup> e al m<sup>3</sup> rispettivamente, al variare dell'altezza.*

Per dare un'idea di massima, il dimensionamento di base del magazzino può essere valutato per stabilimenti di piccola dimensione in 10-20m<sup>2</sup>/operaio; per stabilimenti di media dimensione, industrie meccaniche, automobilistiche, del legno in 150-200m<sup>2</sup>/operaio; per stabilimenti di grande dimensione, industrie siderurgiche in 400-500 m<sup>2</sup>/operaio.

La scelta dell'altezza del tetto è di *trade-off* tra costi di costruzione e costi di movimentazione dei materiali dovuti al tempo di servizio richiesto per accumulare e prelevare i carichi.

In figura 2.5, è riportata la variazione percentuale dei costi annui unitari dovuti all'ammortamento, riscaldamento, illuminazione e manutenzione del magazzino in funzione dell'altezza. Da notare che il costo unitario globale per metro cubo diminuisce all'aumentare dell'altezza.

La stabilità dei prodotti stoccati individualmente in colonne o raggruppati in *unità di carico (udc)* mediante supporti quali i *pallet* (ovvero contenitori di dimensioni standard, paragrafo 3.3) può costituire un limite superiore per l'altezza. Per superare questo limite sono utilizzati spesso gli scaffali che aumentano l'utilizzazione in verticale del magazzino.

Anche l'insieme delle norme e dei vincoli imposti dalla normativa vigente nella zona può influenzare l'altezza finale in relazione all'autorizzazione rilasciata. Solitamente un'altezza ottimale è quella tra gli 8 metri e i 13 metri.

### 2.3.4 Suddivisione dell'area in nuclei funzionali

Il magazzino è suddiviso in tre aree principali: un'area di ricezione e controllo dei materiali in entrata; un'area di stoccaggio, dove i beni vengono depositati come scorta; un'area di allestimento e preparazione degli ordini dei clienti per essere spediti.

Ciascuna area ha una destinazione d'uso propria e caratteristiche definite dall'attività in essa svolta che, spesso, richiede la presenza ed il supporto di ulteriori attività ausiliari o sussidiarie.

Per questi motivi, è preferibile definire nella superficie complessiva richiesta dal magazzino, delle aree specifiche ossia dei nuclei funzionali:

- area di arrivo delle merci;
- area di formazione dell'ordine e deposito temporaneo;
- area di formazione di unità di carico standardizzate con pesatura ed imballo;
- area di impacchettamento o inscatolamento di merci sfuse;
- area di controllo di qualità delle merci stoccate;
- area di stoccaggio effettivo delle merci;
- area spedizioni;
- area per i servizi al personale del magazzino;
- area per gli uffici gestionali del magazzino.

Non tutte queste aree sono presenti in un centro di distribuzione in quanto dipendono dal tipo di merci stoccate, dal tipo di imballaggio e confezione richiesto, dalle caratteristiche del trasporto esterno e dalla movimentazione interna, dalla durata della giacenza massima. In particolare alcune attività collaterali allo stoccaggio come il controllo della qualità o il confezionamento di prodotti sfusi, solo da poco tempo sono effettuati nei magazzini più moderni, che si stanno attrezzando per diventare centri per la clientela, predisponendosi a svolgere anche attività specializzate come manutenzione prodotti finiti, gestione contenitori a rendere, ritiro dell'invenduto, gestione e recupero crediti.

Nella definizione di ciascuna delle aree di suddivisione del magazzino devono primariamente essere valutati i collegamenti tra le aree stesse, la facilità dei percorsi sia in entrata che in uscita dei materiali e soprattutto devono essere applicate tutte le norme ambientali, antinfortunistiche ed antincendio previste dalle norme vigenti.

I criteri di aggregazione e gli esempi di soluzioni di nuclei funzionali possono essere variegati. Ad esempio, a volte la disposizione delle aree di ricezione e spedizione all'interno del *layout* dello stabilimento può dare due alternative possibili, dal momento che è possibile tenere distinte le due aree, collocandole alle estremità opposte del deposito, oppure concentrare in un'unica zona entrambe le aree. In questo caso è possibile utilizzare le stesse attrezzature di movimentazione sia per lo scarico che per il carico degli automezzi, riducendo le relative voci di costo. D'altra parte questa soluzione porta a flussi di materiali di che devono essere gestiti tenendo distinte le fasi di ricezione da quelle di spedizione. In definitiva le aree spedizione e ricezione devono essere distinte, se non fisicamente almeno temporalmente. Nel momento in cui il deposito risulti interessato da flussi di una certa rilevanza, si tende comunque a preferire una soluzione ad aree distinte da un punto di vista fisico.

Le aree critiche per la progettazione sono quella adibita allo stoccaggio vero e proprio delle merci e quella destinata alla raccolta e alla preparazione degli ordini. Per quanto riguarda la prima si cerca di ridurla il più possibile, concentrando il volume di merci in un magazzino di tipo intensivo di altezza elevata. Le soluzioni funzionali individuali devono comunque tener conto delle esigenze di espansione di tali aree, nonché nella prospettiva di aumento della movimentazione di veicoli esterni, prevedere la possibilità di separare i flussi veicolari in entrata e in uscita e quindi le aree di carico e scarico.

In figura 2.6 è rappresentata la successione degli spazi funzionali in relazione al flusso logistico.



**Figura 2.6** Successione degli spazi funzionali in relazione al flusso logistico.

**a) Area di ricezione**

In essa le merci sono scaricate in ingresso, si effettuano i controlli necessari (qualità e quantità), si registrano le merci, si effettua “l’unitizzazione” delle udc che consiste nell’operazione di “rottura” (*picking*) delle unità di carico al fine di ricostituire raggruppamenti di materiali diversi, destinati a soddisfare ordini di lavorazione o di smistamento sia interna che esterna allo stabilimento, per accelerare le operazioni di carico/scarico e ridurre il costo di manipolazione delle merci e consentire continuità di flusso. (L’operazione inversa di ricomposizione viene denominata *refilling*).

La progettazione delle aree di ricezione merce viene talvolta trascurata in quanto spesso si ritiene erroneamente che tale area influisca solo marginalmente sulla efficienza complessiva del centro di distribuzione. In realtà gli elementi di interfaccia del deposito con i flussi in ingresso ed in uscita sono cruciali per garantire una gestione ottimale del centro di distribuzione, e, se trascurati, possono diventare dei veri e propri colli di bottiglia per il sistema. Inoltre è importante fornire dei criteri di progettazione per queste aree anche in un’ottica di sicurezza, dal momento che queste sono le aree dove è statisticamente maggiore il rischio di danneggiamento dei materiali e di incidenti agli operatori addetti alle movimentazioni. Inoltre l’area di ricezione merci è una delle più critiche in

termini di possibilità di furti di merce (non tutta la merce viene scaricata effettivamente dall'automezzo).

**Area di arrivo.** Tra le maggiori esigenze da soddisfare in modo appropriato vi è certamente la necessità di prevedere e realizzare dei facili e funzionali collegamenti dell'area ricezione dei materiali con le zone di entrata dei mezzi. La zona di accettazione dei materiali deve essere dotata di un numero di porte di accesso o di attracco denominate banchine (vedi figura 2.36 e figura 2.37) che possa prevedere l'arrivo in contemporanea anche di un numero elevato di vettori, evitando che debbano sopportare lunghe attese per lo scarico i cui costi maggiori vengono sostenuti sempre dal ricevente.

L'area di arrivo può essere completamente all'aperto, coperta da tettoie, oppure all'interno dell'edificio, in funzione della protezione dalle intemperie richiesta dalle operazioni di scarico o dalle caratteristiche delle merci.

Il dimensionamento dell'area di arrivo deve tenere conto di diversi fattori:

- caratteristiche fisiche dei materiali (soprattutto in termini di voluminosità);
- deperibilità dei materiali (in modo tale da poter smistare il più velocemente possibile le merci deperibili negli appositi spazi in magazzino);
- frequenza arrivi (ovviamente, maggiore è la frequenza degli arrivi, maggiore deve essere quest'area);
- tempi di collaudo dei materiali;
- tempo di sosta dei mezzi;
- procedure di accettazione con identificazione e caratteristiche dei mezzi ed apparecchiature utilizzate.

Indicazioni di massima si possono ottenere distinguendo i materiali in arrivo in base allo stato fisico: liquidi, in pezzatura o sciolti, in colli o unità di carico standardizzate. Qualunque sia il tipo di carico l'area di arrivo deve essere fornita di ufficio di controllo del traffico, di dimensioni anche ridotte ma con ampia visuale, strettamente collegato con l'area esterna. Sui piazzali non si svolgono solo le attività amministrative relative ai documenti di accompagnamento delle merci in entrata, ma si procede anche alla verifica dei carichi (per esempio pesatura dei mezzi), al controllo del traffico (per esempio assegnazione delle banchine per lo scarico), nonché vigilanza contro le intrusioni.

Per quanto riguarda le vie di accesso degli automezzi, che giungono per effettuare operazioni di carico o scarico in magazzino, queste devono essere di almeno 4m se a senso unico e 8 m se a doppio senso di circolazione a cui va eventualmente sommato lo spazio necessario per il passaggio dei pedoni (circa 1,2 m). Il flusso dei veicoli deve avvenire preferibilmente seguendo un senso antiorario in quanto in questo modo l'autista (se il posto di guida del mezzo è sulla sinistra) ha la piena visibilità dell'area in cui si sta compiendo la manovra di avvicinamento in retromarcia alla banchina. Il piazzale antistante la banchina deve essere di una dimensione minima di 35÷40 m se l'automezzo deve collocarsi perpendicolarmente al lato dell'edificio, mentre sono sufficienti distanza dell'ordine dei 20 m se le banchine sono collocate obliquamente e solamente 8 ÷ 9 m se gli automezzi di dispongono parallelamente alla banchina di carico/scarico.

Nella figura 2.7 sottostante sono riportate le dimensioni dei piazzali antistanti le banchine di carico e scarico a seconda del sistema di attracco.

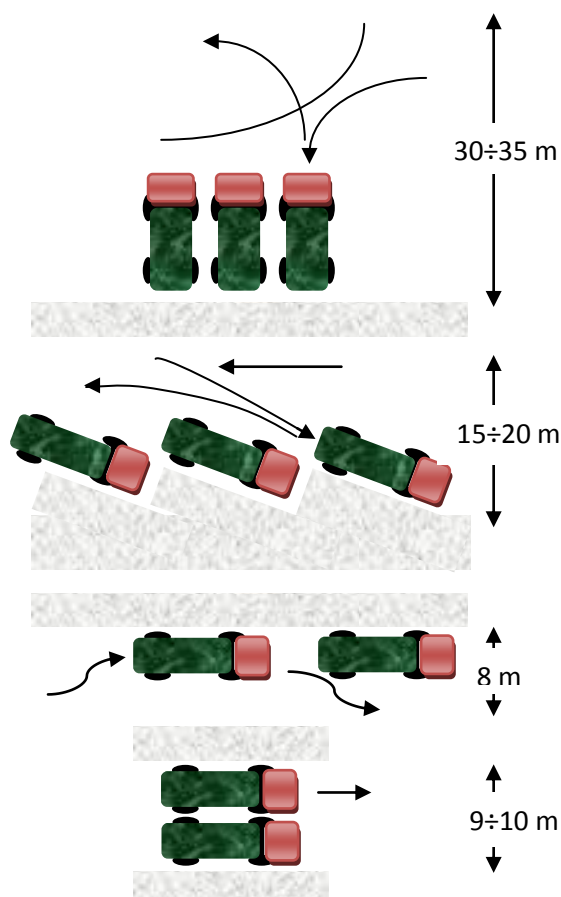
Per agevolare le manovre effettuate dagli autisti e ridurre i possibili danneggiamenti che possono verificarsi è opportuno provvedere ad una adeguata segnalazione sul manto stradale delle aree dedicate a ogni banchina di carico/scarico e inoltre necessario che il piazzale di manovra abbia una buona illuminazione.

E' preferibile realizzare il manto stradale non tramite rivestimenti bituminosi ma con strati di ghiaia di circa 50 cm sui quali posizionare maglie in ferro e rivestimenti in cemento, questo conferisce a tali aree una maggiore portanza e quindi una maggiore durabilità.

Principalmente per ragioni di razionalizzazione dei flussi, sono comunque preferibili, quando possibile, percorsi a senso unico di marcia, anche se questi risultano di lunghezza maggiore.

Infine, sempre per ragioni di sicurezza e di razionalizzazione è necessario tenere separati i percorsi da e per le banchine di carico/scarico da aree pedonali, ingressi e parcheggi del personale e quant'altro.

L'area di arrivo deve essere adiacente all'area di controllo ed accettazione delle merci stoccate e agli uffici gestionali del magazzino, nonché all'area di stoccaggio effettivo delle merci.



**Figura 2.7** Dimensioni dei piazzali antistanti le banchine di carico e scarico a seconda del sistema di attracco.

**Area di controllo della qualità.** Sempre più frequentemente le merci in partenza ma soprattutto quelle in arrivo, vengono sottoposte oltre che a controllo quantitativo, anche ad analisi chimico-fisiche oppure a prove di funzionamento per evitare spedizioni di prodotti non garantiti, riducendosi così i costi dovuti a sostituzioni, spesso riparando in loco i pezzi difettosi. Nella zona di ricezione è opportuno prevedere sempre il posizionamento dei prodotti che, scaricati fisicamente e contabilmente dalla produzione, devono essere controllati prima di procedere al posizionamento fisico sulle scaffalature o comunque sulle strutture previste. Quando i prodotti provenienti dai fornitori devono essere sottoposti a collaudo prima di essere accettati e posizionati nel magazzino, si può procedere secondo diverse possibilità. La prima prevede o la fornitura esclusiva da fornitori certificati secondo le norme ISO, oppure, quando possibile, il collaudo effettuato presso il fornitore da funzionari aziendali. Con questa ultima soluzione si ha un aumento dei costi dovuti alle trasferte dei propri collaudatori, ma si evitano iter burocratici spesso complessi e dispendiosi con comunicazione ai fornitori e produzione di nuova documentazione per l'invio di materiali. E' comunque da evitare la soluzione che spesso si applica quando il prodotto in entrata ha caratteristiche non corrispondenti ai capitolati ma comunque accettabili in funzione dell'urgenza di produzione: l'accettazione con sconto sul prezzo di acquisto. Un'altra soluzione è la determinazione di un'area limitata per il collaudo, soluzione che comporta, quando l'area viene interamente utilizzata, il continuo sollecito al collaudo: è un sistema pratico e che risulta spesso efficace per accelerare le operazioni di collaudo.

**Aree per il servizio al personale.** Anche se la tendenza attuale impone l'automazione del magazzino, il personale soprattutto ausiliario ed amministrativo resta numeroso nei magazzini aziendali. Oltre a spogliatoi e servizi igienici, sono da prevedere sala mensa (con cucina o semplicemente servizio catering). Lo standard previsto è di circa  $1m^2$ /addetto. Per il personale addetto ai trasporti esterni è da prevedere sala d'attesa, più o meno attrezzata in relazione ai tempi previsti per il carico/scarico delle merci.

**Area per gli uffici gestionali.** L'introduzione dell'informatica per il controllo e la gestione in tempo reale dell'attività amministrativa del magazzino ed il rilascio dei relativi documenti contabili (bolle di accompagnamento, ricevute, fatture ecc.) ha sveltito enormemente l'attività del personale addetto all'inserimento di dati sugli articoli in arrivo e all'emissione di ordini di spedizione. E' da prevedere un'area attrezzata con postazioni informatiche in base al numero di operatori ai terminali; deve essere previsto inoltre, un ufficio per il responsabile del magazzino con annessa segreteria.

**b) Area di stoccaggio**

E' l'area più importante dell'intero complesso di un centro di distribuzione: dalla sua struttura, dal suo layout interno, dalla tipologia delle strutture e dei mezzi di movimentazione utilizzati, dalle procedure adottate dipende la produttività del centro di distribuzione ed il livello di servizio realizzabile.

Il dimensionamento di massima dell'area di stoccaggio (F.Turco, 1993) può essere articolato in tre passi fondamentali:

- determinazione della superficie di stoccaggio richiesta;
- determinazione del layout ottimale dell'area di stoccaggio;

- scelta delle modalità di allocazione delle merci.

Ma tali fasi, presentate in sequenza, devono in realtà essere condotte e coordinate parallelamente, dal momento che le decisioni assunte in ciascuna di essa possono influenzare le altre. Ad esempio, i criteri di allocazione delle merci hanno un'influenza determinante nella valutazione dei tempi di ciclo semplice o combinato, e quindi sul rapporto di forma ottimale del magazzino (vedi par. 2.6.2.1).

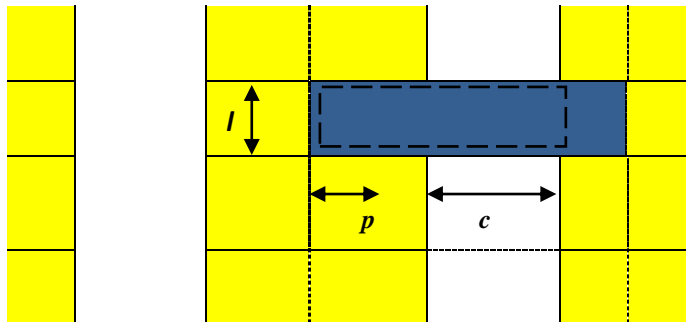
Il dato di progetto da cui partire per determinare la superficie complessiva da destinare all'area di stoccaggio è rappresentato dalla *ricettività*, ossia la capacità di "contenere" merci, richiesta al magazzino.

Sulla base della ricettività è possibile calcolare la superficie da destinare al magazzino attraverso la determinazione del numero di unità di carico contenute nel modulo unitario del magazzino. Il modulo unitario rappresenta l'unità geometrica elementare che, ripetuta ordinatamente, consente di riprodurre la pianta del magazzino.

Nell'esempio di figura 2.8, relativo al caso di un magazzino a scaffali bifrontali, la superficie del modulo unitario è rappresentata dall'area evidenziata in blu. Essa, trascurando i corridoi di estremità (questa approssimazione non influenza significativamente i calcoli effettuati), corrisponde alla superficie di due vani più la corrispondente frazione di corridoio.

La superficie del modulo unitario è pari a:

$$A = (c + 2p) \cdot l$$



**Figura 2.8** Superficie del modulo unitario (vista in pianta).

Con  $l$  ed  $p$  dimensioni della postazione di stoccaggio (o posto pallet), rispettivamente parallela e trasversa al corridoio di ampiezza  $c$ .

Il dimensionamento dell'area di stoccaggio dipende, comunque, non solo dal volume previsto di merci stoccate annualmente ma anche dal tipo di movimentazione interna scelta; quest'ultimo fattore, infatti, vincolando gli spazi necessari alle corsie d'accesso alle merci, influenza anche il tipo di stoccaggio. Per ciascuna tipologia di magazzino si può calcolare il numero di udc che si possono stoccare per modulo e quindi il numero di udc per metro quadro (pallet/m<sup>2</sup>).

Si definisce *coefficiente di utilizzazione superficiale* (CUS) il numero di udc stoccate diviso l'area del modulo unitario:

$$CUS = \frac{\text{Numero udc stoccate per modulo}}{\text{Area modulo unitario}} \quad \left[ \frac{\text{udc}}{\text{m}^2} \right]$$



Data la potenzialità ricettiva richiesta, si può dimensionare l'area operativa di stoccaggio necessaria per il magazzino considerato.

Di seguito si illustra come esempio il "caso notevole" di magazzino con scaffalature bi frontali e carrelli a forche retrattili (dettagli specifici su tipologie di scaffalature e di sistemi di movimentazione sono riportati al capitolo 3).

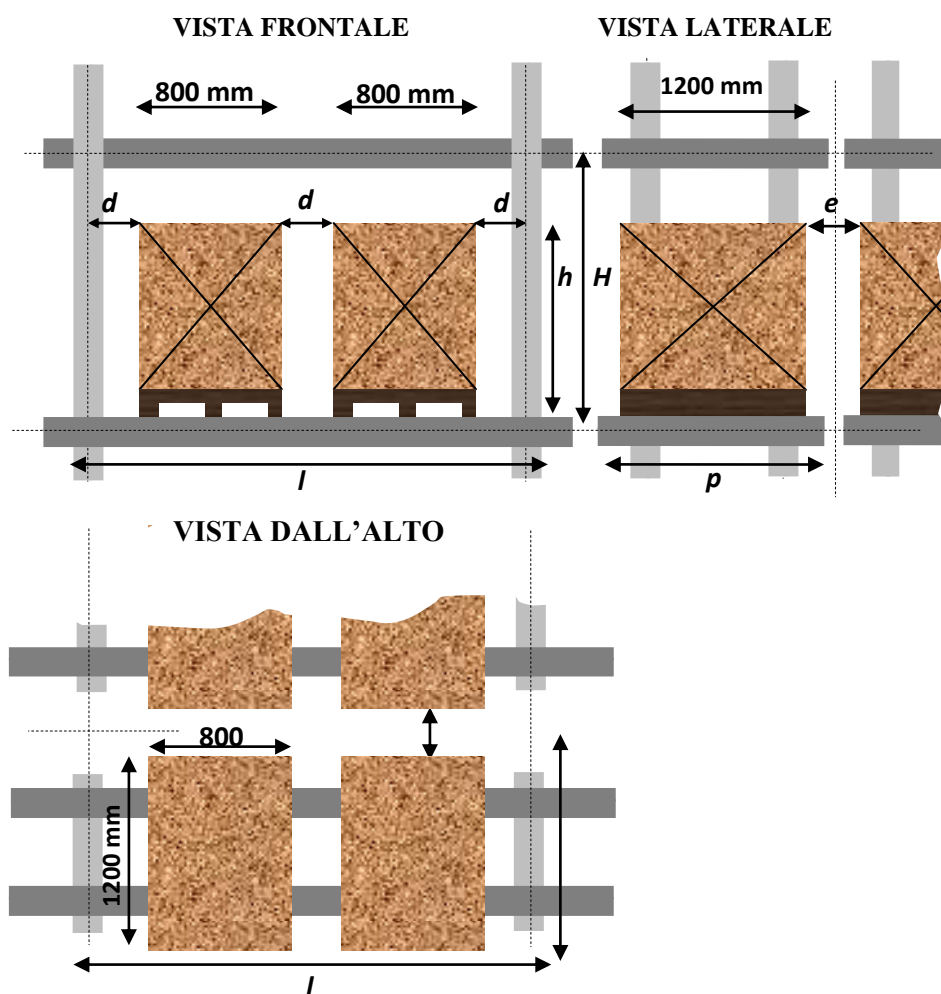
In tale ipotesi di magazzino, i dati di progetto sono:

dimensioni udc (800 × 1200 × 1200) mm;

dimensioni posto pallet (900 × 1350 × 1900) mm;

ampiezza corridoio 3000 mm;

altezza massima presa forche 6500 mm.



**Figura 2.9** Dimensionamento della cella di stoccaggio a singola profondità con 2 europallet affiancati.

In figura 2.9 è riportata la schematizzazione di una cella di stoccaggio a singola profondità con 2 udc pallettizzate per cella (*euro pallet*, trattati con maggior dettaglio al par. 3.3) affiancati, con vista dall'alto, frontale e laterale ed il rispettivo dimensionamento, con  $l$  luce interna del vano più spessore dei montanti  $d$  con valori compresi tra 75÷150 mm, con  $p$  dimensione dell'udc più  $e$ , distanza tra le

udc contrapposte sulla scaffalatura bifronte con valori compresi tra 200÷300 mm,  $H$  l'altezza del vano con valori  $H=900-1200-1500-1800-2100-2400$  mm, data dalla dimensione dell'udc più la luce in altezza con valori compresi tra 100÷150 mm.

Con 2 euro pallet, l'area del modulo unitario in pianta sarà data:

$$(c + 2p) \cdot l = (3000 + 2 \cdot 1350) \cdot 1900 = 10,8 \text{ m}^2$$

Il numero di livelli di stoccaggio  $NL$  dipende dalla massima altezza raggiungibile dalle forche dei carrelli; avendo supposto carrelli a forche retrattili, un valore plausibile per la massima altezza di presa forche è pari a 6,5 m. Quindi l'altezza massima di impilamento raggiunta nel magazzino, comprensiva dell'ultimo pallet sarà data dall'altezza massima delle forche più l'ultimo pallet; ovviamente tutto ciò compatibilmente con l'altezza standard di un capannone industriale che è circa 7 m. Sarà in questo caso:

$$NL = \text{int} \left[ \frac{\text{altezza utile}}{\text{altezza udc} + d + \text{luce in altezza}} \right] + 1 = \text{int} \left[ \frac{6,5}{1,2 + 0,1 + 0,2} \right] + 1 = 5$$

Quindi l'altezza totale della scaffalatura sarà  $(1,5 \times 4 + 1,2) = 7,2$  e con 5 livelli di stoccaggio verticali si ha:

$$CuS = \frac{5 \cdot 2 \cdot 2}{10,8} = 1,95 \text{ udc/m}^2$$

Di conseguenza la superficie in pianta dell'area di stoccaggio è definibile, con sufficiente approssimazione quando i materiali sono tutti, o nella maggioranza, posizionabili su euro pallet, con la seguente formula:

$$S = \frac{\text{Potenzialità Ricettiva}}{CuS}$$

Da notare che, dovendo definire il numero di pallet da posizionare al fine di calcolare la superficie necessaria, è opportuno considerare il numero di pallet previsto aumentato del 20% per poter far fronte alle cosiddette "punte" di scorta massima che si possono verificare.

Con ampia approssimazione si può dimensionare l'area di stoccaggio richiesta per deposito merci a lungo termine intorno a  $0.04 \text{ m}^2/\text{t}$ , per giorno di giacenza.

E' comunque sempre da considerare che un dimensionamento ottimale deve sfruttare non solo le superfici ma anche i volumi relativi disponibili, posizionando strutture idonee ai materiali movimentati e utilizzando mezzi di movimentazione che ottimizzino l'utilizzo non solo della superficie ma anche dell'altezza disponibile e possano far raggiungere la maggiore produttività possibile nelle due attività operative che si svolgono in questa area: posizionamento e prelievo dei materiali.

Va osservato che nella definizione della superficie disponibile una notevole influenza è data dalla dimensione della maglia dei pilastri che si deve conciliare con la dimensione della larghezza del corridoio (legata alla tipologia del carrello elevatore) e che determina il minore o maggiore utilizzo della superficie disponibile, e che conseguentemente aumenta o diminuisce il numero di posti pallet disponibili.

Il dimensionamento dell'area di stoccaggio è quindi strettamente legato alla tipologia delle strutture portanti (per esempio, magazzino statico o dinamico, armadi o scaffalature per minuterie ecc.), alla scelta del mezzo di movimentazione. In relazione alla tipologia del carrello elevatore, infatti, (ad

esempio frontale, retrattile, o trilaterale) si differenzia l'utilizzo della superficie disponibile. E, non ultimi, al valore degli investimenti previsti nelle differenti possibili soluzioni, tenendo sempre presente che certamente è da valutare questo costo ma è più importante la previsione dei costi di gestione conseguenti alle scelte effettuate poiché potranno essere adottate soluzioni previste in funzione di costo/pallet di gestione annuo e non solamente in relazione alla entità degli investimenti. Nell'ottica di avere un'area di stoccaggio il più possibile compatto, in modo da garantire la recettività necessaria, ma contemporaneamente sufficiente a rendere i prelievi agevoli e gli spostamenti veloci da una postazione di stoccaggio (*slot*) all'altra, si inserisce la possibilità di suddividere l'area del magazzino in due zone. Una denominata *Reserve Area* (o *Bulk Storage Area*), dedicata allo stoccaggio intensivo dei prodotti e finalizzata all'ottenimento di uno stoccaggio di grandi unità di carico provenienti dall'area di ricezione. L'altra, di superficie limitata, denominata *Forward Area* (o *Pick Area*) adibita ai prelievi: i prodotti vengono stoccati secondo logiche che ne consentano un agevole reperimento da parte degli addetti, con lo scopo di ridurre i tempi di allestimento dell'ordine processato, ma richiede il periodico approvvigionamento della *FA* con gli articoli immagazzinati nella *RA*. Tale approccio verrà esposto più nello specifico nel prosieguo della trattazione (par. 2.6.2.2).

c) **Area spedizioni**

Il dimensionamento di questa area (ed il suo *layout* interno) è in stretta relazione alla definizione delle attività che vi devono essere svolte ed alle procedure connesse. Attività e procedure collegate alla politica distributiva che vi si svolge o che vi si andrà a svolgere. E poiché questa può variare nel tempo in relazione al mutare delle politiche commerciali dell'azienda, alle variazioni richieste dal mercato, alle direttrici di traffico previste ecc., l'area spedizioni dovrà tener conto delle possibili variazioni operative.

Sono, poi da valutare attentamente le molte variabili che la possono influenzare, in relazione alla presenza o meno di strutture e materiali che sono complementari alla spedizione, quali ad esempio materiali di imballaggio, linee per il confezionamento di materiali, linee di etichettatura ecc., oltre naturalmente alle aree di sosta dei materiali allestiti in attesa della spedizione.

**Area di formazione ed imballo delle unità di carico.** Per ridurre l'incidenza della manodopera nei magazzini, soprattutto in presenza di merci con limitato numero di voci o con impacchettamenti uguali, si usano macchine automatiche per la formazione dei pallet. Queste macchine sono alimentate automaticamente da nastri trasportatori che le collegano con l'area di formazione dell'ordine. Il dimensionamento di quest'area dipende quindi dalle dimensioni delle macchine e dall'attrezzatura in essa utilizzata.

**Area di impacchettamento e personalizzazione delle confezioni.** Quest'area in cui avviene il confezionamento dei prodotti (*packaging*), è presente solo in alcuni magazzini di aziende manifatturiere che trovano più conveniente spedire direttamente i prodotti finiti sfusi che poi vengono confezionati a livello locale. Si tratta quindi di linee di impacchettamento con caratteristiche simili a quelle produttive, con necessità di spazi più o meno ampi in relazione al grado di meccanizzazione previsto.

**Area di preparazione degli ordini.** In essa gli ordini sono consolidati, si effettuano i controlli finali, le udc sono “unitizzate” o “consolidate” in più idonee unità di condizionamento, (come il container, il pallet, l’unità di cassa mobile ecc.) per accelerare le operazioni di carico/scarico, ridurre il costo di manipolazione delle merci e consentire continuità di flusso.

Quest’area risulterà più o meno estesa in rapporto al numero di ordini da evadere nell’arco della giornata e alla quantità di merce in attesa di spedizione. Poiché l’operatore umano difficilmente potrà essere sostituito in questo settore, soprattutto nel trattamento di ordini di piccole dimensioni e con rottura dell’unità di carico, la movimentazione è ancora affidata a carrelli manuali, o nastri trasportatori o rulliera a gravità (paragrafo 2.5).

Nell’area di spedizione le operazioni già descritte per l’area di arrivo delle merci si svolgono esattamente al contrario; pertanto per il dimensionamento degli spazi valgono le stesse considerazioni già dette. L’area di spedizione è normalmente adiacente all’area di formazione degli ordini e deposito temporaneo delle merci in attesa di spedizione, all’eventuale area di formazione dell’unità di carico, nonché agli uffici gestionali del magazzino. In certi casi si può arrivare ad una fusione tra l’area di arrivo e quella di spedizione, con il vantaggio di concentrare in un unico ufficio il controllo degli accessi, in un unico piazzale la sosta e le manovre dei mezzi esterni ed in un’unica banchina il carico e lo scarico delle merci.

## 2.4 Parametri prestazionali del magazzino

Per affrontare in modo corretto il problema del dimensionamento di un impianto industriale è necessario definire preventivamente alcuni parametri prestazionali dell’area più delicata dal punto di vista dimensionale, che è l’area di stoccaggio, tramite i quali vengono valutate le *performances* del magazzino stesso in termini di sfruttamento degli spazi disponibili.

Se consideriamo un impianto di stoccaggio per unità di carico pallettizzate avremo che i principali parametri di prestazione, o indici caratteristici, possono essere elencati nel seguente modo:

- L’*indice di utilizzazione superficiale*  $I_s = A_u/A_t$ , (o *Coefficiente di utilizzazione superficiale*, *CuS*) definito dal rapporto fra la superficie effettivamente utilizzata e la superficie totale del magazzino: fornisce una indicazione del grado di sfruttamento del piano pavimento; in pratica, com’è ovvio, è sempre minore di uno. Può anche essere espresso in termini di unità di carico immagazzinabili per metro quadrato di area operativa di stoccaggio oppure per metro quadrato di superficie del deposito.
- L’*indice di utilizzazione volumetrica*  $I_v = V_u/V_t$ , (o *Coefficiente di utilizzazione volumetrica*) definito come il rapporto fra il volume occupato dai materiali immagazzinati ed il volume totale del magazzino considerato fino a sotto il filo catena del fabbricato. Può inoltre essere espresso in termini di unità di carico immagazzinabili per metro cubo di volume di stoccaggio.

I due indici  $I_s$  e  $I_v$  consentono di stabilire utili confronti fra diverse soluzioni di uno stesso magazzino in quanto di ogni soluzione forniscono non solo il grado di sfruttamento dell’area e del volume, ma anche l’ampiezza del magazzino: e poiché ogni metro quadrato di superficie e ogni metro cubo di spazio di un edificio costano (per ammortamenti, riscaldamento, manutenzione, ecc), si comprende

come sia importante ridurre al minimo la superficie ed il volume dei magazzini. Di qui lo studio e la scelta di mezzi di trasporto e di sistemi di immagazzinamento che consentano o facilitino il massimo sfruttamento superficiale e volumetrico.

- *L'indice di manodopera*: indica il rapporto fra le tonnellate arrivate al magazzino o spedite dallo stesso in un certo periodo di tempo (anno, mese, ecc.) ed il numero di ore lavorative degli operatori addetti al magazzino, nello stesso periodo di tempo.
- *L'indice di potenza*: rapporto tra le tonnellate arrivate al magazzino o spedite dallo stesso in un certo periodo di tempo (anno, mese, ecc.) e la potenza elettrica installate nel magazzino oppure i kWh consumati nello stesso periodo di tempo. Questi due ultimi indici consentono di valutare il grado di meccanizzazione di un magazzino. Gli stessi indici, anziché le tonnellate di prodotti in entrata e in uscita dal magazzino, possono riguardare palette, contenitori, colli, sacchi, scatole, ecc.
- *Potenzialità ricettiva*: è la misura della “capacità statica” del centro di distribuzione e può essere espressa in termini di unità di carico “stoccabili” nel centro di distribuzione. Questo parametro costituisce, ovviamente, un parametro di valutazione essenziale per il CdD stesso, poiché ne quantifica la capacità di soddisfare la sua funzione primaria, cioè quella di contenere materiale. Spesso questo indice influenza sensibilmente anche gli altri parametri prestazionali, in modo particolare lo sfruttamento superficiale e volumetrico dell’area di stoccaggio. Il valore della ricettività non è tuttavia una qualità intrinseca del magazzino. In prima istanza, infatti, dipende essenzialmente dalle dimensioni della struttura stessa, è, infatti, semplice intuire come a parità di altri fattori una struttura di dimensioni maggiori possa ospitare un maggior numero di udc. Tuttavia appare evidente che anche una volta definite e vincolate le dimensioni planimetriche della struttura di stoccaggio la ricettività non costituisca un parametro immutabile. Ad esempio può cambiare con il tipo di scaffalatura adottata (ad esempio una scaffalatura a singola o a doppia profondità) pur rimanendo immutate le dimensioni dell’area di stoccaggio. Infine, anche la tipologia di udc stoccate all’interno del magazzino potrebbero influenzarne la capacità ricettiva R.
- *Indice di Selettività*: questo parametro può essere espresso in termini quantitativi come rapporto tra il numero di unità di carico direttamente accessibili in fase di prelievo e il numero totale di unità di carico immagazzinate, solitamente è espresso come percentuale. Avremo quindi che l’espressione matematica della selettività sarà:

$$s = \frac{\text{udc direttamente accessibili}}{R} \quad [\%]$$

Bassi valori di selettività indicano usualmente un elevato numero di movimentazioni necessarie per il prelievo delle udc prescelte e quindi la possibilità di produrre un flusso logistico inferiore rispetto a strutture con le medesime caratteristiche di contorno ma caratterizzate da valori di selettività superiori. Tipicamente il livello di selettività per scaffalature bifronti accessibili sui due lati assume valore unitario.

- *Potenzialità di movimentazione*: è un parametro che esprime la “capacità dinamica” del centro di distribuzione e può essere espresso in termini quantitativi come numero massimo di udc in transito attraverso l’impianto di stoccaggio nell’unità di tempo, cioè il numero di udc che subiscono un ciclo completo di carico o scarico all’interno del magazzino. Si parla in tal caso più propriamente di *throughput* del magazzino, che risulta necessariamente superiore alla somma della potenzialità

riferita al solo flusso in ingresso e della potenzialità riferita al solo flusso in uscita, per la possibilità di combinare in modo opportuno cicli di immissione e prelievo.

La potenzialità di movimentazione dipende dal numero dei mezzi di movimentazione e dalle caratteristiche dei relativi cicli; l'inizio e la fine di un ciclo non viene identificato con la presa in carico o con il deposito sulla scaffalatura dell'udc, e quindi con riferimento all'udc stessa, ma facendo riferimento a quelle che sono le azioni degli operatori, contemplando anche, qualora il ciclo di prelievo o di stoccaggio lo preveda, dei percorsi a vuoto. Viene solitamente indicata con  $PM$  e misurata in  $[udc/ora]$  oppure in  $[udc/anno]$ . Vale

$$PM = PMI + PMU$$

se si impiegano gli stessi sistemi di movimentazione per lo stoccaggio ed il prelievo; oppure

$$PM = \max(PMI, PMU)$$

se non si adoperano gli stessi sistemi.

Nel caso di movimentazione senza rottura dell'unità di carico a ogni pallet movimentato corrispondono 2 cicli semplici o un ciclo combinato.

- *Coefficiente di saturazione della potenzialità ricettiva*: può essere espresso come percentuale della potenzialità ricettiva teorica normalmente utilizzabile durante un periodo di riferimento, senza compromettere la funzionalità del centro di distribuzione. Tale indice risulta estremamente utile in fase di valutazione per quei magazzini in cui vengono utilizzate politiche di allocazione che prevedono un dimensionamento della scaffalatura a valori medi, come ad esempio nella politica *Random Storage*.

Dal punto di vista matematico questo indice è calcolato come:

$$\lambda = \frac{N_{medio}(\Delta T)}{R} \quad [\%]$$

dove  $N_{medio}$  è il numero di udc mediamente presenti a magazzino durante l'intervallo di tempo pari a  $\Delta T$ . Può essere espresso anche in termini di numero massimo di udc possibili nell'intervallo  $\Delta T$ .

- *Indici di costo*: descrivono le prestazioni sia del sistema di stoccaggio nel suo complesso sia delle singole aree funzionali quantificandone in termini monetari i risultati. Possono essere espressi in €/m<sup>3</sup>, €/(udc movimentata) ecc. Si possono considerare due parametri di prestazione economica del magazzino: il costo della ricettività ed il costo della movimentazione. Il Costo della ricettività [€/anno/udc] esprime il valore del costo annuo del magazzino per potenzialità ricettiva. Nel costo annuo devono essere considerate le seguenti voci: la quota annua di ammortamento di strutture edili, impianti di servizio e attrezzature per il posizionamento delle merci e la loro movimentazione (scaffalature, carrelli, ecc..), costo annuo dei servizi generali di impianto (condizionamento, illuminazione, ecc..).

Il Costo della movimentazione [€/movimentazione] esprime il valore del costo per unità di carico movimentata. Si calcola valutando le voci di costo annuo direttamente o indirettamente imputabili alla movimentazione e rapportandole al *throughput* annuo. In particolare i costi diretti comprendono il costo del personale addetto alle movimentazioni e il costo energetico legato alle operazioni di movimentazione delle merci, mentre la quota di costo indiretto si compone principalmente dei costi

di manutenzione delle attrezzature direttamente impiegate nelle operazioni di movimentazione (es. carrelli a forche).

- *Indice di accesso*: è uno dei parametri più utilizzati negli studi relativi alle prestazioni di una struttura di stoccaggio, poiché risulta applicabile non solamente all'intera struttura di stoccaggio, ma anche alle differenti zone in cui essa dovesse eventualmente essere suddivisa o anche alle singole referenze. L'indice di accesso, indica la frequenza con cui vengono effettuate operazioni di movimentazione all'interno del magazzino o in una determinata zona di esso. Dal punto di visto matematico è definito come il rapporto tra il numero di movimentazioni nel periodo di riferimento considerato (giorno, mese anno) e la ricettività del magazzino, espresse in unità tra loro coerenti (ad esempio numero di pallet).

$$IA = \frac{\text{Indice di movimentazione}}{\text{Potenzialità ricettiva}}$$

L'indice di accesso ha le dimensioni dell'inverso di un tempo.

Magazzini con indici di accesso elevati sono quindi magazzini fortemente dinamici, in cui le merci sono caratterizzate da un tempo di permanenza a magazzino ridotto e vengono quindi movimentate di frequente; viceversa magazzini ad indice di accesso ridotto sono magazzini più statici, con movimentazioni delle merci meno frequenti.

## 2.5 Scelta delle strutture per il posizionamento dei materiali

Il posizionamento dei materiali deve essere effettuato su strutture specifiche, la cui scelta deve essere condotta considerando diversi fattori. Per prima cosa le caratteristiche costruttive dell'edificio adibito a centro di distribuzione: la sua altezza utile, il posizionamento delle strutture di sostegno alla copertura, la posizione delle vie di carico in entrata e per la distribuzione, il *layout* previsto.

Una notevole influenza è data dalle dimensioni e dai pesi dei materiali da immagazzinare. E' importante inoltre la conoscenza delle dimensioni degli imballaggi, per verificare le caratteristiche di resistenza alla fase di compressione nelle operazioni di impilamento per conoscere l'altezza massima posizionabile.

Gli elementi da considerare per questa scelta sono pertanto numerosi ed è necessario anche valutare la conseguente entità dell'investimento previsto.

Tenendo conto che al variare del sistema di stoccaggio scelto, si ottengono differenti risultati in termini di selettività e sfruttamento superficiale e/o volumetrico, risulta indispensabile a questo punto, effettuare una panoramica sui principali sistemi di immagazzinamento, e conseguentemente sulle tipologie di magazzini, che possono essere ritrovati nel panorama logistico. Le possibili classificazioni dei sistemi di immagazzinamento sono molteplici e si basano su parametri spesso anche molto diversi tra loro. Possiamo, ad esempio effettuare una prima classificazione del sistema di immagazzinamento, o di stoccaggio, in base al grado di automazione e quindi ricondurci sostanzialmente a due tipologie principali:

- Magazzini tradizionali o meccanizzati

- Magazzini automatici

Il primo raggruppamento è quello più numeroso e che più frequentemente viene realizzato; è opportuno quindi fare al suo interno un'ulteriore classificazione, relativamente al tipo di movimentazione, possiamo quindi, distinguere:

- Magazzini per udc pallettizzate, destinabili in genere, a magazzini materie prime o magazzini prodotti finiti, quindi comunque posizionati agli estremi del ciclo produttivo.
- Magazzini per u.d.c. di piccole dimensioni. In tal caso abbiamo prevalentemente magazzini destinati al frazionamento dell'udc (*picking*) per poter servire per esempio ordini diversi rispetto alla taglia dell'udc, oppure magazzini per il *kitting* cioè destinati alla preparazione di kit con prodotti (o *item*) diversi o in piccole quantità, destinati a rifornire le postazioni produttive.
- Magazzini statici, in cui la posizione dell'udc non cambia tra l'istante di presa in carico delle merci e il momento di prelevarle dal magazzino stesso per successive destinazioni.
- Magazzini dinamici, in cui l'assegnazione di una particolare collocazione ad una data udc non è costante per tutto il tempo di stoccaggio ma potrà in qualche maniera variare e potremmo quindi a distanza di tempo non trovare la stessa udc di carico nella medesima posizione.

Un' ulteriore classificazione consiste nel suddividere i magazzini tra i sistemi di stoccaggio *picker-to-parts* e quelli *parts-to-picker*.

La prima tra queste due macrocategorie prevede che sia l'addetto a muoversi verso le udc, a prelevare le merci ordinate dal cliente e a portarle presso la zona in cui avverrà la selezione e consolidamento degli ordini. Mentre nella seconda categoria le merci vengono prelevate in automatico tramite sistemi di movimentazioni autonomi (AS/RS) e si muovono verso i diversi addetti posizionati direttamente nella zona di consolidamento in cui verranno intercettati, selezionati e consolidati formando infine l'udc spedita al cliente. Un'ulteriore possibile classificazione dei sistemi di stoccaggio prevede la suddivisione in *low level systems* e *high level systems*. In questo caso la differenza consiste nel fatto che mentre nei primi l'addetto può tranquillamente prelevare le merci dalle scaffalature durante il suo tragitto nei corridoi senza utilizzare carrelli a forche poiché le altezze in gioco sono a portata d'uomo, nel secondo caso questi sono assolutamente necessari poiché le scaffalature hanno altezze notevoli.

Qualunque sia il sistema di stoccaggio scelto, deve consentire di utilizzare al meglio spazi e volumi; ridurre i tempi di stoccaggio, ricerca e prelievo della merce; ridurre al minimo le probabilità di danneggiamento della merce o di smarrimento.

Tutti questi obiettivi possono essere raggiunti dall'adozione delle modalità di stoccaggio che meglio si addicono alle necessità dell'azienda e che dipendono, sostanzialmente dalle caratteristiche fisico-chimiche e dalla forma di presentazione della merce (bancali, scatole, singole unità).

Gli impianti di immagazzinamento o stoccaggio utilizzati per unità di carico intere, o pallettizzate, possono essere di tipo statico: con merce sul pavimento (unità singole o catasta), o merce su scaffale (scaffalature tradizionali o passanti); oppure possono essere di tipo dinamico: strutture a scaffali mobili (traslanti o a carosello), a scaffali fissi (a gravità o in contropendenza); o ancora possiamo avere sistemi automatici o intensivi. I prossimi 4 paragrafi saranno, pertanto, dedicati alla descrizione dei suddetti sistemi di posizionamento.



### 2.5.1 Sistemi di immagazzinamento statici

- ✓ **Catasta.** Le unità di carico pallettizzate sono accatastati in blocchi monoprodotto (vedi Figura 2.10) separati da corridoi necessari per la movimentazione, la cui larghezza dipende dal tipo di carrello utilizzato. Lo sviluppo in altezza della catasta richiede la sovrapposibilità delle unità di carico pallettizzate. Ma l'altezza è comunque limitata, per garantire la stabilità, a 5-6 livelli. Al crescere delle dimensioni dei blocchi migliora la saturazione superficiale ma peggiora il livello di selettività. Questo sistema, adatto alla gestione di un numero limitato di codici ad elevata giacenza, che non presentano un alto tasso di obsolescenza, e la cui movimentazione avviene in grandi quantitativi, risulta il più flessibile e meno costoso in quanto non presuppone investimenti infrastrutturali e la superficie dedicata alla catasta può velocemente essere resa disponibile (ad esempio in attività stagionali) dal momento che richiede solo la segnalazione a terra delle aree di stoccaggio.



*Figura 2.10 Magazzini a Catasta (Foto Consar Ravenna –Servizi Logistici-)*

- ✓ **Scaffalature drive-in (o drive-through).** Questo sistema di stoccaggio (vedi Figura 2.11) ripropone lo schema della catasta, utilizzando tuttavia apposite strutture per il sostegno delle unità di carico pallettizzate (si evitano problemi posti dalla sovrapposibilità di questi ultimi). E' quindi, una struttura adatta allo stoccaggio intensivo di prodotti omogenei per caratteristiche, che garantisce un coefficiente di sfruttamento superficiale elevato poiché, avendo una profondità di stoccaggio maggiore di uno, a parità di ricettività potenziale richiesta, permette di diminuire l'incidenza percentuale della superficie occupata dai corridoi di prelievo, che attraversano il magazzino, rispetto all'area totale occupata dalla zona di stoccaggio intensivo.

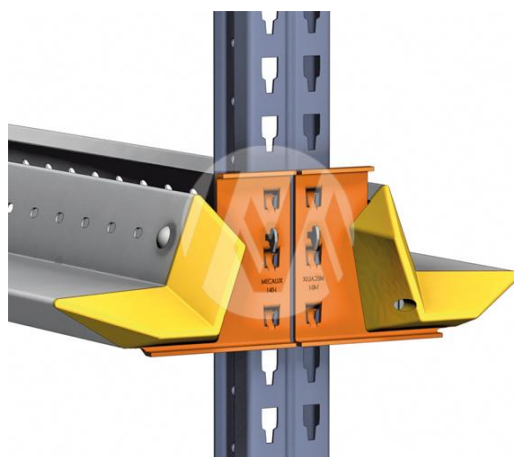


*Figura 2.11 Scaffalature drive-in. (Foto Gruppo Mecalux Italia)*

Inoltre, usufruendo di strutture di sostegno consente di ottenere anche elevati valori per quanto riguarda il coefficiente di sfruttamento volumetrico.

Nella Figura 2.12 si può notare come i sostegni in acciaio della scaffalatura permettano alle udc di non essere impilate fisicamente l'una sopra l'altra ma, grazie a delle guide anch'esse metalliche, queste vengano separate lungo la direzione verticale, evitando possibili danneggiamenti ai prodotti o ai pallet su cui essi sono disposti.

La conformazione della struttura metallica di sostegno, ed in particolare l'utilizzo delle guide metalliche e non di piani di appoggio, per il sostegno delle udc, permette alla scaffalatura di non presentare alcuna delimitazione del vano di stoccaggio e quindi, compatibilmente con la tipologia dei mezzi di movimentazione, rendere possibile l'ingresso fisico dei mezzi all'interno della scaffalatura per prelevare le udc poste più in profondità, nel momento in cui quelle più prospicienti il corridoio fossero già state prelevate. La possibilità da parte dei mezzi di movimentazione di penetrare all'interno delle scaffalature, è resa possibile anche dallo stoccaggio delle udc sul lato lungo in modo tale da garantire una larghezza del pilone compatibile con le dimensioni dei mezzi.



**Figura 2.12** Particolare delle guide di sostegno per lo stoccaggio di udc pallettizzate in scaffalature drive-in. (Foto Mecalux )

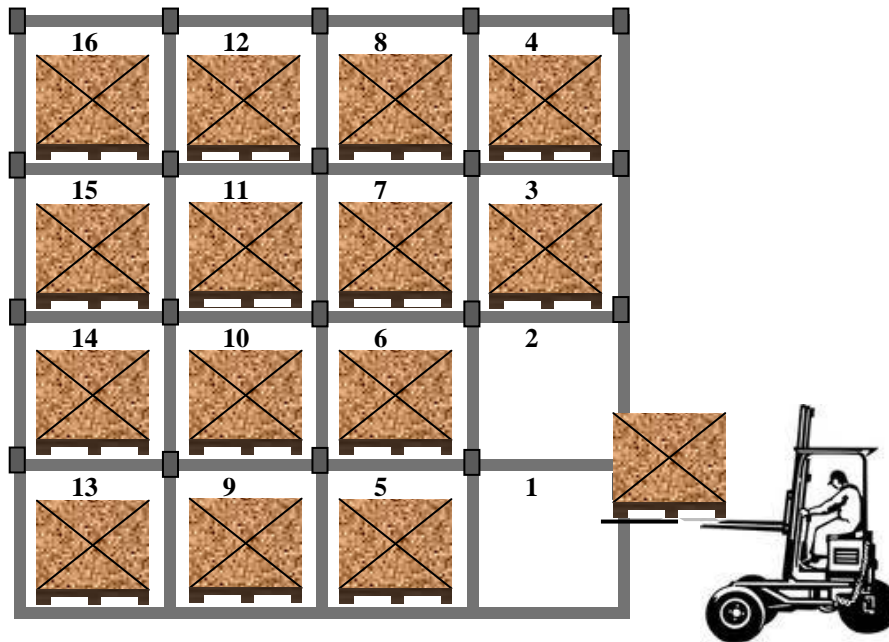


**Figura 2.13** Operazioni di carico/scarico per scaffalature drive-in e drive-through (Foto Mecalux).

I mezzi di movimentazione possono muoversi all'interno della scaffalatura ed entrare da un lato del modulo (*drive-in*) oppure da due lati (*drive-through*) (vedi figura 2.13).

La logica di prelievo imposta dalla conformazione della scaffalatura è la logica LIFO (*Last In First Out*) per la struttura *drive-in* e FIFO (*First In First Out*) per quella *drive-through* in quanto possibile estrarre le colonne di unità di carico in ordine in cui sono state stoccate accedendo al lato opposto a quello utilizzato per lo stoccaggio. Con i sistemi *drive-in* risulta difficile una gestione FIFO delle unità di carico ma è possibile ritrovare, anche in letteratura, alcuni accorgimenti che permettono di utilizzare la struttura *drive-in*, secondo logiche di prelievo differenti e, al limite, anche secondo una logica FIFO. L'utilizzo di tali strategie permette di conciliare i vantaggi offerti dalla struttura *drive-in* con lo stoccaggio di merci caratterizzate da un alto grado di deperibilità, per le quali l'utilizzo di una logica di prelievo di tipo LIFO risulterebbe totalmente inadeguata.

Come detto, la soluzione in esame risulta essere molto efficiente dal punto di vista dello sfruttamento superficiale e volumetrico, garantendo al tempo stesso notevole densità di stoccaggio e un livello di sicurezza accettabile dovuto ai sostegni in acciaio che mantengono le udc separate e quindi non sollecitate maggiormente del dovuto dai carichi ai piani superiori. E' bene precisare però che la possibilità di ingresso fisico dei mezzi di movimentazione all'interno della scaffalatura pone, nonostante si sia sottolineata più volte la robustezza delle intelaiature metalliche, notevoli problemi di sicurezza degli operatori che risultano esposti al rischio di incidenti causati dalla caduta dei carichi presenti nei livelli di stoccaggio più alti. Per minimizzare i rischi derivanti dal verificarsi di tali accadimenti è bene prendere, anche in fase di progettazione del ciclo di prelievo, alcune precauzioni e seguire precise norme di comportamento.



**Figura 2.14 – Sequenza di prelievo corretta all'interno di una scaffalatura drive-in.**

Nella Figura 2.14 viene visualizzata una delle logiche di prelievo corretta, dove i numeri all'interno delle differenti udc indicano l'ordine con cui dovranno essere preferibilmente prelevate.

In particolare la logica presentata prevede che, malgrado possa sussistere la possibilità reale di penetrare nella scaffalatura fino al totale esaurimento del primo livello (liberando quindi tali posizioni) sia preferibile seguire una strategia “verticale” di prelievo che minimizza il quantitativo di merce al di sotto del quale gli addetti si trovano ad operare, andando a scegliere di volta in volta le udc poste nel livello superiore rispetto all'ultima prelevata fino a quando, raggiunte le merci poste più in alto, si ricomincerà dal livello più basso. Si può ben comprendere come queste caratteristiche rendano la scaffalatura *drive-in* estremamente efficace. Vi sono tuttavia, limiti nel prelievo a causa di una modesta selettività causata dalla profondità multipla della scaffalatura; il ritmo del prelievo da magazzino risulta tutto sommato modesto ma è comunque in grado di garantire una produttività elevata quando si movimentano in sequenza molti pallet dello stesso codice articolo.

Il coefficiente di saturazione della ricettività è basso se si vuole mantenere efficienza nelle movimentazioni; il costo della ricettività è medio-alto.

- ✓ **Scaffalature tradizionali.** Sistema di scaffalatura per il deposito di merci pallettizzate, costituito da spalle e longherine (travi). Il pallet viene appoggiato su due longherine parallele tra loro e agganciate alle spalle. Con questo sistema si sfrutta al massimo l'altezza disponibile, con estrema flessibilità in quanto ciascun posto pallets può essere gestito singolarmente. Le scaffalature bifronti di tipo tradizionale (vedi Figura 2.15) consentono di avere un accesso diretto a tutte le unità di carico (livello di selettività unitario) e permette di gestire a magazzino un numero elevato di codici. Le prestazioni tipiche di questi sistemi di stoccaggio sono legate al tipo di mezzi di movimentazione. La scelta del mezzo di movimentazione influenza, infatti, sia l'ampiezza dei corridoi, funzione delle dimensioni del mezzo stesso, sia l'altezza delle scaffalature, corrispondente all'altezza raggiungibile

dai mezzi adottati. Ne risultano di conseguenza influenzati i coefficienti di utilizzazione superficiale e volumetrica che risultano indubbiamente inferiori rispetto alle soluzioni *drive-in* e *drive-through*. Le prestazioni del mezzo di movimentazione influenzano inoltre la potenzialità del sistema di stoccaggio in termini di unità di carico movimentate nell'unità di tempo.



**Figura 2.15** Scaffalature tradizionali. (Foto Gruppo Mecalux Italia)

Grazie alla selettività unitaria non è imposto nessun vincolo alle politiche di prelievo, consentendo sia un approccio *FIFO* che uno *LIFO*. Ovviamente questo vantaggio presenta un lato negativo, infatti il costo della ricettività è abbastanza elevato poiché è necessaria una struttura ad hoc per lo stoccaggio.

### 2.5.2 Sistemi di immagazzinamento dinamici

- ✓ **Scaffali mobili.** Sono scaffali in grado di traslare lateralmente in modo da consentire l'apertura del corridoio di stivaggio necessario per accedere ai materiali di volta in volta richiesti (vedi Figura 2.16). I notevoli costi di impianto per la movimentazione degli scaffali rende giustificabile questo sistema in presenza di una necessità o carenza di spazio. Questi sistemi sono utilizzati per unità di carico con modesta frequenza di accesso in quanto il tempo necessario per una movimentazione comprende il tempo di attesa per lo spostamento degli scaffali. Le applicazioni di questo magazzino sono infatti soprattutto archivi di documenti cartacei che consentono di ottenere elevatissimi valori del coefficiente di utilizzazione volumetrica.



Corridoio di stivaggio

**Figura 2.16 Scaffali mobili (Foto Gruppo Mecalux Italia)**

Una variante di questo sistema di stoccaggio è data dalle scaffalature compattabili. Si tratta di scaffalature a ripiani o porta-pallets che vengono montate su speciali basi mobili a traslazione manuale o motorizzata, in tal modo si riesce a compattare lo spazio destinato ai corridoi ottenendo un notevole aumento di capienza.

- ✓ **Sistemi *live storage*.** I sistemi dinamici a scaffali fissi a gravità (*live storage* o *flow-through*) sono costituiti da canali lungo i quali scorrono le unità di carico collocate su un piano inclinato che consente di sfruttare la gravità attraverso un convogliatore a rulli o rotelle (vedi Figura 2.17). Si ottengono in tal modo dei piani a rulli montati in leggera pendenza in modo da presentare sempre le unità di carico in posizione di prelievo. Il numero dei rulli e la distanza tra essi viene determinato in funzione del prodotto da stivare e delle sue caratteristiche dimensionali. Le udc vengono inserite ad una estremità di carico e prelevate dall'altro secondo una gestione di tipo FIFO. Con questi sistemi, che consentono di raggiungere anche un notevole sviluppo verticale, si ottengono elevati valori di utilizzazione superficiale e volumetrica. La scarsa selettività (a ogni canale è normalmente assegnata un'unica voce a magazzino) rende adatta la soluzione *live storage* alle situazioni caratterizzate da un elevato numero di unità di carico immagazzinate per voce. Per il carico/scarico dei canali possono essere sia carrelli convenzionali sia trasloelevatori.



**Figura 2.17** Magazzini dinamici o live storage (Foto Gruppo Mecalux Italia)

Si ottengono generalmente elevati valori del numero di unità di carico movimentate nell'unità di tempo.

Oltre a magazzini dinamici che gestiscono unità di carico di grandi dimensioni, esistono magazzini a gravità leggeri adatti a piccole unità di carico, come scatole e cartoni. Questo sistema prevede un corridoio dedicato al prelievo e un corridoio dedicato al *refilling* (riempimento) delle singole corsie. Se installato in un contesto dove le attività di prelievo sono intense e frenetiche, la separazione dei corridoi di prelievo/*refilling* permette la non intersezione tra flussi di ricarica con flussi di prelievo.



**Figura 2.18:** Magazzini dinamici (live storage) per piccole udc (Foto Dongguan Shinestar Storage Equipment Co., Ltd )

- ✓ **Sistemi push-back.** I sistemi dinamici a scaffali fissi con canali in contropendenza (push-back) presentano sotto l'aspetto costruttivo alcune analogie con il caso precedentemente visto, essendo costituiti da canali di gravità (vedi Figura 2.19). Si tratta di un sistema per lo stoccaggio intensivo di pallets o altre unità di carico particolarmente pesanti. Esso consente la realizzazione di piani di carico di lunghezza variabile costituiti da rulli in acciaio con appositi dispositivi di frenatura che garantiscono lo scorrimento a velocità controllata delle unità di carico. In uscita viene montato uno speciale dispositivo separatore di tipo meccanico o pneumatico che consente il prelievo della prima unità di carico senza alcuna interferenza da parte delle successive. Dal punto di vista funzionale i canali vengono caricati e scaricati da un'unica estremità; nella fase di carico l'unità di carico pallettizzata risale il canale nella fase di scarico lo discende. Si tratta di un sistema di stoccaggio coerente con un approccio di tipo LIFO (*Last In First Out*) nella movimentazione dei materiali.



*Figura 2.19 Magazzini dinamici con canali in contropendenza. (Foto Gruppo Mecalux Italia)*

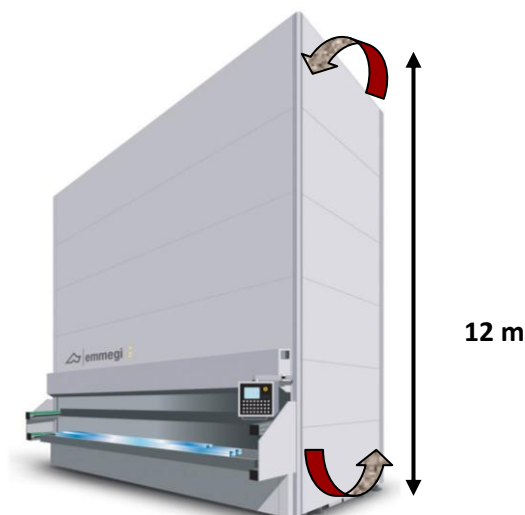
- ✓ **Sistemi a carosello.** Nel Magazzino dinamico a carosello allo scopo di aumentare la produttività nelle attività di movimentazione dei prodotti si utilizzano sistemi che provvedono alla movimentazione degli stessi fino alla stazione in cui è presente l'operatore che può quindi effettuare i prelievi o gli stoccaggi senza doversi spostare, aumentando così l'efficienza di queste operazioni. I sistemi di questo tipo sono in genere caratterizzati da costi di investimento e produttività di prelievo superiori rispetto ai tradizionali sistemi manuali. Questa tipologia di magazzino permette di stoccare molta merce in ridotti volumi e rende molto veloci le fasi di prelievo e di stoccaggio della merce. Questa soluzione ha il vantaggio di aver una alta precisione e velocità di prelievo e stoccaggio ma di contro presenta investimenti elevati e non è adatto per quei prodotti molto voluminosi o molto pesanti.  
Il magazzino a carosello ha un funzionamento basato su vassoi traslanti che si muovono o verticalmente o orizzontalmente.





**Figura 2.20: Magazzino a carosello (Foto Gruppo Mecalux Italia)**

I magazzini a carosello orizzontale (vedi figura 2.20) sono costituiti da una scaffalatura motorizzata in cui i vani si muovono contemporaneamente e orizzontalmente in modo da presentare la colonna da cui effettuare i prelievi in corrispondenza della posizione fissa dell'operatore. Spesso più caroselli sono combinati in modo che mentre l'operatore effettua i prelievi da un carosello gli altri sono in movimento allo scopo di posizionare la colonna oggetto del successivo prelievo in prossimità della posizione dell'operatore. Il controllo dei movimenti di questi sistemi può essere effettuato direttamente dal computer centrale di sistema in base alle informazioni degli ordini da evadere, oppure le informazioni possono essere trasferite dall'operatore attraverso la lettura del codice a barre degli ordini o dei singoli articoli. In entrambi i casi è garantita una notevole accuratezza nelle operazioni di prelievo e vengono quindi limitati gli errori di prelevamento. I caroselli verticali (vedi figura 2.21) si differenziano dai caroselli orizzontali per la direzione del movimento che è appunto verticale. Il prelevamento avviene in corrispondenza a un piano fisso di altezza opportuna e quindi risulta preferibile dal punto di vista ergonomico rispetto ai caroselli orizzontali. I caroselli verticali sono quindi sviluppati in senso verticale e consentono di sfruttare pienamente lo spazio disponibile e di ridurre l'area a essi dedicata rispetto ai caroselli orizzontali il cui sviluppo verticale è limitato dall'altezza raggiungibile dagli operatori; inoltre i caroselli verticali grazie al loro rivestimento esterno consentono una maggiore protezione dei materiali rispetto a quelli orizzontali. A fronte di questi vantaggi, i costi di investimento dei caroselli verticali sono superiori di circa il 40% rispetto a quelli dei caroselli orizzontali.



**Figura 2.21** Carosello verticale (Foto Emmegi).

### 2.5.3 Sistemi di immagazzinamento automatizzati

Gli impianti di stoccaggio automatici prevedono l'utilizzo di macchinari automatici per la movimentazioni dei materiali. Sono anche denominati "intensivi", con riferimento all'elevato grado di utilizzo dello spazio, oppure "autoportanti" con riferimento alla doppia funzione delle scaffalature, qualora esse oltre allo stoccaggio sostengano anche le pareti e la copertura del fabbricato, tale tipo di soluzione si utilizza per altezze comprese tra 15 e 40 m.

I principali elementi costituenti un magazzino automatico (figura 2.22). sono: i traslo elevatori (mono-colonna o bi-colonna se a una/due colonne verticali)

le scaffalature, i sistemi di movimentazione o trasportatori per udc, i sistemi di trasmissione delle informazioni e dei comandi, i sistemi di gestione *hardware* e *software*, la componente civile (fondazioni, pavimentazione, copertura, ecc.), i sistemi di protezione antincendio e gli impianti generali.

Il trasloelevatore si muove tra le scaffalature e automaticamente stocca o preleva le unità di carico secondo strategie implementate da appositi software gestionali. Ha la possibilità di eseguire contemporaneamente i movimenti lungo l'asse orizzontale e lungo l'asse verticale. E' costituito da una piattaforma, in grado di eseguire l'operazione di prelievo/immissione dell'unità di carico nel vano, vincolata ad una colonna che consente la traslazione verticale. A sua volta la colonna è vincolata al pavimento ed al soffitto mediante rotaie che consentono il movimento di traslazione orizzontale del trasloelevatore all'interno del corridoio.

La larghezza del corridoio ne risulta estremamente ridotta, non essendo necessaria la rotazione del pallet durante la movimentazione all'interno del corridoio:  $1,4 \div 1,6$  m corrispondenti alla larghezza del pallet a cui sono sommati i giochi necessari per una corretta e sicura movimentazione. Massime velocità di movimento per il trasloelevatore sono: 4 m/s per la traslazione e 2 m/s per il sollevamento.

I vantaggi di questa soluzione rispetto alle altre sono da ricercarsi nell'esigenza di corridoi stretti (qualche centimetro in più rispetto alla dimensione della merce da movimentare – generalmente pallettizzata) e nella velocità delle movimentazioni. Inoltre con questo magazzino la merce va dall'operatore e non viceversa garantendo un'elevata precisione nel prelievo e stoccaggio della merce. Questa soluzione è quindi adatta nei casi in cui vi siano da gestire moltissimi codici prodotto e per magazzini con altezze elevate. Il sistema informativo che gestisce le locazioni dei prodotti è in grado di pianificare le missioni del carrello in modo da ottimizzare i tempi e gli spazi utilizzati. Di conseguenza è possibile che nella stessa missione il trasloelevatore all'andata metta a stock del materiale e utilizzi il viaggio di ritorno o per il prelievo o per spostare merce al fine di allocarla in modo più efficiente.

L'impiego di magazzini automatizzati serviti da trasloelevatori si giustifica sulla base delle elevate prestazioni ottenibili in termini di utilizzazione superficiale dell'area adibita a stoccaggio, in termini di potenzialità di movimentazione e in termini di controllo dei materiali mantenuti a scorta.

A fronte di tali vantaggi vanno considerati i costi di investimento necessari, che si presentano di notevole entità specie se raffrontati con quelli richiesti da magazzini di tipo tradizionale.



**Figura 2.22** Magazzini automatici serviti da traslo elevatore (Foto Cassioli srl)

Le prestazioni dei magazzini automatizzati serviti da trasloelevatori dipendono sia dalle caratteristiche impiantistiche del sistema quali il numero di corridoi, i parametri cinematici dei trasloelevatori e le dimensioni della scaffalatura sia dalle politiche di gestione operativa che in particolare riguardano l'allocazione degli articoli nella scaffalatura, l'utilizzo di cicli combinati di prelievo e/o stoccaggio e i relativi criteri di tipo euristico adottati allo scopo di ridurre la durata media dei cicli combinati.

La valutazione delle tempistiche, necessarie ad un trasloelevatore per movimentare un'unità di carico, risulta facilitata dall'uso di modelli che ne rappresentano il funzionamento nel dominio temporale. La rappresentazione in coordinate temporali consiste nel rappresentare la scaffalatura in un diagramma temporale in cui a ciascun vano siano associati i tempi di percorso orizzontale e

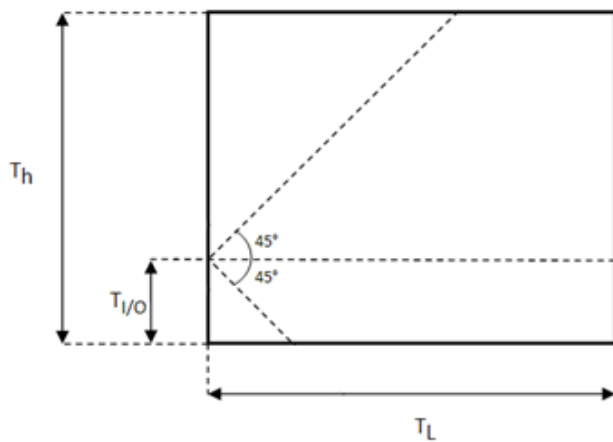
verticale rispettivamente per raggiungere il vano stesso a partire dal vertice inferiore dell'area entro cui si muove il trasloelevatore. Nell'ipotesi di considerare che il trasloelevatore raggiunga le condizioni di regime durante il trasferimento ai vani (ipotesi non soddisfatta per tempi brevi) e sia dunque lecito considerare fissi, rispetto alla posizione del vano, i tempi aggiuntivi di accelerazione/decelerazione, la trasformazione consiste nel dividere tutte le misure in lunghezza per la velocità orizzontale a regime del trasloelevatore e tutte le misure in altezza per la velocità verticale a regime.

Se si definiscono con  $L$  e  $H$  le dimensioni geometriche delle corse orizzontali e verticali del trasloelevatore si ottiene che i "confini temporali" delle scaffalature valgono:

$$T_L = L / v_l \quad \text{e} \quad T_h = H / v_h$$

Tali valori corrispondono al tempo richiesto dal trasloelevatore per percorrere l'intera scaffalatura rispettivamente in lunghezza e in altezza. La corsa orizzontale  $L$  corrisponde effettivamente alla lunghezza della scaffalatura in quanto il punto di input/output è situato all'esterno della scaffalatura. Viceversa la corsia verticale  $H$  corrisponde all'altezza del penultimo livello verticale in quanto le forche si spostano di una distanza pari al numero di livelli meno uno per spostarsi dalla prima all'ultima fila di pallet stoccati.

La rappresentazione della scaffalatura in coordinate temporali consente di ricavare direttamente dal grafico il tempo richiesto dal trasloelevatore per il trasferimento da un punto qualsiasi a un altro della scaffalatura. Tale valore non corrisponde alla distanza euclidea tra i due punti ma, data la contemporaneità dei movimenti orizzontali e verticali, è calcolabile come il massimo tra la distanza orizzontale e la distanza verticale tra i due punti considerati.



*Figura 2.23 Rappresentazione in coordinate temporali della scaffalatura e del punto di input/output.*

Se indichiamo con  $T_{I/O}$  la distanza temporale dal punto di input/output dal vertice inferiore della scaffalatura e nell'ipotesi di considerare i tempi di trasferimento a regime, le rette a  $45^\circ$  che si dipartono dal punto di input/output corrispondono al luogo dei punti descritti dal trasloelevatore quando entrambi i movimenti orizzontale e verticale sono attivi, cioè con distanze orizzontali e verticali equivalenti. I punti che si trovano all'interno degli angoli a  $45^\circ$

**hanno dunque un tempo variabile di accesso determinato dal tempo di trasferimento orizzontale, essendo la distanza orizzontale prevalente su quella verticale, mentre i punti collocati esternamente ai medesimi angoli hanno un tempo di accesso pari al tempo di trasferimento verticale come rappresentato in figura 2.23.**

I magazzini automatici possono essere suddivisi in:

- *magazzini a singola profondità.* Un magazzino di questo tipo viene costruito in modo da avere una singola unità di carico ad ogni lato della corsia. Pertanto il trasloelevatore può accedere in modo diretto a ciascuna unità di carico presente all'interno del magazzino semplicemente estraendo le forche telescopiche. Questa tipologia di sistema di stoccaggio è peraltro idoneo per aziende che ritengono più importante la velocità del sistema piuttosto che la capacità totale di stoccaggio. Infatti, grazie alla singola profondità di stoccaggio si garantisce una velocità massima delle entrate e dei prelievi delle unità di carico.
- *magazzini a doppia profondità.* In questo caso si hanno due livelli di profondità in ogni ubicazione delle scaffalature. A differenza della singola profondità, questo caso è idoneo per aziende che esigono un forte equilibrio tra la capacità di stoccaggio e la velocità di movimentazione. Per quanto riguarda il funzionamento del trasloelevatore durante una fase generica di prelievo o di stoccaggio in seconda profondità, si ha che i vani di stoccaggio delle unità di carico siano posizionati a due altezze diverse per consentire l'utilizzo di forche telescopiche speciali a doppia motorizzazione di sfilamento. Questa soluzione andrà a penalizzare l'altezza del singolo modulo base, che sarà necessariamente più alta di quella della singola profondità.
- *magazzini multi profondità.* Ne esistono due tipologie. La *scaffalatura dinamica con rulliere a gravità* gestisce in modo ottimale la logica FIFO (First-In First-Out). Risulta adatta allo stoccaggio di grandi volumi di merci omogenee assicurando una buona rotazione della merce ed evitandone l'invecchiamento.

La *scaffalatura con attrezzatura shuttle* si presta per lo stoccaggio di volumi di merce molto elevati, privilegiando il grado di saturazione del magazzino. A differenza della soluzione precedente, questi magazzini implementano una logica LIFO. La movimentazione trasversale delle unità di carico avviene per mezzo di un carrello ausiliare "shuttle" che consente appunto lo stoccaggio in multiprofondità.

Dal punto di vista economico, la prima soluzione è molto onerosa e poco impiegata per automatizzare i magazzini; si adottano pertanto quasi esclusivamente soluzioni in multiprofondità con impiego di trasloelevatori con attrezzatura mobile shuttle.

#### **2.5.4 Altri Sistemi di immagazzinamento**

I sistemi destinati al posizionamento di prodotti non su pallet, ma sciolti o imballati in dimensioni e pesi normalmente limitati, devono essere modulari, per consentire di riunire assieme diverse componenti di stoccaggio, devono essere scomponibili, per consentire lo stoccaggio di articoli in quantità diverse, devono essere dotati di appositi supporti che consentano l'individuazione del prodotto e della sua locazione e riducano al minimo lo sforzo di sollevamento e di movimentazione.

Lo scaffale a ripiani (figura 2.24) è costituito da componenti di dimensioni standard in modo tale da poter realizzare diverse altezze, diversi interassi tra i ripiani e diverse profondità di scaffale. Può avere una “luce stretta”, normalmente larga 1 metro, oppure una “luce larga”, di 3 metri e oltre. E’ relativamente economico, consente l’accesso casuale allo stoccaggio, è modulare, intercambiabile e si trasporta con facilità.



**Figura 2.24 Scaffale a ripiani**

Quando il numero delle volte in cui, in un certo periodo di tempo, avviene il rinnovo delle scorte dei prodotti posizionati sullo scaffale, è elevato si possono adottare ripiani a scorrimento su rulli.



**Figura 2.25 Armadietti e Cassettiere**

Gli scaffali a ripiani possono essere utilizzati anche nella versione “scorrevole” con le strutture che scorrono su speciali vie di corsia. E’ una soluzione adottata soprattutto quando la movimentazione dei prodotti posizionati è molto lenta e lo spazio a disposizione limitato.

Gli armadietti e le cassettiere (figura 2.25) vengono impiegati come unità a sé stanti, oppure inseriti in un modulo di scaffale a ripiani.

Sfruttano bene lo spazio, sono compatti e consentono una facile presa degli articoli, in un ambiente pulito e sicuro. Si possono attrezzare con divisori e con particolari inserti sagomati per proteggere articoli delicati, ad esempio, componenti elettronici.

Sono disponibili altri sistemi di stoccaggio progettati per materiali per i quali non possono essere utilizzare le attrezzature descritte in precedenza.

Per lo stoccaggio orizzontale di articoli rigidi in cui la lunghezza è prevalente vengono utilizzati i Cantilever (figura 2.26), ovvero scaffalature costituite da elementi montanti e bracci a mensola, adatte allo stoccaggio di prodotti lunghi e ingombranti quali barre, tubi, lamiere, profilati, anche a differenti livelli di altezza.



*Figura 2.65 Cantilever (Foto Dimensione Arredo)*

### **2.5.5 Criteri di scelta dei sistemi di stoccaggio**

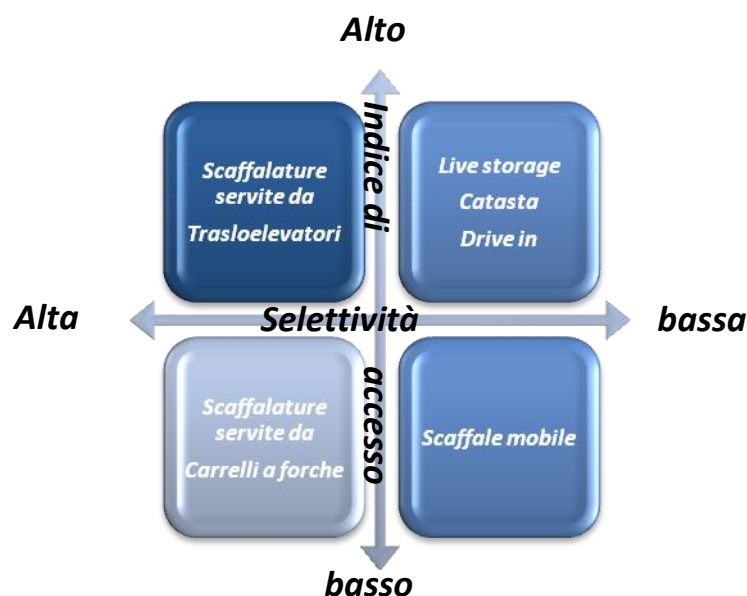
La scelta, ponderata e studiata, di una tipologia di scaffalatura piuttosto che un'altra può costituire non solo una fonte di risparmio e quindi di vantaggio competitivo rispetto ai concorrenti, ma anche, nel caso in cui la scelta risulti errata, una sorgente di costi e di vincoli per l'intera *pipeline* logistica. Le soluzioni presenti sul mercato, come abbiamo visto, sono molteplici, ognuna con i propri pregi e difetti e spesso risulta impossibile stabilire a priori quale di queste soluzioni si adatti meglio ad un dato contesto. Tale scelta dovrebbe, infatti, maturare come risultato di un'analisi approfondita delle necessità logistiche relazionate alla tipologia di prodotti da stoccare, ai mezzi di movimentazione utilizzati, allo spazio disponibile e all'investimento preventivato. Per fornire un supporto a tale scelta le diverse strutture vengono studiate e classificate in funzione delle loro prestazioni rispetto ad alcuni indici caratteristici.

Il processo decisionale prevede in generale di analizzare diverse tipologie di scaffalature che rispettino i requisiti prestazionali e effettuare la scelta in base a considerazioni economiche e ai vincoli/opportunità che si presentano nella specifica situazione (per esempio, possesso di un determinato fabbricato, di una flotta di carrelli industriali ecc.).

In questa sede si ritiene utile proporre uno schema semplificato che richiede innanzitutto, per la scelta della soluzione più adatta a una specifica situazione operativa, un esame delle prestazioni in base al livello di selettività e di indice di accesso richiesti.

Assegnando a tali parametri di prestazione i valori “alto” o “basso” si ottengono quattro possibili combinazioni (Tabella 2.3), a ciascuna delle quali corrispondono specifiche soluzioni in termini di sistemi di stoccaggio.

Nel caso in cui sia richiesta un’alta selettività e l’indice di accesso ai vani sia anch’esso molto elevato, si può prendere in considerazione l’investimento in sistemi a scaffalature serviti da trasloelevatori; in questo caso, infatti, le scaffalature consentono una selettività pressoché unitaria, mentre l’utilizzo di trasloelevatori permette di far fronte all’elevato numero di accessi ai vani.



**Tabella 2.3 Guida alla scelta della tipologia di magazzino in base all’indice di accesso e alla selettività richiesta.**

Nel caso invece in cui l’indice di accesso sia inferiore ma si voglia comunque mantenere una selettività elevata, si potrà ricorrere a sistemi più economici, sempre con scaffalature per un’elevata selettività ma serviti da carrelli manuali a forche.

La selettività rimane pressoché unitaria, dal momento che tutte le unità di carico possono essere prelevate direttamente, ma il limitato numero di movimentazioni può essere realizzato anche con sistemi manuali, meno performanti ma più economici rispetto ai sistemi automatizzati. Quando si ha a che fare con merci deperibili e con la necessità di gestire il magazzino tramite una politica FIFO rigida, la selettività richiesta può essere più bassa. Per la scelta della tipologia di struttura di stoccaggio si può considerare l’indice di accesso. Nel caso di indice di accesso elevato, si possono adottare sistemi quali la catasta, il *live storage* o il *drive in*. Nel caso di catasta o *live storage* si riesce a garantire un livello di gestione FIFO non rigida, in termini non di singola unità di carico ma di fila di prodotti, di stessa tipologia, stoccati a magazzino.



Infine, quando sia la selettività che l'accesso sono bassi, si può prendere in considerazione l'ipotesi di adozione di un sistema a scaffali mobili, particolarmente adatto in caso di spazio disponibile limitato.

È comunque necessario precisare che la classificazione dei sistemi di stoccaggio in funzione dell'indice di accesso non è rigida in quanto le prestazioni dinamiche dei sistemi in cui la movimentazione avviene con carrelli industriali dipendono in modo consistente dai percorsi medi e quindi dal layout dell'area di stoccaggio oltre che dalla tipologia del sistema di stoccaggio.

Un magazzino automatizzato comunque, una volta realizzato, ha definite sia la potenzialità ricettiva sia la potenzialità di movimentazione, a meno di una variabilità legata alle diverse politiche di gestione operativa, e dunque risulta individuato l'indice di accesso "ideale" dei prodotti da stoccare nel centro di distribuzione e tale da saturare contemporaneamente la capacità ricettiva e di movimentazione del centro di distribuzione.

## **2.6 Il *Layout* di un centro di distribuzione**

Il *layout* (o *plant layout*) è la configurazione e l'organizzazione di un dato magazzino o impianto in termini di efficacia ed efficienza, minimizzando cioè, i costi e i tempi di produzione in modo da garantire un efficiente immagazzinamento temporale dei prodotti finiti e flusso dei prodotti tra gli impianti. Comprende la progettazione e attuazione della disposizione ottimale delle attrezzature industriali, ivi comprese la mano d'opera, il macchinario, le scorte, i trasporti interni e tutti i servizi accessori, nonché la progettazione della struttura più adeguata a contenere e a proteggere tali sistemi. Le motivazioni da cui scaturisce la necessità di effettuare studi di *layout* sono generalmente legate all'esigenza di riprogettazione parziale o totale del prodotto; o a sensibili variazioni della domanda e/o nell'ubicazione o concentrazione dei mercati; oppure motivazioni legate a problematiche relative all'ambiente di lavoro (obsolescenza delle attrezzature esistenti, eccessiva frequenza di infortuni sul lavoro, ambiente di lavoro insoddisfacente).

Aggiungiamo ancora che la definizione del *layout* di un impianto può riguardare: modifiche parziali a *layout* esistenti, trasformazione generale del *layout* esistente, trasferimento degli impianti in uno stabilimento già esistente oppure costruzione di un nuovo stabilimento. Da notare che vi è una sostanziale differenza fra lo studio di un nuovo *layout* e la revisione del *layout* di un magazzino esistente. Nel primo caso è possibile definire preventivamente alcune condizioni strettamente collegate alla stesura del layout stesso quali ad esempio la struttura fisica dell'edificio, la posizione rispetto alle vie di entrata e di uscita dei materiali, la maglia dei pilastri in relazione alla tipologia delle strutture di posizionamento ed alle caratteristiche dei mezzi di movimentazione, ecc. Dovendo, invece, effettuare uno studio per la revisione del layout di un magazzino esistente si è spesso vincolati alla pre-esistenza di parte o di tutte le condizioni sopra citate. Nell'uno e nell'altro caso, vi sono parametri di politica aziendale che comunque vanno conosciuti preventivamente e debitamente valutati al fine di ottimizzare lo studio di un layout che risulti funzionale, razionale e che possa offrire una alta produttività ed un elevato livello di servizio a costi proporzionati.

Le informazioni necessarie alla definizione di una configurazione ottimale riguardano sostanzialmente quantità e caratteristiche fisiche degli articoli da produrre, successione delle operazioni (ciclo di lavorazione), volumi, pesi e caratteristiche dei materiali da trasportare lungo il ciclo di lavorazione, numero, tipo e caratteristiche delle macchine e degli impianti occorrenti, manodopera necessaria, fabbisogni di servomezzi (energia elettrica, vapore, acqua, aria compressa, ecc.), esigenze di servizi generali (uffici, laboratori, mense, ecc.), esigenze di reparti di manutenzione, attrezzatura, riparazioni e servizi ausiliari alla produzione (sistemi di gestione delle informazioni, codifica e lettura dei prodotti, ecc.), le sequenze di stivaggio e di prelievo, i vincoli di gestione ed assegnazione, le indicazioni di rifornimento e le indicazioni di accessibilità in termini di attrezzature necessarie e tempo, i livelli di servizio (tempi evasione ordini, quantità di ordini/giorno, tipi di ordini, *picking*, quantità di clienti, errori ammessi, danneggiamenti ai prodotti) nonché previsioni sulla domanda futura e sulle politiche aziendali (potenzialità, automazione e flessibilità del sistema di movimentazione e stoccaggio). Senza trascurare vincoli urbanistici, territoriali e legislativi, budget economico e politiche d'immagine.

Gli obiettivi principali di un layout ottimale sono:

- ✓ semplificare il processo produttivo (significa disporre gli impianti in modo tale da assicurarne il massimo grado di utilizzazione, ridurre al minimo i ritardi di produzione e gli eccessi di scorte, tenere conto delle esigenze di manutenzione del macchinario);
- ✓ ridurre al minimo i costi del trasporto dei materiali (significa trasporti di materiale ridotti al minimo, impiego di meccanizzazioni e automazioni che rimpiazzano gli spostamenti manuali, riduzione della distanza di trasporto);
- ✓ ridurre al minimo le scorte di produzione ed i materiali immagazzinati in modo da diminuire i costi di produzione;
- ✓ utilizzare lo spazio disponibile nel modo più efficace (significa evitare disorganizzazione dei magazzini, aree di produzione ristrette, zone morte);
- ✓ offrire ai dipendenti un ambiente di lavoro soddisfacente (significa comoda disponibilità degli utensili, facile accesso ai materiali, assenza di rumori fastidiosi, riscaldamento e ventilazione, illuminazione, assenza di umidità e di polvere, sicurezza sul lavoro);
- ✓ evitare investimenti di capitale non necessari (l'oculata disposizione di una macchina utensile, ad esempio, può renderne facile l'uso su più processi e quindi evitare l'acquisto di una seconda o terza macchina);
- ✓ utilizzare efficacemente la manodopera (un buon layout non assicura l'uso ottimale della manodopera, ma ne è condizione e stimolo);

Per realizzare tali obiettivi, possiamo focalizzare l'attenzione su alcuni punti sensibili che possiamo così sintetizzare:

- ottimizzazione dell'area ricezione materiali dai fornitori, in relazione alle banchine di scarico ed alla facilità di collegamento con i mezzi di trasporto;
- collegamento funzionale dell'area ricezione materie prime con le aree della produzione;
- collegamento funzionale dell'area ricezione dei prodotti finiti con l'area produttiva;
- area sufficiente alla ricezione merci per permettere il posizionamento per lo scarico ed il controllo;

- strutture di posizionamento idonee alle eventuali differenti tipologie dei materiali movimentati;
  - verifica dell'eventuale condizionamento dei mezzi di movimentazione da utilizzare sul layout (altezza massima di sollevamento delle forche, dimensioni minime di corridoio per la manovra ecc.), nonché possibili varianti in relazione ai possibili differenti tipi di mezzi utilizzabili;
  - facilità di percorsi dei mezzi di movimentazione sia in entrata che in uscita dalle varie sezioni dei magazzini;
  - ottimizzazione dei percorsi con procedure organizzative stabilite per le singole operazioni che vengono svolte nel magazzino (ricezione, posizionamento, prelievo, allestimento ordini in partenza, spedizioni); e possibilmente soluzioni che riducano la movimentazione accompagnata agli operatori;
  - limitazione dei tempi operativi e delle fatiche degli operatori;
  - applicazione di tutte le norme previste per la sicurezza ambientale, antincendio ed antinfortunistica.
- All'interno della letteratura scientifica è possibile individuare due indirizzi ben distinti che si focalizzano su aspetti dell'ottimizzazione dei magazzini tra loro complementari: determinazione della disposizione ottimale degli impianti (*Facility Layout Problem*), e progettazione degli spazi interni (*Internal Layout Design*).

Il primo filone si preoccupa di ricercare una metodologia che permetta di posizionare/collocare all'interno dell'edificio in maniera efficace ed efficiente le zone assegnate alle diverse attività eseguite in un magazzino, tenendo conto delle relazioni che intercorrono tra le attività stesse, rappresentate ad esempio dai flussi di materiale o dai flussi informativi, nonché delle relazioni che intercorrono tra queste ed il mondo esterno alla struttura di stoccaggio. Il secondo filone invece focalizza la propria attenzione sulla progettazione del *layout* interno. L'obiettivo che ci si pone è quello di strutturare l'area di stoccaggio del magazzino secondo una configurazione ritenuta ottimale, attraverso il collocamento funzionale delle diverse entità (corridoi, scaffalature, aree di prelievo e stoccaggio etc...) nel modo più efficace ed efficiente possibile.

### 2.6.1 Facility Layout Problem

Uno dei fattori indubbiamente da prendere in considerazione per collocare le diverse attività secondo una logica efficace ed efficiente è il grado di relazione o di complementarietà esistente tra le diverse coppie di *facilities*.

Infatti, tanto maggiore è la mole di informazioni e/o attività scambiate tra due *facilities* quanto maggiore sarà il loro grado di complementarietà e quindi la necessità che esse siano collocate l'una vicino all'altra. L'approccio al problema fondato su tale logica è comunemente chiamato *Systematic Layout Planning (SLP)* [Muther, R., (1973); Roodenberg, K.J. and Koster, R., (2001)], e prende origine solitamente dalla costruzione della cosiddetta "Matrice delle prossimità" (o delle relazioni). All'interno di questa matrice è indicata, per ogni coppia di *facilities*, una lettera che rappresenta, attraverso una codifica convenzionale definita a priori, l'intensità della relazione tra le due attività e quindi la necessità della loro vicinanza (o quella che sarebbe auspicabile dal punto di vista imprenditoriale). Una delle codifiche maggiormente utilizzate dagli autori esaminati è presentata di seguito in Tabella 2.4

Simbolo	Significato
A	<b>Vicinanza assolutamente necessaria</b>
E	<b>Vicinanza molto importante</b>
I	<b>Vicinanza importante</b>
O	<b>Vicinanza normale</b>
U	<b>Vicinanza non importante</b>
X	<b>Vicinanza non desiderabile</b>

**Tabella 2.4 - Una delle codifiche maggiormente utilizzate per indicare l'intensità del rapporto tra coppie di facilities.**

Le ragioni che sostengono il cosiddetto giudizio di interrelazione o di vicinanza sono espresse con numeri, il cui significato è indicato in una legenda. Le ragioni tipiche e frequentemente utilizzate sono:

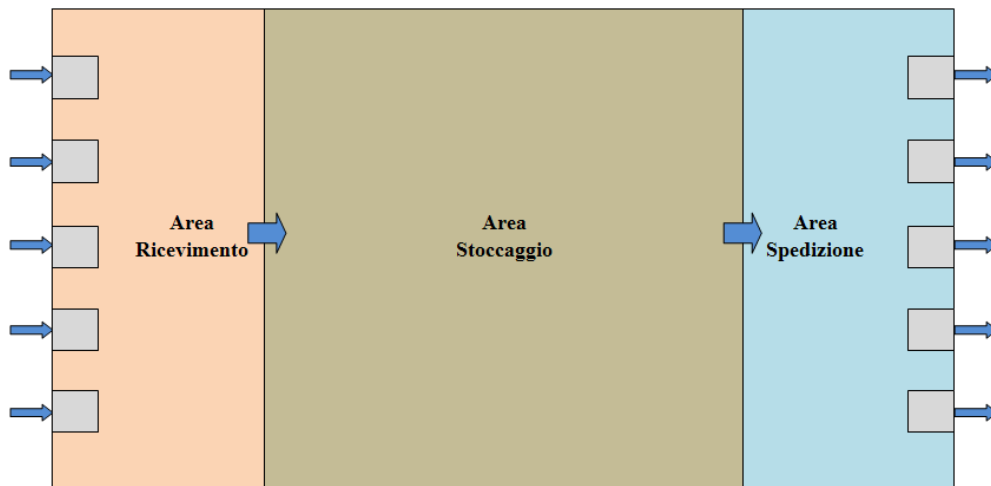
- necessità di contatti personali;
- uso degli stessi dispositivi o mezzi o personale;
- esigenze specifiche di direzione;
- comodità per il personale;
- supervisione e controllo;
- rumore, polvere, sporcizia, pericolo, fumo;
- rapporti stabiliti attraverso fogli o moduli;
- esecuzione di lavori simili, ecc.

Tale convenzione non si basa tuttavia unicamente sul rapporto logistico esistente tra zone del magazzino adibite a differenti attività, ma anche su parametri impiantistici di costo e sui vincoli di sicurezza da rispettare.

Una volta tracciata la tabella dei rapporti, si può procedere a progettare il layout, cercando di posizionare in spazi vicini gli uffici fra i quali esiste un rapporto di tipo A o E e lontani quelli uffici fra i quali esiste un rapporto di tipo X. In relazione al flusso logistico, la successione degli spazi funzionali all'interno di un centro di distribuzione, può, essenzialmente, richiamare tre possibili configurazioni generali.

La prima configurazione (figura 2.27), chiamata *flow-through*, prevede che la zona di ricezione e zona di spedizione siano poste ai lati opposti del centro di distribuzione. La collocazione delle attività caratteristiche del magazzino secondo questo sistema si basa sulla considerazione secondo cui la maggior parte dei prodotti che attraversano il magazzino necessitano delle medesime operazioni e quindi vengono processati nella stessa sequenza: le merci entrano nella zona di ricezione, subiscono modificazioni (per esempio attività di stoccaggio, *picking*) e arrivano nella zona di spedizione. Secondo questa logica le merci attraversano il centro di distribuzione da una parte (area ricezione) all'altra (area spedizione), passando per l'area di stoccaggio, e "fermandosi" presso

uno specifico *shop point* solamente qualora sia previsto, per cui si parla anche di configurazione *Flow Shop*, altrimenti proseguono oltre verso l'operazione successiva.



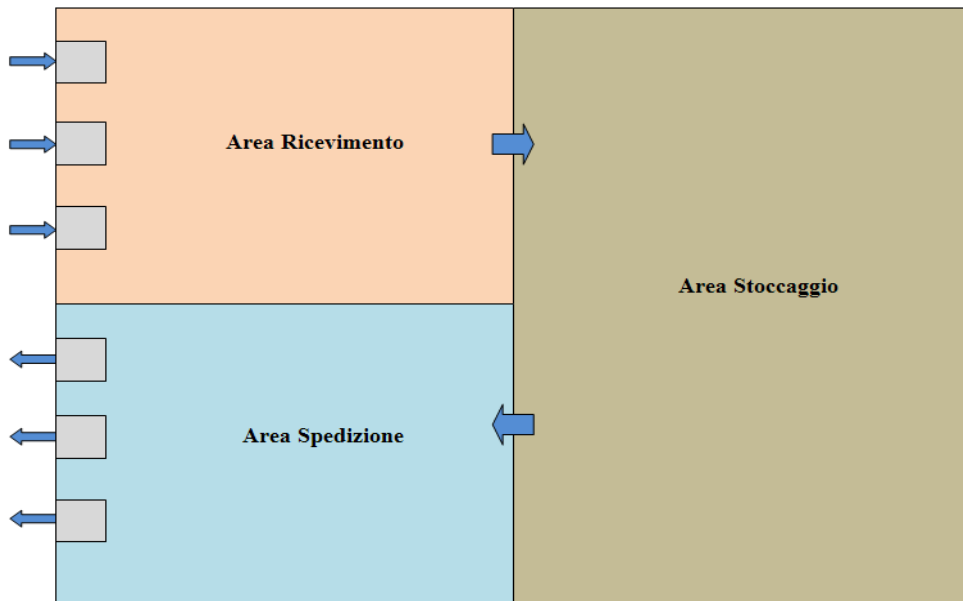
**Figura 2.27** Configurazione *flow-through* in cui l'area di ricezione e l'area di spedizione si trovano ai lati opposti del centro di distribuzione

La configurazione *flow-through* è più appropriata per centri di distribuzione in cui transitano elevatissimi volumi di merce, poiché permette di razionalizzare i flussi di materiali e aumentare l'efficienza delle operazioni di movimentazione, ed è preferibile quando la costruzione è lunga e stretta.

La seconda configurazione (figura 2.28), chiamata, *U-Flow*, o *U-shape* prevede che l'area di ricezione e l'area di spedizione siano localizzate sullo stesso lato del centro di distribuzione.

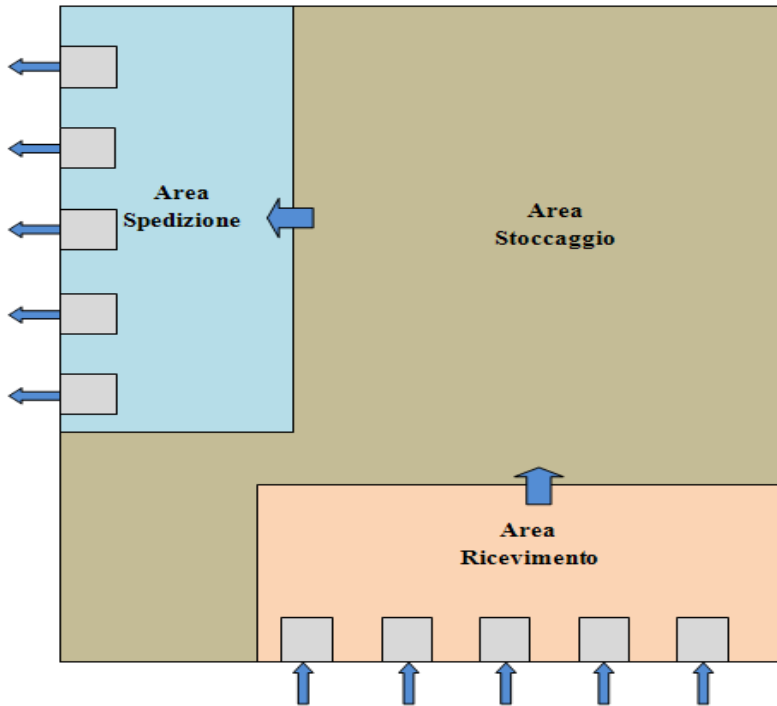
La configurazione *U-flow* rende maggiormente flessibile l'utilizzo della banchina, sia per la ricezione che per la spedizione delle unità di carico. In caso di necessità, infatti, si possono adattare le porte di attracco all'una o all'altra attività. È adatta a situazioni caratterizzate da più modesti flussi di materiale e inoltre dà la possibilità di espansione lungo gli altri tre lati del centro di distribuzione.

Per ridurre il tempo di trasporto di un'unità di carico tra l'area di stoccaggio e la zona di ricezione o di spedizione, inoltre è generalmente preferibile orientare i corridoi in modo che questi scorrano *parallelamente* alla direzione del flusso dei materiali.



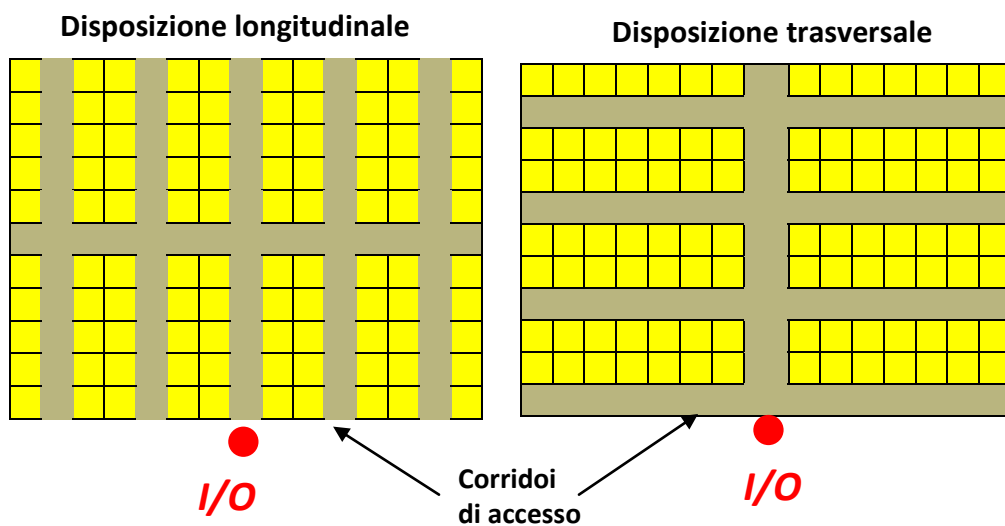
**Figura 2.28** Configurazione U-flow in cui l'area di ricezione e l'area di spedizione sono collocate sullo stesso lato del centro di distribuzione

Le due alternative prese in considerazione non esauriscono il panorama delle possibili configurazioni. Alla base di questa grande varietà di opzioni vi è innanzitutto l'innumerabile quantità di realtà e dinamiche aziendali che è possibile riscontrare nel panorama mondiale, per molte delle quali è possibile creare una soluzione *ad hoc*, che meglio di ogni altra soddisfi le esigenze imprenditoriali e che possa essere contestualizzata all'interno della realtà in oggetto senza mutarne le principali caratteristiche. Molto spesso risulta preferibile utilizzare una configurazione ibrida come può essere quella in cui l'area di ricezione e l'area di spedizione si trovano su due lati contigui del centro di distribuzione. Questa configurazione, utilizzabile in situazioni caratterizzate da modesti flussi di materiali e in centri di distribuzione aventi una costruzione a pianta pressoché quadrata, richiede la valutazione sull'orientamento dei corridoi (se devono essere paralleli al flusso dei materiali in ingresso o al flusso dei materiali in uscita).



*Figura 2.29 Configurazione Ibrida in cui l'area di ricezione e l'area di spedizione sono collocate su due lati contigui del centro di distribuzione*

Sostanzialmente, in tal caso possono essere realizzati due tipi di layout: longitudinale, con le scaffalature disposte perpendicolarmente al fronte del magazzino, e trasversale, con le scaffalature disposte parallelamente al fronte del magazzino (figura 2.30).



*Figura 2.30 Disposizione dei corridoi e delle scaffalature parallelamente e trasversalmente al fronte del magazzino.*

Queste due tipologie di layout sono equivalenti dal punto di vista dei percorsi medi di accesso e quindi della durata dei cicli semplici.

Viceversa l'area occupata dai corridoi di collegamento risulta inferiore per i layout di tipo trasversale per i quali però può sussistere un problema di congestionamento del traffico sul corridoio centrale qualora siano presenti molti carrelli.

In definitiva queste due tipologie di layout risultano equivalenti e la scelta si effettua analizzando quale dei due meglio si adatta a vincoli dimensionali dell'area destinata alle scaffalature.

### **2.6.2 Internal Layout Design**

L'*Internal Layout Design*, focalizza la propria attenzione sulla progettazione del layout interno dell'area di stoccaggio del magazzino. L'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di dare a tale area una configurazione ottimale, collocando tutti gli oggetti in maniera efficiente. In letteratura, si trovano differenti approcci al problema. In particolar modo principalmente due sembrano essere le strategie prevalenti. La prima, caratterizzata da una ricca produzione letteraria e da una miriade di differenti versioni, intende determinare quali siano le scelte strategiche, soprattutto organizzative, da effettuare per raggiungere le migliori performance possibili. La seconda, più tecnico-progettuale, denominata *Aisles Configuration Problem*, più scarna come produzione bibliografica, mira invece a definire la posizione relativa delle entità presenti nell'area di stoccaggio, determinando in particolare il numero di blocchi in cui è suddivisa l'area stessa, il numero, la lunghezza, la larghezza e l'orientamento dei corridoi per ogni blocco e il numero, con relativa collocazione, dei punti input/output (I/O).

Questi differenti approcci sono originati dal tentativo comune di massimizzare o minimizzare una differente funzione-obiettivo. Scendendo nel dettaglio le funzioni-obiettivo maggiormente prese in considerazione in letteratura sono:

- minimizzazione della distanza media percorsa dall'addetto al prelievo durante il completamento di un *order picking routing* (o *picking-tour*) generico;
- minimizzazione del tempo dedicato al completamento di un set generico di ordini;
- minimizzazione dei costi di prelievo o massimizzazione del risparmio ad esso associato;
- massimizzazione dell'utilizzazione superficiale del magazzino;
- massimizzazione del grado di utilizzazione della forza lavoro o delle risorse in genere;
- massimizzazione dell'accessibilità ai diversi prodotti.

Nel proseguo della trattazione si analizzeranno nello specifico entrambi gli approcci.

#### **2.6.2.1 Aisles Configuration Problem**

L'approccio denominato *Aisles Configuration Problem*, prende in esame, studia e tenta di trovare una soluzione a tutte quelle problematiche che riguardano la definizione di un *layout* effettivo del magazzino che sia il più efficace ed efficiente possibile, nonché economico per quanto riguarda l'investimento iniziale e i costi di esercizio.



Ma va detto che, la maggior parte dei lavori analizzati non sviluppa un vero e proprio criterio progettuale; tende piuttosto, ad ipotizzare diversi possibili *layout* per poi testare diverse strategie su di essi ed identificare alla fine come *layout* ottimale quello che ha dato le migliore performance. E' da sottolineare che ha effetti sulla definizione del *layout ottimale* del magazzino anche l'approccio al prelievo, in particolare risulta sostanzialmente differente la situazione da prendere in esame se il prelievo di merce avviene in quantità pari ad una unità di carico, oppure in quantità differenti, per cui la merce dovrà successivamente, quindi, essere consolidata e spedita.

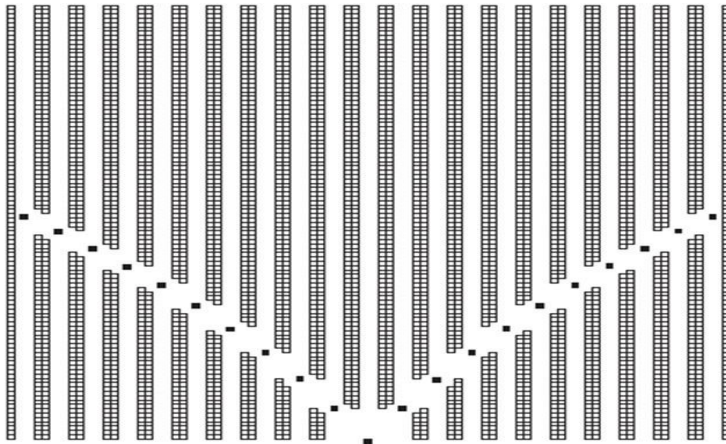
A tale proposito possono essere considerati i lavori di *Caron et Al. (2000)* e di *Francis (1967)* dove si confrontano magazzini tradizionali (*Basic Warehouse Layout*) con punto di I/O collocato alternativamente in posizione centrale o angolare rispetto al fronte dell'impianto, e magazzini con orientamento opposto dotati quindi di corridoi di prelievo paralleli ai corridoi di testa e coda. Da quanto detto emerge che l'orientamento ottimo sia proprio quest'ultimo poiché riesce a ridurre lo spazio necessario e le distanze medie percorse dagli addetti al prelievo. Altri lavori a sostegno di questo approccio al problema conducono ad una progettazione dinamica in cui il numero di corridoi di prelievo viene di volta in volta incrementato di un'unità al fine di trovare la il numero ottimo di corridoi di prelievo in grado di ridurre sensibilmente il tempo di tragitto medio (*travel time*). Una soluzione che prevede corridoi ad incrocio (*cross-aisles*) che suddividano l'area di stoccaggio in due o più blocchi, a fronte di liste di prelievo (*picking-list*) di ridotte dimensioni, risulta non consigliabile mentre, aumentando l'ampiezza della *picking-list* si riscontrano vantaggi in termini di diminuzione del *travel time*. Aumentando ulteriormente tale ampiezza però si torna in condizioni non desiderabili poiché praticamente tutti i corridoi devono essere visitati per intero e aggiungere *cross-aisles* porta ad aumentare la lunghezza dei corridoi di prelievo.

Per quando riguarda i magazzini con prelievi di tipo *unit-loaded* (unitarizzabili) si nota un'accentuata scarsità di trattazioni. Il primo lavoro risale al 1967 (Francis, R. L., 1967). In tale studio, a partire da un magazzino rettangolare con una rete di corridoi ortogonali, si sviluppano analisi su quelle che dovrebbero essere le dimensioni caratteristiche di un magazzino così gestito in funzione di alcuni parametri caratteristici. In particolare al variare della posizione del punto di I/O, dell'orientamento delle scaffalature e della tipologia di ciclo di prelievo prescelto (singolo o combinato) si determina la forma ideale del magazzino inteso come rapporto tra i due lati dell'area di stoccaggio. Da qui è possibile ricavare il cosiddetto fattore di forma. Tale valore è calcolato minimizzando i percorsi medi degli addetti sotto l'ipotesi di equiprobabilità di accesso ai vani ossia con prodotti stoccati aventi grosso modo la stessa turnazione e disposti a magazzino in maniera casuale.

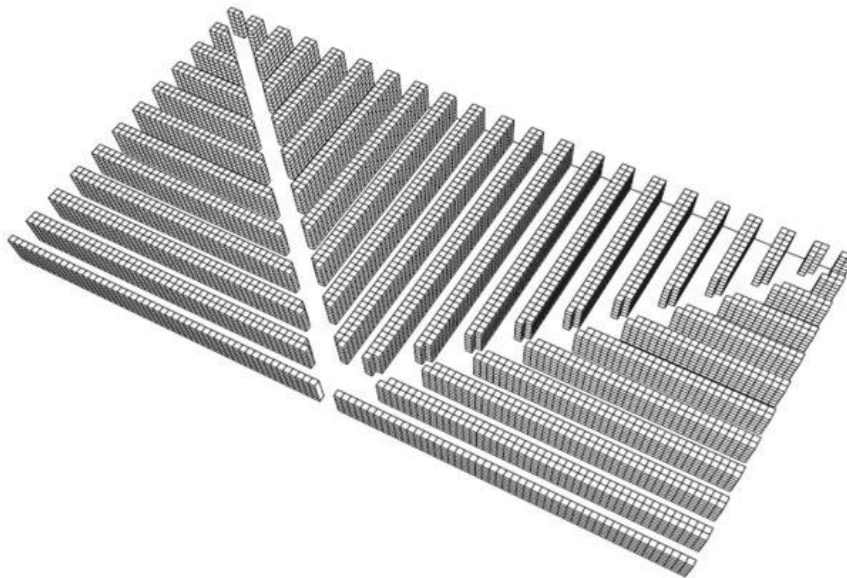
Con determinate premesse i lavori sopraccitati hanno evidenziato la preferenza verso magazzini tanto larghi quanto lunghi. Al contrario in altri lavori, [Petersen II, C. G., (1997)], con premesse leggermente diverse, si riscontrano invece vantaggi in magazzini più larghi che lunghi e questo sottolinea come le condizioni al contorno influenzino fortemente le scelte ottime da fare.

Con riferimento invece agli studi sull'orientamento relativo dei corridoi vi è anche in questo caso un'analisi piuttosto datata [Bassan, Y., Roll, Y. and Rosenblatt, M. (1980)], che presenta il tentativo di stabilire i casi in cui sia meglio utilizzare corridoi di prelievo disposti ortogonalmente ai corridoi

di testacoda e quando invece sia meglio che questi scorrano paralleli. In realtà in un lavoro ancora antecedente [101] Berry J.R., (1968), analizza la possibilità di collocare le diverse referenze allocate a magazzino (in un contesto di stoccaggio a terra e non tramite scaffalature) lungo linee di profondità variabile in modo da formare un arrangiamento diagonale. Se vogliamo menzionare lavori più recenti, in Gue et Al. (2006) viene implementata una simulazione in cui, facendo variare il numero di corridoi di prelievo, si ipotizza una disposizione dei *cross-aisles* una volta ad ali di gabbiano (*V-shape*) e una volta a lisca di pesce (*Fishbone*), (figure 2.33 e 2.33).



**Figura 2.33 –** *Disposizione dei corridoi di tipo V-Shaped.*



**Figura 2.34** *Disposizione dei corridoi a lisca di pesce.*

Da tali lavori risulta evidente come la soluzione migliore sia una disposizione a lisca di pesce che garantisce percorsi medi di circa il 20% inferiori rispetto ad un magazzino tradizionale con la stessa lunghezza totale dei corridoi. Tale soluzione occupa, tuttavia, una superficie del 3% superiore. Malgrado ciò, una disposizione V-shape porta ad una migliore capacità di accesso e uscita dell'area di stoccaggio ed è una struttura più intuitiva che quindi favorisce un miglior orientamento degli

addetti. Vi è infine un'ultima trattazione [Bartholdi, J.J., Hackman, S.T., (2002)], da menzionare. Valutata la necessità di utilizzare al meglio la superficie a disposizione, in funzione anche di un'ottimizzazione dei costi derivanti dalla gestione degli spazi (investimento iniziale, climatizzazione, pulizie etc.), si evidenziano due possibilità: sviluppare la struttura in altezza ponendo le unità di carico, su diversi livelli e/o collocare i carichi lungo file a profondità più che unitaria, sfruttando cioè la profondità di stoccaggio. Ovviamente nel primo caso, qualora si optasse per l'utilizzo di una politica "a catasta" sarebbe necessario valutare le caratteristiche dalle referenze allocate poiché pesi elevati e fragilità dei carichi costituiscono notevoli controindicazioni per uno sviluppo in altezza di un magazzino tramite questa politica di stoccaggio. Qualora invece si disponesse di scaffalature in grado di evitare il contatto tra i carichi il problema sopraesposto potrebbe essere facilmente aggirato a patto che i benefici ottenuti siano in grado di ripagare i costi di investimento che sarebbe necessario sostenere. Nel caso in cui si optasse per un incremento della capacità di stoccaggio attraverso un maggiore sfruttamento della profondità della scaffalatura si potrebbero ottenere considerevoli benefici, soprattutto in termini di incremento dello sfruttamento superficiale e volumetrico, dall'eliminazione di numerosi corridoi di prelievo, il cui volume non sarebbe normalmente utilizzabile per lo stoccaggio delle merci, considerando che la larghezza dei corridoi risulta spesso predeterminata in funzione delle dimensioni dei mezzi di movimentazione utilizzati e della capacità di questi ultimi di muoversi liberamente all'interno dei corridoi stessi. La profondità di stoccaggio è invece una problematica di progetto e deve essere attentamente valutata poiché, così come è in grado di incrementare notevolmente il valore di alcuni parametri prestazionali del magazzino, potrebbe diminuirne altri, apportando inoltre numerosi vincoli alla politica di stoccaggio-prelievo. A tal proposito si pensi che una scaffalatura a doppia profondità di stoccaggio è in grado di fornire il 41% di spazio in termini di slot, in più, relativamente alla stessa area totale di magazzino, rispetto ad una struttura a singola profondità, senza considerare lo sviluppo in verticale comunque possibile [Li, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T.S. and Subba Rao, S., (2006)]. Per contro, già con una profondità doppia, la selettività delle udc viene ridotta del 50%.

Inoltre, dovendo stoccare per ogni fila la stessa referenza, fino a quando non verranno richieste-rimosse entrambe le udc, c'è la possibilità che, malgrado il primo posto (quello più vicino al corridoio) sia libero, non si possa allocare altre merci in tale slot fino a quando anche la seconda udc sarà stata movimentata. Tale problema si aggrava ancora di più quando si hanno profondità maggiori.

#### **2.6.2.2 Storage Assignment Problem**

In un approccio di tipo strategico-organizzativo al problema dell'*Internal Layout Design* si prende solitamente in esame un layout del magazzino quasi interamente predeterminato, dove vengono previste solo un limitatissimo numero di alternative, che saranno valutate in un secondo momento in relazione alle scelte organizzative ipotizzate. Il passo successivo è definire quali siano le scelte strategiche ed organizzative più efficaci al fine di ottenere dal magazzino le migliori prestazioni possibili. Ciò significa: utilizzare bene gli spazi e trasportare le merci in un tempo ammissibile,

ottimizzare le operazioni di stoccaggio delle merci e i flussi di trasferimento, tener conto anche dello spazio, sia orizzontale che verticale, disponibile per i montacarichi che movimenteranno le merci, consentendo facili spostamenti interni. A volte potrebbero essere necessari, a causa della loro natura e delle loro caratteristiche, locali dedicati alla conservazione delle materie prime, dei prodotti finiti, dei semilavorati e di altre attrezzature.

L'ubicazione dovrà essere adattata ad obiettivi strategici come la vicinanza delle materie prime al reparto di produzione, per il quale la localizzazione deve essere progettata secondo i processi produttivi o le fasi di assemblaggio.

Scendendo maggiormente nel dettaglio è possibile affermare che, nella maggior parte dei lavori afferenti a questo sottofilone letterario, considerato il layout del magazzino come un input del problema, l'attenzione dei ricercatori è focalizzata sulle diverse scelte organizzative che, se implementate nella maniera corretta, consentono un aumento dell'efficienza delle operazioni di *picking* attraverso la minimizzazione della distanza percorsa per portare a termine il prelievo da magazzino dei prodotti facenti parte gli ordini ricevuti.

Roodbergen e De Koster [2001] indicano quattro modi di intervento in tal senso: suddivisione in zone dell'area di stoccaggio (*Zoning*), assegnazione dei prodotti a postazioni di stoccaggio strategiche (*Storage assignment*), assemblamento di ordini (*Batching*), ottimizzazione del percorso degli addetti al prelievo (*Routing Methods*).

Ognuno di questi quattro aspetti dà luogo a sottofiloni diversificati ma fortemente intrecciati e dipendenti quindi l'uno dall'altro. Si tende, infatti, a simulare l'impiego di queste strategie in relazione una all'altra per poi evidenziare l'eventuale esistenza di correlazioni positive tra le stesse. Di seguito verrà analizzata la problematica relativa all'assegnazione (quali prodotti) ai vani di stoccaggio mentre le altre, più strettamente inerenti le modalità di prelievo, verranno trattate in seguito (vedi paragrafi 4.5 - 4.6).

L'obiettivo principale che si persegue nello studio delle differenti logiche di stoccaggio dei prodotti a magazzino è quello di capire quale tra le differenti politiche sia in grado di garantire, data una certa situazione aziendale, i maggiori benefici. La merce una volta scaricata dai mezzi di trasporto deve trovare una propria collocazione nella struttura di stoccaggio e tale collocazione deve essere assegnata tramite una politica che permetta un recupero dei prodotti, che sia veloce, affidabile e soprattutto poco costoso, ogni qualvolta i diversi articoli vengano inclusi in un ordine.

Analizzando la letteratura di settore è possibile identificare tre sottofiloni principali che si concentrano su altrettanti aspetti relativi al problema dello *Storage Assignment* e che risultano tra loro complementari. Evidenziamone gli aspetti d'interesse.

**a) *Forward-reserve allocation***

Questa problematica trova numerose citazioni in letteratura e notevoli sono anche i diversi approcci proposti. L'immagazzinamento dei prodotti e il recupero degli stessi al manifestarsi degli ordini da parte dei clienti hanno esigenze diverse e spesso in conflitto. Da un lato, infatti, i sistemi di stoccaggio ad elevata densità hanno lo scopo di massimizzare lo sfruttamento della superficie disponibile, rendendo tuttavia spesso inaccessibili direttamente alcuni dei prodotti stessi nel momento in cui questi dovessero essere prelevati. Dall'altro lato un *picking* efficiente necessita

spesso di un'area il più possibile compatta ma con sufficiente spazio per i corridoi che renda possibile prelievi agevoli e spostamenti veloci da uno slot all'altro. Una simile disposizione, per contro, potrebbe non garantire la recettività necessaria (prendendo come vincolo lo spazio disponibile allo stoccaggio). In questo contesto si inserisce la possibilità di suddividere l'area del magazzino in due zone. Questa soluzione è detta *Forward-Reserve Allocation* ed in particolare l'area dedicata alle operazioni di *picking* prenderà il nome di *Forward Area* (o *Fast-Pick Area*) e quella dedicata allo stoccaggio intensivo dei

prodotti verrà chiamata *Reserve Area*. Il trasferimento dell'unità di carico dalla *reserve zone* alla *forward zone* è denominato *replenishment*.

In definitiva la funzione primaria della *Forward Area* è quella di consentire l'ottimizzazione delle operazioni di *picking* e qui possono essere utilizzate soluzioni di stoccaggio ad elevata prestazione, come ad esempio le scaffalature a gravità, inserite in un'area compatta rendendo

quindi minimi gli spostamenti accessori e velocizzando le operazioni. Questo consente agli addetti al prelievo di spostarsi unicamente all'interno di un'area limitata e progettata in

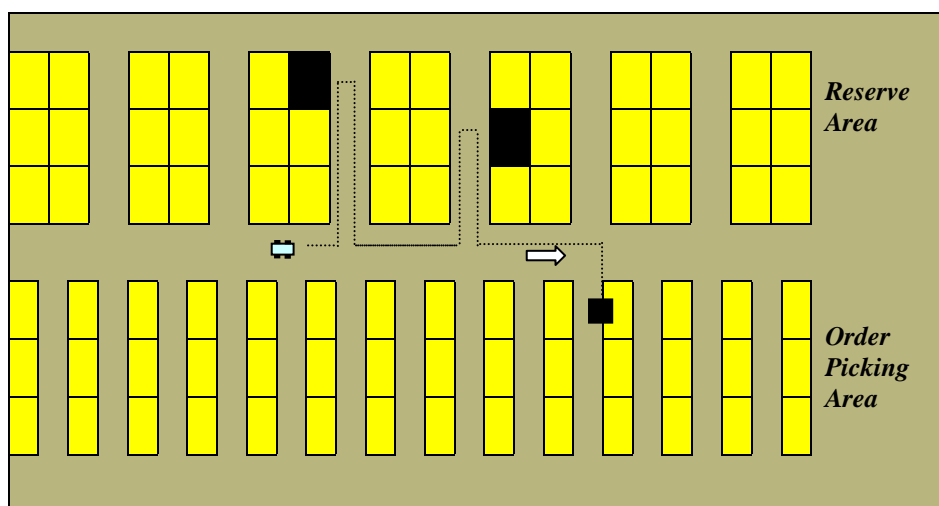
funzione delle loro esigenze, portando in questo modo a una diminuzione della lunghezza del percorso medio di prelievo e aumentando contemporaneamente l'efficienza del processo. Al

contrario la funzione primaria della *Reserve Area* è lo stoccaggio, e qui i prodotti vengono appunto allocati nella maniera più economica possibile. In questo modo si utilizzeranno le due aree per scopi

diversi (ma complementari) così da sfruttare i vantaggi di entrambe le soluzioni e minimizzare i costi complessivi del sistema. In letteratura sono molteplici le conferme dei vantaggi ottenibili attraverso

l'adozione di questa politica. In particolare emerge chiaramente come il *picking-time* medio subisca una sensibile riduzione compresa tra il 20% ed il 60%, e se la modalità di immagazzinamento

reserve/forward risulta ben progettata, la riduzione del *picking time* risulta maggiore del *replenishment time*.



**Figura 2.35 – Un esempio di quale potrebbe essere il layout di un magazzino suddiviso in Forward-Reserve Area.**

In figura 2.35 viene mostrato un possibile layout di un magazzino progettato implementando la logica della *Forward-Reserve Allocation*.

Anche se l'aumento della superficie necessaria all'allestimento della *Forward Area* crea un leggero aumento dei costi di struttura, questo viene però controbilanciato dalla diminuzione del *labor time* necessario alla movimentazione delle merci.

Nonostante gli indiscutibili vantaggi che l'implementazione di questa soluzione può portare, è ancora accesa in letteratura la discussione su come dimensionare in maniera ottima le due aree e di come regolamentare l'assegnazione delle diverse referenze all'interno delle aree stesse in modo da minimizzare i costi totali di immagazzinamento e movimentazione. Il dimensionamento corretto delle due aree è, infatti, una premessa essenziale per garantire un funzionamento efficace del magazzino ed è necessario trovare un equilibrio che riesca a massimizzarne i vantaggi della politica minimizzando i difetti intrinseci. Infatti, qualora la *Forward Area* sia troppo grande si potrebbero perdere i vantaggi associati all'utilizzo di una zona di *picking* dalle dimensioni ridotte, mentre al contrario se questa venisse progettata troppo piccola i costi legati al *replenishment* e all'elevato numero di movimentazioni interne supplementari potrebbero risultare troppo gravosi rispetto ai benefici. Tali costi dipendono, infatti, da un'ampia serie di fattori, tra cui i principali sono:

- il numero di rifornimenti per ogni referenza presente nella *Fast Area*;
- il numero di *slot* da riempire ogni qualvolta viene effettuato un rifornimento stabilito in sede di progettazione;
- i tempi di rifornimento. Tale attività può essere prevista nel momento in cui la scorta scende al di sotto di una soglia minima, indipendentemente dal momento in cui ciò accada, o collocando tale attività in momenti della giornata strategici, in cui cioè sia meno oneroso destinare risorse umane al rifornimento.

Trovato poi un buon compromesso riguardo alla dimensione relativa delle due aree bisognerà stabilire secondo quali criteri i prodotti verranno allocati a magazzino e anche questo aspetto è stato ampiamente dibattuto. Presa per buona, infatti, la suddivisione in due aree del magazzino non è detto che tutte le referenze in esso allocate debbano trovare una loro collocazione all'interno della *Forward Area* anzi, si otterranno benefici economici superiori se alcuni di questi manterranno la loro collocazione unicamente all'interno della *Reserve Area*.

Questo approccio garantisce una maggiore efficacia: innanzitutto minore è il numero di referenze collocate nella *Forward Area* e minore sarà la superficie necessaria per allestirla; inoltre non tutte le referenze hanno la stessa frequenza di richiesta o la stessa domanda. E' possibile quindi suddividere le referenze in *fast movers* e *slow movers* a seconda di quella che è la loro richiesta. Minore è l'intervallo di tempo in cui i diversi prodotti "stazionano" sullo scaffale, maggiore sarà la necessità di essere allocati in un'area che consenta prestazioni di prelievo elevate e quindi che riduca il tempo impiegato per il prelievo dei prodotti necessari a comporre gli ordini richiesti. Al contrario un indice di "rotazione" (vedi par. 3.8.5.2) non elevato indica che il prodotto non è così richiesto e che quindi può essere valutata una sua collocazione unica all'interno della *Reserve Area* da cui verrà direttamente prelevato e consolidato poi con gli altri prodotti eventualmente richiesti. E' bene ricordare inoltre come possa esservi una diversità notevole nell'entità della domanda dei diversi

prodotti, più che nella frequenza degli ordini. Tale diversità indurrà la collocazione di una particolare referenza in una delle due aree. A titolo di esempio si può pensare al caso in cui ci si imbatte in un prodotto dalla domanda molto elevata. In questo caso sarà consigliabile allocare questo prodotto nella *Reserve Area* poiché occuperebbe una percentuale troppo elevata di *Forward Area* impedendo di sfruttarne i vantaggi offerti tramite altre referenze. Se poi la frequenza di richiesta di tali prodotti non dovesse essere così elevata si giustificherebbe a maggior ragione questo tipo di scelta mentre, in caso contrario, la situazione andrebbe valutata attentamente soppesando da un lato la perdita di spazio disponibile e la minor efficacia della scelta fatta e dall'altro l'incremento delle movimentazioni accessorie per allestire ordini frequenti di un prodotto non allocato nella *picking zone* privilegiata. Risulta evidente come sia estremamente importante valutare con attenzione per non vanificare tutti i vantaggi derivanti dall'utilizzo di questa strategia. La risoluzione delle problematiche d'assegnazione fin qui esposte viene in genere ottenuta formulando un problema di programmazione non lineare intera e risolto per lo più tramite algoritmi di tipo euristico. Questi algoritmi, pur non fornendo la soluzione ottima permettono di arrivare ad un buon compromesso.

Esistono inoltre in letteratura approcci più evoluti che prevedono la presenza di più *Forward Areas* per sfruttarne al massimo i benefici ottenibili da questa politica. Tuttavia anche nell'implementazione di queste strategie le problematiche di base (e i conseguenti vantaggi ottenibili) rimangono comunque le stesse. Inoltre, benché la logica rimanga più o meno la medesima, esiste un'alternativa, suggerita in numerosi lavori, per cui in alcuni casi è preferibile evitare divisioni fisiche dell'area di stoccaggio ma dividere idealmente le scaffalature in due livelli: quelli più bassi utilizzati per il prelievo intensivo e i livelli superiori utilizzati come riserve alla stregua di quanto avveniva prima nella *Reserve Area*. Quando la scorta ai livelli inferiori inizia a scarseggiare si procederà al rifornimento spostando prodotti dall'alto verso il basso, rendendoli in questo modo prelevabili con maggiore facilità. Una volta presa la decisione di implementare questa strategia, quasi la totalità degli autori suggerisce una serie di regole a cui attenersi per non vanificare i possibili vantaggi ottenuti:

- se si esauriscono i prodotti ai livelli inferiori si procede al prelievo dei livelli superiori;
- se alcuni, ma non tutti, i prodotti sono nella zona inferiore (*Fast-Pick Area*) allora i prelievi di piccola entità dovranno essere effettuati dal basso mentre quelli di grande quantità (quantità uguale o superiore ad una unità di carico) dovranno essere effettuati dalla *Reserve Area* (livelli superiori);
- se tutti i prodotti sono nella *Fast Area* allora tutti i prelievi saranno effettuati da quella zona.

Questa seconda soluzione è tipica per i magazzini contenuti udc di grandi dimensioni mentre la scelta inizialmente esposta è preferita nel caso in cui si tratti merce dalle dimensioni più modeste.

#### ***b) Storage assignment policies***

Facendo una panoramica della letteratura scientifica di settore si può affermare che esistono diversi modi per procedere al riempimento delle scaffalature di stoccaggio.

Il modello più semplice è quello di *Assegnazione a memoria delle unità di carico nella scaffalatura*. Questo modello si basa completamente sulla capacità mnemonica delle persone. L'allocazione della merce è decisa generalmente al momento del bisogno e il ritrovamento delle merce stoccata avviene nello stesso modo, ovvero ricordando dove è stata posizionata. Tale modello, anche se arcaico, può

essere efficacemente usato in situazioni che presentano un limitato numero di locazioni di stoccaggio con una ridotta varietà dei prodotti da stoccare.

In particolare, è possibile mettere in atto quattro diversi approcci al problema: *Sistema a posizioni variabili delle unità di carico sull'intera scaffalatura (Random Storage)*, *Assegnazione più vicina (Closest Open Location Storage)*, *Assegnazione delle singole voci ad aree fisse della scaffalatura (Dedicated Storage)*, *Suddivisione delle merci in classi (Class-Based Storage o Volume-Based Storage)*. Ognuna di queste strategie trova ampie testimonianze in letteratura.

**Random storage.** Questa scelta è quella che, più di ogni altra, viene citata e analizzata dai ricercatori del settore e consiste nell'allocare ogni nuova udc (o un certo quantitativo di prodotti) in un vano di stoccaggio scelto in maniera casuale, spesso da un apposito software, tra tutti quelli disponibili in quel momento ossia tra quelli che non sono stati occupati da altri prodotti. Ognuna delle possibili collocazioni disponibili avrà quindi la stessa probabilità di essere scelta e riempita con l'udc entrante. I vantaggi di questa scelta risiedono in primo luogo in un'utilizzazione uniforme del magazzino e in secondo luogo nella capacità di limitare la possibilità di congestione del traffico all'interno dei corridoi di prelievo. Gli svantaggi nascono dalla mancanza di qualsivoglia criterio organizzativo e si concretizzano in una bassa ottimizzazione del processo di *picking*, conseguenza di percorsi di prelievo mediamente più lunghi e quindi *travel time* mediamente superiori. Sebbene questa politica risulti inferiore dal punto di vista prestazionale a tutte le altre è oggi la più diffusa rispetto a tutte le alternative possibili. Il numero di punti di stoccaggio  $m_{PV}$  in questo caso è dato da:

$$m_{PV} = \max_t \sum_{j=1}^n I_j(t) \leq m_{PF}$$

E' bene inoltre sottolineare che la gestione di questa metodologia di allocazione risulta correttamente applicabile in strutture di notevoli dimensioni unicamente mediante l'utilizzo di un sistema informatico di supporto che in tempo reale controlli quali sono gli slot disponibili e quali invece quelli occupati, monitorando contemporaneamente anche il contenuto di questi ultimi.

**Closest open location storage.** In questo caso, al contrario, la collocazione dei prodotti non sarà regolamentata da un software ma sarà lasciata in prima persona all'addetto. Seguendo questa logica verrà scelto di volta in volta il primo spazio disponibile nelle vicinanze dell'operatore e lì verrà quindi stoccata l'udc in quel momento movimentata. Il processo di allocazione avverrà quindi senza alcuna attenzione alle caratteristiche del prodotto entrante in magazzino, alla sua domanda, alla frequenza con cui questo verrà presumibilmente richiesto o ad eventuali correlazioni esistenti con ordini relativi ad altri prodotti. L'unica logica seguita dagli addetti sarà quella di collocare l'udc trasportata nello slot libero più vicino, minimizzando quindi di volta in volta il percorso necessario per compiere l'allocazione.

L'implementazione di questa logica conduce tipicamente a scaffalature piene nei dintorni del punto di I/O e gradualmente sempre meno utilizzate a mano a mano che ci si allontana da tale punto. In alcuni casi, come ad esempio quello in cui vi sia esclusiva movimentazione di unità pallettizzate, è stato dimostrato come le prestazioni medie delle due strategie appena esposte, *Random Storage* e *Closest Open Location Storage* si equivalgano.



**Dedicated storage.** Questa soluzione rappresenta un'altra interessante possibilità di allocazione delle referenze a magazzino e suggerisce di collocare ogni prodotto, o meglio ogni tipologia di prodotto, in una zona specifica del magazzino, solitamente di dimensioni molto limitate. In questo caso l'intera ricettività delle strutture di stoccaggio del magazzino verrà divisa in tante parti quante sono le referenze in esso stoccate per poi individuare la relazione referenza-insieme di vani di prelievo più appropriata. Fatto ciò, tale relazione verrà mantenuta costantemente senza mai variare. Questa scelta presenta molti spunti in letteratura, tuttavia uno dei suoi lati negativi che balza immediatamente agli occhi dei ricercatori è che, una volta individuata la relazione indissolubile referenza-insieme di vani di prelievo, questa impedirà di allocare altri prodotti in questi slot dedicati anche se in uno specifico momento questi saranno vuoti. Si crea insomma un'inefficienza di gestione e quindi una parziale riduzione della ricettività potenziale fin tanto che i vani considerati non vengono di nuovo riempiti con i prodotti a loro dedicati. L'esistenza di questa inefficienza, detta magazzino a "nido d'ape" (*Honeycombing*) fa sì che il coefficiente di utilizzazione dell'area di stoccaggio sia il più basso tra quelli di tutte le strategie presentate in questo paragrafo. Poiché lo spazio totale richiesto è pari alla somma dei massimi spazi necessari nel tempo per i diversi prodotti, di conseguenza, l'area ad essi dedicata risulterà inutilizzata nei periodi di riduzione delle scorte. Più formalmente, indicando con  $n$  il numero di prodotti e con  $I_j(t)$ ,  $j=1, \dots, n$ , il livello delle scorte (espresso in unità convenzionali di carico) di prodotto  $j$  all'istante di tempo  $t$ , il numero di punti di stoccaggio  $m_{PF}$  è dato da:

$$m_{PF} = \sum_{j=1}^n \max_t I_j(t)$$

Per dare una misura del fenomeno del magazzino a nido d'ape possiamo definire un indice in grado di esprimere l'efficienza di stoccaggio:

$$\text{Indice di Honeycombing} = \frac{\text{Numero di locazioni vuote}}{\text{Numero di locazioni totali}}$$

Più l'indice si avvicina al valore 1 e più il magazzino risente del fenomeno di "nido d'ape", con molte locazioni inutilizzate. In tal caso è necessario individuare soluzioni correttive che permettano di ridurre tale indice spingendolo fino alla condizione di ottimalità fornito dal valore nullo.

Per contro l'indubbio vantaggio della logica *Dedicated Storage* è che il rapporto univoco tra prodotto e rispettiva collocazione diventerà, poco dopo, familiare a tutti gli addetti e quindi renderà più semplici le operazioni di stoccaggio e recupero dei prodotti stessi. L'aspetto appena considerato è però destinato ad incidere sempre meno sulla scelta della politica di allocazione poiché la rapida diffusione di tecnologie come ad esempio *WMS*, *bar coding* e *RFID*, (vedi 3.7.2) garantisce una mappatura *real-time* del magazzino a costi decisamente competitivi. E' da notare tuttavia che una collocazione dedicata può aiutare quando i prodotti stoccati abbiano caratteristiche disomogenee (ad esempio per peso, volume o forma). In questo caso, ad esempio, i prodotti più pesanti potrebbero essere collocati sui livelli inferiori della scaffalatura mentre i prodotti più leggeri potrebbero trovare la loro collocazione ai livelli più alti. Inoltre, prestando attenzione alla possibile interazione tra strategie diverse, diversi autori (metti riferimenti) sottolineano come questa strategia sia spesso utilizzata in parallelo con la suddivisione dell'intero magazzino in *Forward Area* e *Reserve Area*. In particolare la parte più efficiente sarà gestita con politiche di allocazione dedicata mentre quella

riservata allo stoccaggio intensivo sarà gestita in maniera casuale. In questo modo sarà possibile mantenere i vantaggi della politica dedicata limitandone gli svantaggi poiché la maggior parte del magazzino risulterà gestita in maniera casuale e quindi gli slot inutilizzabili risulteranno essere in numero inferiore. Infine si tenga presente che una volta individuati gli slot da dedicare ad un determinato prodotto, la collocazione finale all'interno di questa area sarà casuale.

In altre parole, estremizzando la situazione descritta, se ci fosse una sola tipologia di prodotto da collocare in magazzino la politica di allocazione di tipo dedicato sarebbe del tutto equivalente ad una assegnazione *Random*.

***Class-based storage.*** Questo approccio al problema è sicuramente il più presentato e dibattuto in letteratura, nonché quello a cui si attribuiscono le migliori performance. La logica che sta dietro questa strategia è molto semplice e consiste nel suddividere i prodotti in classi basandosi su un criterio predeterminato, stabilire una classificazione (*ranking*) tra queste e allocare i prodotti a magazzino partendo dalla classe più critica, e assegnando ai vari gruppi posizioni via via meno vantaggiose. Questo metodo può essere considerato come la sintesi di due delle tre strategie sopra esposte, infatti qualora il numero di classi in cui i prodotti vengono suddivisi sia uguale al numero delle referenze si ricadrebbe nel caso di una allocazione di tipo *Dedicated Storage*. Se invece il numero di classi fosse pari a uno si ricadrebbe esattamente nel caso di allocazione casuale. Nelle applicazioni pratiche ciò che accade è che il numero di gruppi in cui vengono suddivisi i prodotti da allocare a magazzino si aggira tra 3 e 5. Tale valore non costituisce tuttavia l'argomento principale di discussione. Il fattore di maggior criticità nell'applicazione di questa politica di allocazione è infatti la scelta dell'indicatore da utilizzare per effettuare la classificazione dei prodotti. La scelta non è univoca ed è qui che il dibattito letterario è maggiormente vivace. Esaminando il panorama bibliografico attuale si può affermare che i principali criteri di discriminazione sono basati sulla valutazione dei seguenti parametri:

- *Popularity* [Jarvis and McDowell (1991); Gibson and Sharp (1992); Napolitano (1998)]: indica il numero di richieste pervenute per una determinata referenza e, in definitiva, può essere interpretato come il numero di volte che l'addetto al prelievo deve visitare le allocazioni dove una determinata referenza viene stoccata. Come indicano molte analisi del settore questa è la scelta che riscuote il maggiore successo, anche all'interno di realtà aziendali molto differenti tra loro.
- *Turnover* [Hausman et al (1976), Graves et al (1977), Schwarz et al (1978), Hwang et al (2003),]: in questo caso si utilizza come criterio discriminante per la classificazione dei prodotti la quantità totale di una specifica referenza spedita durante un dato periodo di tempo. I prodotti con il tasso di *turnover* più elevato, detti anche *fast moving products*, sono collocati nelle locazioni di stoccaggio più vicine al punto di ingresso/uscita del magazzino. Al contrario i prodotti con un tasso di *turnover* minore, detti anche *slow moving products* vengono collocati negli *slots* più lontani da tale punto, e quindi considerati planimetricamente più svantaggiati. Un problema generalmente riconosciuto nell'adozione di questo parametro come indicatore per la formazione delle classi di prodotto è rappresentato dalle possibili fluttuazioni nella domanda dei diversi prodotti, dovute ad esempio a fattori stagionali. A tali variazioni dovrebbe corrispondere un continuo cambiamento dell'allocazione dei diversi prodotti all'interno del magazzino, causando un numero elevato di

movimentazioni interne non strettamente necessarie all'evasione degli ordini ricevuti, ed un conseguente incremento dei costi. E' inoltre importante notare come questa strategia richieda un notevole sforzo dal punto di vista del reperimento di informazioni per riuscire a massimizzare i vantaggi derivanti dalla sua applicazione;

- *Volume* [Coley et al (1996), Gray et al (1992)]: questa scelta consiste nel considerare come parametro discriminante, nella formazione delle diverse classi, il prodotto tra la domanda specifica attesa in un determinato periodo di tempo e il volume occupato dalla referenza considerata. Così come sottolineato per la strategia precedente per l'implementazione di questo approccio è richiesto un notevole sforzo dal punto di vista del reperimento di informazioni;
- *Pick density* [Frazelle, E., (2002),]: consiste nell'effettuare una graduatoria delle referenze considerando il rapporto tra la popolarità della referenza e il volume occupato dalla stessa. Questo parametro in definitiva evidenzia quali sono le referenze con il maggior tasso prelievo in rapporto al volume loro dedicato nella scaffalatura.
- *COI*[Heskett (1963), (1964); Mallette and Francis (1972); Harmatuck, (1976), Kallina and Lynn (1976), Malmborg and Bhaskaran (1987), (1989), (1990); Caron et al (1998)]. Il coefficiente *COI* (*Cube per Order Index*) è ottenuto come rapporto tra il volume occupato dalla referenza in questione e il suo valore di *Popularity*. I prodotti con il minor valore di *COI*, caratterizzati quindi da una giacenza bassa rispetto alla richiesta, saranno posizionati il più vicino possibile al punto di I/O. Al contrario, ovviamente, i prodotti caratterizzati da valori dell'indice *COI* superiori saranno collocati in posizioni più svantaggiate. Il successo riscosso da questo indice nella letteratura specializzata si giustifica soprattutto attraverso le numerose dimostrazioni riguardo la sua capacità di minimizzare i costi di *picking*, tuttavia anche in questo caso lo sforzo dal punto di vista del reperimento delle informazioni necessarie alla strutturazione della strategia risulta notevole.

Una volta identificato il criterio ritenuto più adatto alla classificazione dei prodotti, e ordinate le diverse referenze in ordine crescente o decrescente rispetto all'indicatore scelto, è necessario la divisione in classi. Un modo classico di suddivisione in classi è il metodo di Pareto (vedi par. 3.8.5.6) basato sul criterio del *turnover*; (Petersen et al. 2004; Francis et al., 1992); i limiti di confine delle classi sono solitamente determinate arbitrariamente. Espressioni analitiche esplicite per i valori limite delle classi, nel caso di suddivisione in 2 o 3 classi sono in Hausman et al. (1976), Kouvelis and Papanicolaou (1995). Yang (1998) e Van den Berg e Gademann (2000) nei loro studi sostengono che per sistemi automatizzati AS/RS la suddivisione in 6 classi è quella preferibile. Rosenblatt and Eynan (1989) e Eynanand Rosenblatt (1994) descrivono una procedura per dividere i prodotti in modo ottimale in n-classi, ma con uno specifico layout e con una richiesta di spazio costante che non tiene conto del numero di classi formate. van den Berg (1996) considera un algoritmo dinamico che partiziona in modo ottimale prodotti e postazioni in ipotesi generalizzate di domanda, distanza di tragitto e layout. L'intento per tutti è quello di ridurre il tragitto nelle operazioni di stoccaggio/prelievo.

Ogni classe verrà così allocata ad un'area dedicata, all'interno della quale l'allocazione dei prodotti sarà casuale. Ovviamente la classe contenente i prodotti caratterizzati dai valori migliori dell'indice

discriminante riceverà un trattamento migliore e via via le classi inferiori verranno collocate in posizione sempre meno vantaggiose.

Una volta definite le classi, varie sono le possibilità di posizionare le classi in relazione al metodo di suddivisione dell'area di stoccaggio in un numero di zone pari al numero di classi identificate.

Solitamente vengono identificati 5 criteri fondamentali attraverso cui è possibile suddividere il magazzino. Tali logiche sono qui di seguito esposte e schematizzate (figura 2.36):

- *Diagonal* [Gibson and Sharp (1992); Tompkins et al (1996)]: questo tipo di suddivisione colloca i prodotti appartenenti ad una stessa classe su linee ciascuna formata da punti tutti equidistanti dall'I/O, poste a distanze crescenti da tale punto. Questo principio genera una suddivisione del magazzino tramite linee diagonali che separano una classe dall'altra.

Naturalmente la suddivisione cambia a seconda che l'I/O sia al centro corridoio frontale o in una dei due angoli del magazzino.

- *Within-Aisle* [Jarvis and McDowell, (1991)]: l'obiettivo di questa strategia consta nella minimizzazione dei percorsi medi lungo i corridoi principali del magazzino. Inoltre questa tecnica è forse la più semplice da implementare poiché la suddivisione nel magazzino viene effettuata utilizzando elementi già presenti nel magazzino stesso: i corridoi. In particolare, una volta individuata la collocazione del punto I/O basterà allocare la classe A nei corridoi immediatamente nelle vicinanze di tale punto e le classi inferiori in quelli più distanti. In questo modo se il punto di I/O si trova al centro del fronte del magazzino i corridoi assegnati alla classe privilegiata saranno quelli centrali mentre, se si trova in posizione angolare i corridoi scelti saranno o quelli all'estrema destra o quelli all'estrema sinistra. In letteratura, numerosi studiosi affermano che sia questa la scelta che genera il maggiore risparmio, mediamente tra il 3% e il 6% meglio rispetto al *Diagonal Storage* e tra il 9% e il 20% circa rispetto all'*Across-Aisle Storage* descritto di seguito.

- *Across-Aisle* [Petersen II and Schmenner, (1999)]: l'obiettivo di questa strategia è la minimizzazione dello spostamento lungo i corridoi di prelievo e a tal fine il magazzino viene stratificato tramite linee immaginarie perpendicolari al senso di percorrenza dei corridoi di picking. In questo modo i prodotti afferenti alle classi privilegiate verranno collocati nei primi slot di ogni scaffalatura a partire da quelli più vicino al corridoio di testa e ci si allontanerà a mano a mano che i prodotti apparterranno a classi inferiori. Implementando questa logica si otterrà quindi che all'interno di ogni scaffalatura vi siano prodotti appartenenti a tutte le classi.

Inoltre questa strategia come quella esposta subito dopo non è sensibile alla posizione dell'I/O e genererà una suddivisione equivalente sia che questo sia in centro, sia che sia collocato ai lati del magazzino;

- *Perimeter* [Petersen II and Schmenner, (1999)]: questa strategia è forse quella che trova il minor numero di conferme in letteratura e si basa sulla collocazione dei prodotti appartenenti alle classi più critiche lungo il perimetro del magazzino. A mano a mano che le classi diventano meno critiche, i restanti prodotti verranno allocati sempre più all'interno del magazzino stesso;
- *L-Shape* [Graves et al (1977); Berg, J.P. Van den, (1999)]: l'ultima strategia qui esposta rientra tra le cosiddette Rectangular-Based. Dato un numero di classi in cui suddividere le diverse referenze,

l'approccio sarà simile al Diagonal Storage ma la distanza tra il punto di I/O e i diversi slot sarà calcolata utilizzando appunto le distanze rettangolari, altrimenti dette *Chebyshev metric*, in cui il percorso da seguire per muoversi da un punto ad un altro del magazzino sarà formato unicamente da movimenti trasversali e/o longitudinali.

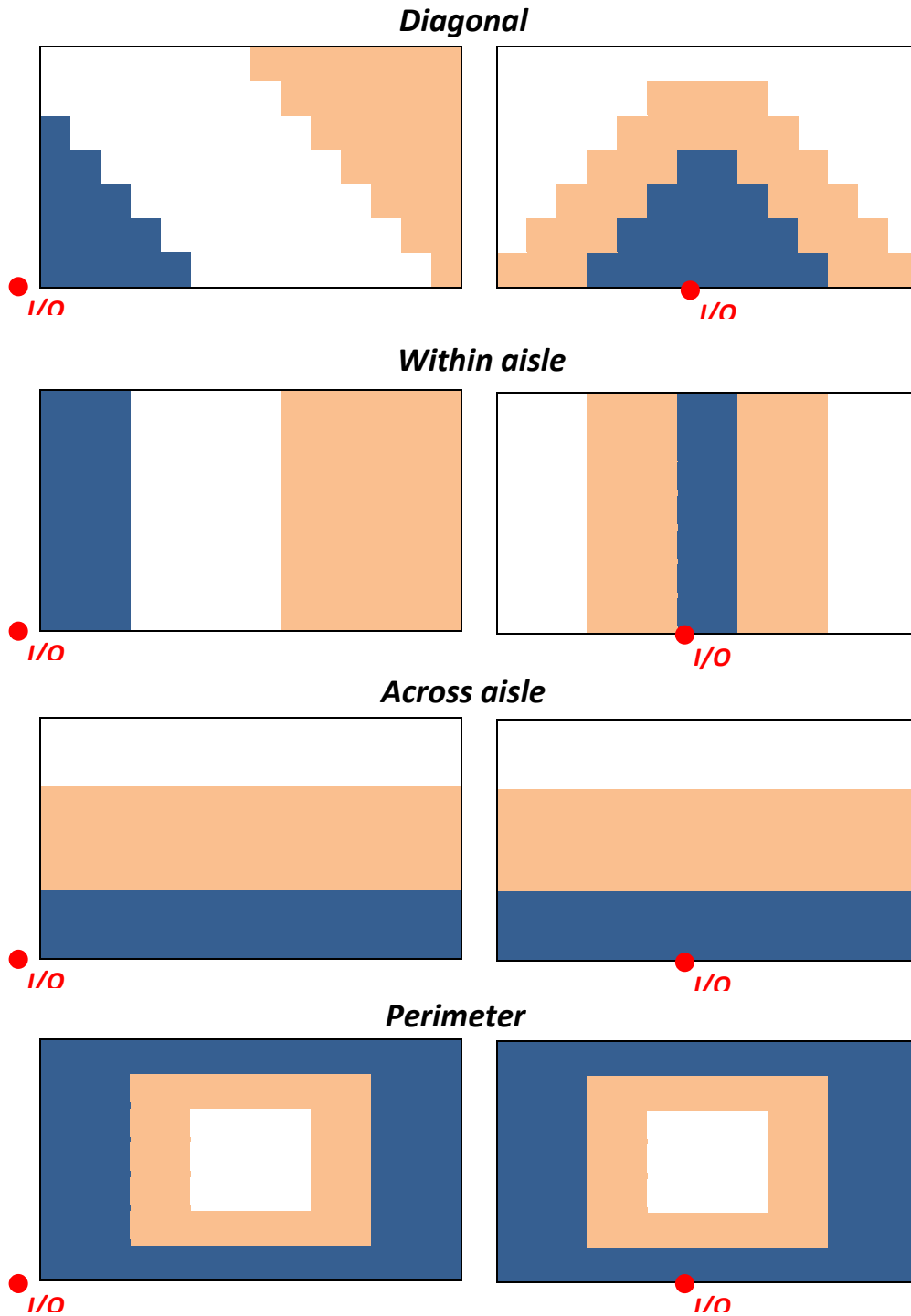
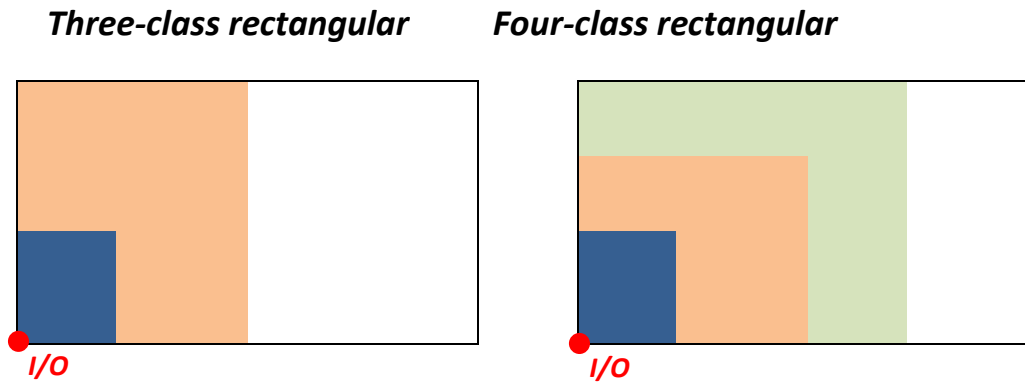


Figura 2.36 Quattro alternative suddivisioni dell'area di stoccaggio al variare della collocazione del punto di I/O.



**Figura 2.37** *Suddivisione dell'area di stoccaggio di tipo L-Shape*

In questo modo la suddivisione in classi, che ne scaturisce, non sarà più per linee oblique ma per aree rettangolari che saranno ovviamente tante quante le classi in cui si vogliono suddividere le referenze (figura 2.37). La classe più critica sarà quella che si troverà in immediato contatto con l'I/O mentre le classi "minori" si troveranno via via all'esterno di tale zona. Malgrado L-Shape e Diagonal Storage siano relativamente simili concettualmente, diverse ricerche hanno evidenziato un vantaggio in termini di picking travel time dell'ordine del 5%.

E' bene sottolineare, al termine della panoramica effettuata, come la strategia di tipo Class-Based, nonostante risulti, in prima istanza, la politica di allocazione più conveniente tra tutte quelle citate, presenta un indiscutibile e non trascurabile svantaggio.

Infatti, allocare tutti i prodotti con frequenza di movimentazione elevata in una zona il più possibile compatta significa condensare un'elevata mole di movimentazioni in un'area del magazzino ristretta rispetto all'area totale di stoccaggio. Ponendo in essere questa logica si potrebbero quindi verificare problemi di congestione del traffico interno, rendendo difficile lo svolgersi continuo e fluente delle attività.

### **c) Family grouping**

In letteratura l'allocazione di ciascuna classe all'interno dell'area dedicata è tradizionalmente casuale, poche sono le trattazioni nelle *Storage Assignment Policies* che considerano le possibili relazioni esistenti tra i diversi prodotti.

La filosofia organizzativa che invece considera la *familiarità* tra i prodotti, (*Family Grouping*) sostanzialmente consiste nel creare *clusters* di prodotti, ossia gruppi costituiti da articoli che presentano una forte correlazione o similarità tra loro.

Si possono definire vari modi di definire e misurare la similarità tra coppie di oggetti; Ballou, (1992) individua 3 criteri: *complementary*, *compatibility* e *popularity*. La complementarità si basa sulla considerazione che items ordinati insieme dovrebbero essere posizionati in prossimità. La compatibilità consente di stabilire quali items possono fattivamente essere collocati l'uno vicino all'altro. La popolarità dà risalto a quei prodotti che a partire dal più alto valore di turnover vengono posizionati in postazioni a distanza crescente dal punto di ingresso/uscita.

De Koster et al., (2007) individua due differenti approcci al problema: *Complementary-Based Method* e *Contact-Based Method*.

Il primo metodo, consiste nel creare dei *clusters* di prodotti basandosi sul grado di complementarità della domanda, analizzando ad esempio la matrice delle correlazioni tra i prodotti/clienti che indica rispettivamente con che frequenza due prodotti compaiono insieme in un ordine oppure con che frequenza due clienti distinti ordinano gli stessi prodotti. Successivamente i prodotti appartenenti allo stesso cluster vengono posizionati il più vicino possibile (Wascher 2004). Con il secondo metodo di raggruppamento in famiglie [Oudheusden et al (1988), (1992)] la formazione dei *cluster* avviene utilizzando come parametro discriminante la frequenza con cui due generici prodotti vengono “in contatto”. In particolare per una data strategia di instradamento degli addetti interna al magazzino, la frequenza di contatto tra un prodotto  $i$  e un prodotto  $j$  è definita come il numero di volte che l'addetto preleva il prodotto  $j$  immediatamente dopo  $i$  o viceversa. Poiché la scelta di routing dipende dalla locazione delle tipologie di prodotti, ciò dimostra la interconnessione tra politiche di instradamento e di posizionamento. Data la difficoltà a risolvere congiuntamente l'istanza, il metodo *Contact-Based* analizza i due approcci alternativamente.

Una volta formati i *clusters* si procederà quindi all'allocazione dei prodotti seguendo le logiche esposte nelle pagine precedenti. Si vorrà quindi collocare i prodotti maggiormente critici vicino al punto di ingresso/uscita dal magazzino. E' bene sottolineare che le decisioni in merito al percorso (*routing*) dipendono anch'esse dall'allocazione dei prodotti a magazzino e quest'ultimo aspetto, a sua volta, può essere la risultante dell'applicazione di diverse strategie organizzative come ad esempio un'allocazione di tipo *Class-Based Storage* e simultaneamente un raggruppamento in famiglie, individuando quali tra i prodotti appartenenti alla stessa classe vengono richiesti con una certa frequenza insieme e quindi collocarli in slot ravvicinati.

I sistemi fino ad ora esposti non sono gli unici ad essere utilizzati e l'adozione di uno di essi non esclude la possibilità di utilizzarne anche altri. Ciò significa che nelle aziende è opportuno valutare anche il loro mix, dedicando per alcune tipologie di prodotti (materie prime, semilavorati o prodotti finiti) un modello e per il resto dei prodotti in azienda un altro modello, scegliendo sulla base delle loro caratteristiche quello più appropriato.

### **2.6.3 Pianificazione del Layout dell'Area Ricezione**

Nella progettazione di un centro di distribuzione è molto importante oltre a dimensionare in modo ottimale le vie di accesso degli automezzi, che giungono per effettuare operazioni di carico o scarico nel centro di distribuzione, realizzare in modo ottimale l'accesso all'area di ricezione (e spedizione) attraverso le porte di attracco (vedi Figura 2.38 e Figura 2.39), denominate banchine (o baie).

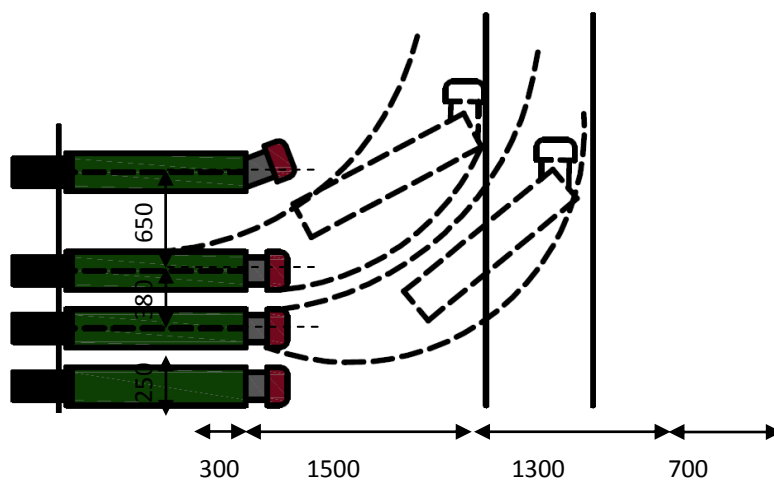


*Figura 2.38 Porte di attracco viste dall'esterno*



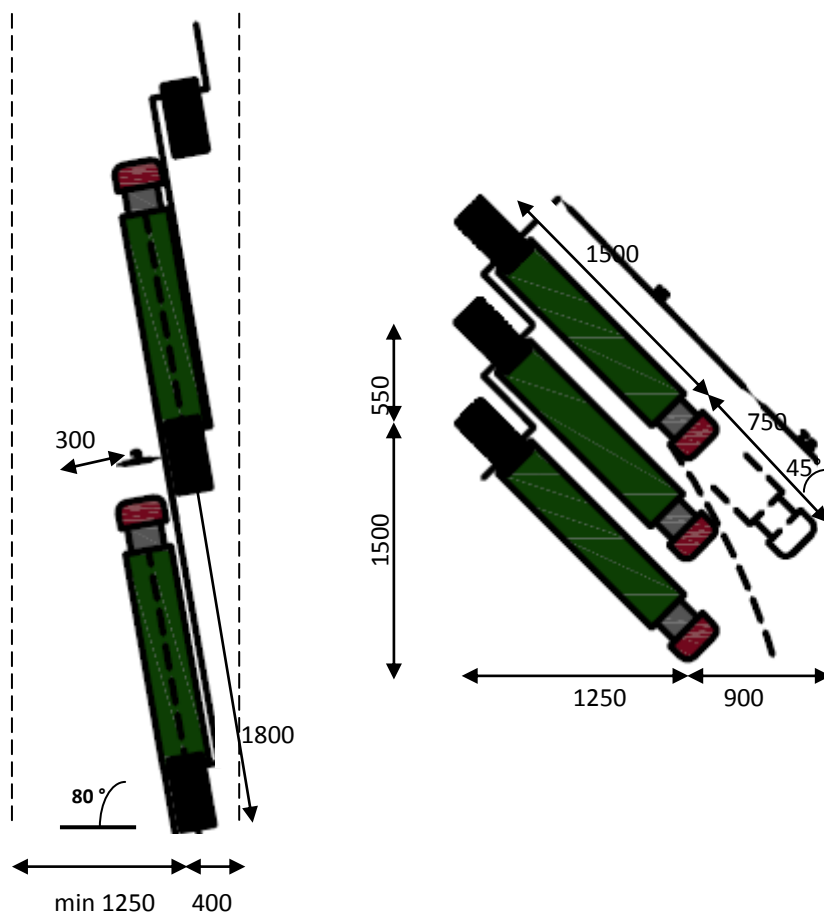
*Figura 2.39 Porta di attracco vista dall'interno*

La progettazione della tipologia di banchina di carico e scarico, che consegue dalla scelta di utilizzo di treni o automezzi per la ricezione o la movimentazione dei prodotti, viene fatta in relazione allo spazio disponibile antistante le banchine, al traffico giornaliero dei veicoli, ed alle modalità di accostamento dei veicoli alle banchine che può avvenire posteriormente, lateralmente, oppure contemporaneamente dalla fiancata e dal retro.



*Figura 2.40 Accosto dei veicoli ortogonalmente alle banchine di scarico.*





**Figura 2.41** *Accosto dei veicoli lateralmente alle banchine di scarico.*

L'accosto dei veicoli ortogonalmente alle banchine richiede un aumento della profondità dell'area di manovra e di sosta, ma massimizza il numero di veicoli contemporaneamente accostati all'area di scarico. In figura 2.40 è riportato il dimensionamento dell'area di scarico in situazioni di accosto dei veicoli ortogonale alle banchine, le misure riportate sono espresse in centimetri.

Nel caso opposto, l'accosto dei veicoli lateralmente alle banchine richiede la minima profondità dell'area di manovra e di sosta ma riduce al minimo il numero di veicoli accostabili. Delle soluzioni intermedie le più usate sono quelle con banchine a denti di sega con angolazione rispetto al fabbricato di 45° oppure 80° (figura 2.41). L'accosto di carri ferroviari può avvenire parallelamente alle banchine o con piccole angolazioni dal momento che l'accesso al pianale è solo laterale.

Le porte di attracco hanno una dimensione maggiore rispetto al vano di carico dell'automezzo (circa 2,5×2,5 m) in modo da agevolare le operazioni di movimentazione e assecondare eventuali imprecisioni di accostamento all'automezzo. Le dimensioni plausibili per la banchina, sono in genere di 2,70 m di larghezza per 2,70 di altezza. L'altezza delle banchine da terra deve portare il piano del camion alla stessa altezza del piano del magazzino. A meno che il piano dell'area di ricezione non sia sopraelevato rispetto al piazzale, è necessario allora prevedere delle discese di attracco degli automezzi. In questo caso diventa critica la pendenza, che non deve essere troppo elevata per evitare che lo spigolo superiore del vano di carico vada ad urtare contro la parete della

banchina. Per risolvere questo problema, possono essere utilizzate attrezzature (idrauliche o manuali) che provvedono ad alzare il pianale dell'automezzo, oppure si può consentire l'abbassamento temporaneo della parte della banchina prospiciente al carico, o infine utilizzare una piattaforma mobile e inclinabile che adatti l'altezza del pianale di carico all'altezza delle banchine.

La soluzione più utilizzata è quella che prevede l'utilizzo di piattaforme inclinabili mediante movimenti meccanici o idraulici, non sporgenti dalla banchina, di lunghezza variabile in funzione della variazione di altezza ottenibile.

Oltre all'adozione di sistemi di protezione quali respingenti che tengano ad adeguata distanza il rimorchio dalla banchina o sistemi di protezione a cuscino. Attorno alla porta viene infatti solitamente attaccato un sistema di protezione in plastica a cuscino d'aria che esercita una doppia funzione: da un lato evita urti e danneggiamenti della banchina durante le manovre, dall'altro "sigilla" il vano di carico del mezzo, evitando dispersioni termiche verso il magazzino durante le operazioni di carico/scarico. Le altezze saranno quindi variabili tra 80 cm ed 1,3 m; si utilizzano poi piani di carico mobili che funzionano da piani inclinati, per permettere lo scarico di tutte le tipologie di autotreni. Chiaramente le pendenze di tali pedane non dovranno essere eccessive per permettere ai carrelli utilizzati per il carico/scarico degli automezzi di effettuare le operazioni di movimentazione in piena sicurezza. Analogamente, è necessario prevedere esternamente dei sistemi di ancoraggio dei rimorchi alle banchine, evitando così incidenti derivanti dallo spostamento degli autotreni durante le fasi di carico o scarico.

Nello specifico, nella progettazione delle porte d'attracco dei treni (*rail dock*) un fattore primario da considerare è la lunghezza necessaria a garantire la movimentazione del flusso di prodotto in maniera efficiente. Le stime preliminari possono essere fatte moltiplicando la domanda media totale con la lunghezza media totale dei treni utilizzati e dividendo questa quantità per il numero di cambi macchina per giorno. Cioè,

$$L = \frac{DS}{QN}$$

Dove:

- L: lunghezza della *rail dock* necessaria;
- D: domanda giornaliera per tutti gli ordini;
- S: lunghezza del treno mediamente utilizzata;
- Q: larghezza media del prodotto situato in ogni macchina;
- N: numero di cambi macchina per giorno.

Oltre alla definizione della lunghezza della porta, occorre stabilire una serie di altre caratteristiche richieste. Se per il carico e lo scarico sono utilizzati i carrelli elevatori, si richiede per la definizione della profondità della piattaforma, un minimo di 12 piedi, per assicurare l'integrità del manovratore. Se la porta è utilizzata anche per servire ad esempio un'area allestita per il mantenimento temporaneo finché l'ordine è controllato e pallettizzato, sono richieste grandi porte profonde, fino a 40 o 50 piedi.

Se si opta per gli automezzi, per effettuare una stima sul numero *ns* di porte di attracco che devono essere presenti nella zona di ricezione può essere utilizzata la seguente formula:

$$n_s = \left[ \frac{u \times t_s}{q \times T_s} \right] \quad (2.1)$$

dove:

$u$  = unità di carico ricevute dai fornitori giornalmente;

$t_s$  = tempo medio richiesto per scaricare un automezzo;

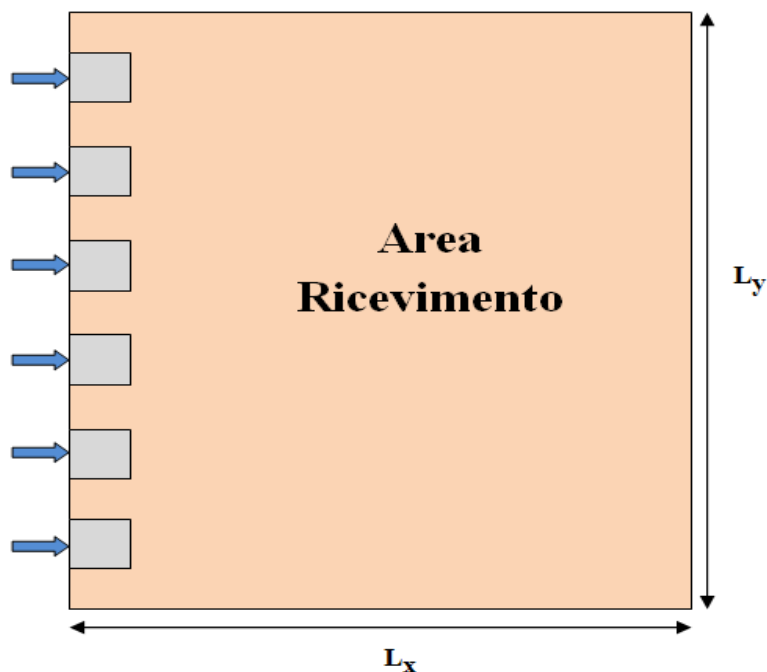
$q$  = capacità (media) degli automezzi;

$T_s$  = tempo (medio) giornaliero disponibile per le operazioni di scarico degli automezzi.

L'area di ricezione deve avere una superficie in grado di consentire il posizionamento "a terra", in attesa di essere stoccate, di tutte le unità di carico in ingresso nel centro di distribuzione.

Per effettuare una stima sulla superficie della zona di ricezione in un centro di distribuzione, si può utilizzare un metodo che parte dal presupposto che la merce venga ricevuta su *europallet* (dimensioni 120cm×80cm), che siano state calcolate il numero di porte di attracco  $n_s$  necessarie per lo scarico degli automezzi (utilizzando la 2.1), che la larghezza di una porta di attracco sia pari a 2,6m e la distanza tra due porte di attracco sia circa 2m e che il centro di distribuzione venga rifornito da autocarri che hanno un vano di carico la cui lunghezza massima è di 10,5 m, larghezza di 2,55 m e altezza 4 m, capaci di trasportare 48 unità di carico pallettizzate (non superando il peso massimo di 32 t e considerando la possibilità di poter sovrapporre due unità di carico).

anche la superficie necessaria per le manovre dei mezzi di movimentazione delle unità di carico.



**Figura 2.40 Area Ricezione**

Considerando il caso medio tra la situazione in cui tutte le porte di attracco siano contemporaneamente impegnate in operazioni di scarico di automezzi e il caso in cui non vi siano

autocarri da scaricare. Avremo che la superficie dell'area di ricezione può essere definita pari a:

$$S_r = \frac{48 \times n_s}{2} \times 1,6 \quad (2.2)$$

Dove 48 è in numero massimo di unità di carico che possono essere presenti su un autocarro,  $n_s$  è il numero di porte di attracco e 1,6 rappresenta un coefficiente correttivo, che consente di considerare la dimensione  $L_y$  dell'area di ricezione (vedi Figura 2.40) è pari a:

$$L_y = 2,6 \times n_s + 2 \times (n_s + 1) \quad (2.3)$$

Dove 2,6 è la larghezza di una porta di attracco,  $n_s$  rappresenta il numero di porte di attracco, 2 è la distanza in metri tra due porte di attracco.

E quindi la dimensione  $L_x$  è:

$$L_x = \frac{S_r}{L_y} \quad (2.4)$$

#### 2.6.4 Pianificazione del Layout dell'Area Stoccaggio

Per la determinazione della superficie dell'area di stoccaggio può essere utilizzato un metodo che parte del presupposto che l'altezza massima degli scaffali o delle pile è determinata dalla tecnologia di immagazzinamento. Pertanto la decisione consiste nella scelta dei valori per le altre due dimensioni. Si indichi con:  $m$  il numero di punti di stoccaggio previsti;  $\alpha_x, \alpha_y$ , lo spazio richiesto dal sistema di immagazzinamento rispettivamente lungo la direzione  $x$  e  $y$  per lo stoccaggio di una unità di carico;  $w_x, w_y$ , la larghezza, rispettivamente, dei corridoi paralleli all'asse  $x$  e all'asse  $y$ ;  $n_z$  il numero di punti di stoccaggio in altezza;  $v$  la velocità media di spostamento di un addetto al prelievo o immagazzinamento.

Si assumano inoltre le seguenti variabili decisionali:  $n_x$ , che rappresenta il numero di punti di stoccaggio lungo la direzione  $x$ ;  $n_y$ , che rappresenta il numero di punti di stoccaggio lungo la direzione  $y$ .

Pertanto, nell'ipotesi che un'operazione di movimentazione consista nel prelievo o nell'immagazzinamento di un unico carico e che i diversi punti di stoccaggio siano equiprobabili, il problema della scelta ottimale di  $n_x$  e  $n_y$  può formularsi come segue:

$$\text{Min } f(n_x, n_y) \quad (2.5)$$

s.a.

$$n_x, n_y, n_z \geq m \quad (2.6)$$

$$n_x, n_y \geq 0 \text{ intero} \quad (2.7)$$

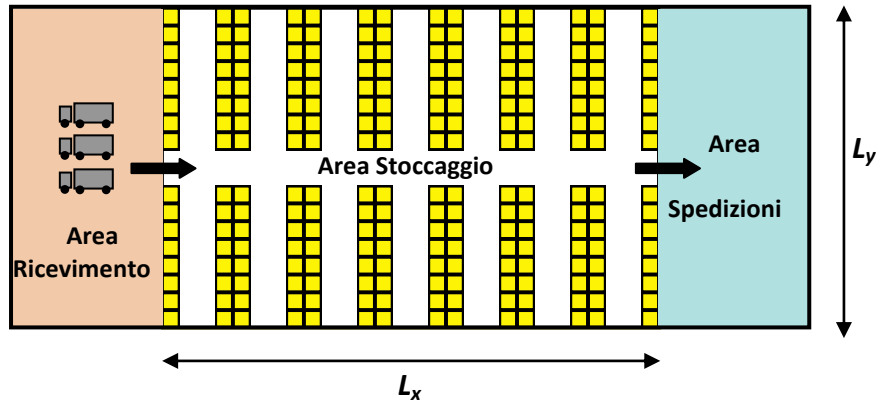
dove la funzione obiettivo esprime il tempo medio di spostamento di un addetto al prelievo/immagazzinamento, mentre il primo vincolo stabilisce che tutti gli articoli devono essere allocati.

Se il layout del centro di distribuzione è di tipo *Flow-through* e si ha una disposizione della scaffalatura nell'area di stoccaggio come rappresentato in figura 2.41 avremo che la dimensione  $L_x$  dell'area di stoccaggio è espressa dalla seguente relazione:

$$L_x = \left( \alpha_x + \frac{w_x}{2} \right) n_x \quad (2.8)$$

nella quale si è assunto, per semplicità, che  $n_x$  sia un numero pari, mentre, per la dimensione  $L_y$  si avrà:

$$L_y = \alpha_y n_y + 3w_y \quad (2.9)$$



**Figura 2.41 Layout Flow-through**

Pertanto, nell'ipotesi che un'operazione di movimentazione consista nel prelievo o nell'immagazzinamento di un unico carico e che i diversi punti di stoccaggio siano equiprobabili, quando lo spazio medio percorso è pari:

$$2 \left( \frac{L_x}{2} + \frac{L_y}{4} \right) = L_x + \frac{L_y}{2}$$

il problema (2.5)-(2.7) della scelta ottimale di  $n_x$  e  $n_y$  può formularsi come segue:

$$\text{Min} \quad \left( \alpha_x + \frac{w_x}{2} \right) \frac{n_x}{v} + \frac{\alpha_y n_y + 3w_y}{2v} \quad (2.10)$$

s.a

$$n_x n_y n_z \geq m \quad (2.11)$$

$$n_x, n_y \geq 0, \text{ intero} \quad (2.12)$$

Una soluzione sub-ottima del problema può essere ottenuta agevolmente rilassando i vincoli di interezza sulle variabili  $n_x$  e  $n_y$ . In tal caso, il primo vincolo sarà soddisfatto per uguaglianza da cui:

$$n_x = \frac{m}{n_y n_z} \quad (2.13)$$

Pertanto, il problema rilassato può essere formulato in termini della sola variabile decisionale  $n_y$  nel seguente modo:

$$\text{Min} \quad \left( \alpha_x + \frac{w_x}{2} \right) \frac{m}{n_y n_z v} + \frac{\alpha_y n_y + 3w_y}{2v} \quad (2.14)$$

s.a

$$n_y \geq 0 \quad (2.15)$$

Essendo la funzione obiettivo convessa, la soluzione  $n_y$  si trova ponendo:

$$\frac{d}{d n_y} \left( \left( \alpha_x + \frac{w_x}{2} \right) \frac{m}{n_y n_z v} + \frac{\alpha_y n_y + 3w_y}{2v} \right) \Big|_{n_y=n'_y} = 0 \quad (2.16)$$

da cui:

$$n'_y = \sqrt{\frac{2m \left( \alpha_x + \frac{w_x}{2} \right)}{\alpha_y n_z}} \quad (2.17)$$

e, sostituendo il valore così determinato nella (2.13), si ricava il valore di  $n_x$ :

$$n'_x = \sqrt{\frac{m \alpha_y}{2n_z \left( \alpha_x + \frac{w_x}{2} \right)}} \quad (2.18)$$

Di conseguenza, una soluzione sub-ottima  $(\bar{n}_x, \bar{n}_y)$  del problema si ottiene semplicemente ponendo:

$$\bar{n}_y = \lceil n'_y \rceil \quad (2.19)$$

$$\bar{n}_x = \lceil n'_x \rceil \quad (2.20)$$

e: oppure  $\bar{n}_x = \lfloor n'_x \rfloor$  - (ovvero  $\bar{n}_y = \lfloor n'_y \rfloor$ ), a condizione che il vincolo (2.11) sia comunque soddisfatto.

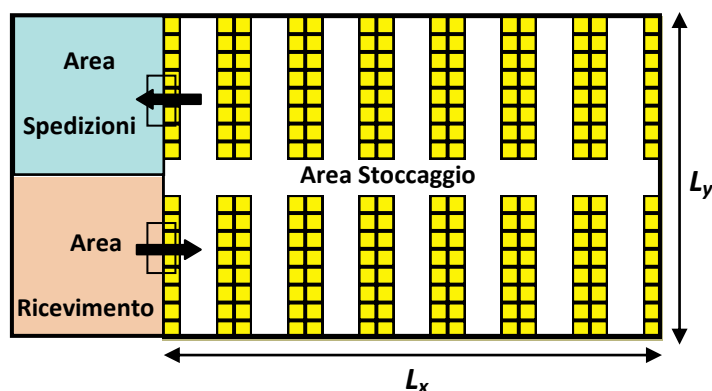


Figura 2.42 Layout U-Flow

Se il layout del centro di distribuzione è di tipo *U-Flow* e si ha una disposizione della scaffalatura nella area di stoccaggio come rappresentato in figura 2.42.

La dimensione  $L_x$  dell'area di stoccaggio è espressa dalla seguente relazione:

$$L_x = \left( \frac{m}{n_x n_z} \alpha_x + 2w_x \right) \quad (2.21)$$

mentre, per la dimensione  $L_y$  si avrà:

$$L_y = n_y \alpha_y + w_y \left( \frac{n_y}{2} + 1 \right) \quad (2.22)$$

Stando sempre all'ipotesi che un'operazione di movimentazione consista nel prelievo o nell'immagazzinamento di un unico carico e che i diversi punti di stoccaggio siano equiprobabili, il problema della scelta ottimale di  $n_x$  e  $n_y$  può formularsi come segue:

$$\text{Min} \frac{1}{v} \left( \frac{m}{n_x n_z} \alpha_x + 2w_x \right) + \frac{3}{4v} \left( n_y \alpha_y + w_y \left( \frac{n_y}{2} + 1 \right) \right) \quad (2.23)$$

s.a

$$n_x n_y n_z \geq m \quad (2.24)$$

$$n_x, n_y \geq 0, \quad (2.25)$$

dove la funzione obiettivo esprime il tempo medio di spostamento di un addetto al prelievo/immagazzinamento, lo spazio medio percorso è infatti pari

$$L_x + \frac{3L_y}{4}.$$

Una soluzione sub-ottima del problema può essere ottenuta agevolmente rilassando i vincoli di interezza sulle variabili  $n_x$  e  $n_y$  utilizzando la (2.13).

Pertanto, il problema rilassato può essere formulato in termini della sola variabile decisionale  $n_y$  nel seguente modo:

$$\text{Min} \frac{1}{v} \left( \frac{m}{n_y n_z} \alpha_x + 2w_x \right) + \frac{3}{4v} \left( \alpha_y n_y + w_y \left( \frac{n_y}{2} + 1 \right) \right) \quad (2.26)$$

s.a

$$n_y \geq 0 \quad (2.27)$$

Essendo la funzione obiettivo convessa, la soluzione  $n_y$  si trova ponendo:

$$\frac{d}{d n_y} \left( \frac{1}{v} \left( \frac{m}{n_y n_z} \alpha_x + 2w_x \right) + \frac{3}{4v} \left( \alpha_y n_y + w_y \left( \frac{n_y}{2} + 1 \right) \right) \right) \Big|_{n_y=n'_y} = 0 \quad (2.28)$$

da cui:

$$n'_y = \sqrt{\frac{4m\alpha_x}{3n_z \left( \alpha_y + \frac{w_y}{2} \right)}} \quad (2.29)$$

e, sostituendo il valore così determinato nella (2.13), si ricava il valore di  $n_x$ :

$$n'_x = \sqrt{\frac{3m}{4n_z\alpha_x} \left( \alpha_y + \frac{w_y}{2} \right)} \quad (2.30)$$

Di conseguenza, una soluzione sub-ottima  $(\overline{n_x}, \overline{n_y})$  del problema si ottiene semplicemente ponendo:

$$\overline{n_y} = \lfloor n'_y \rfloor \quad (2.31)$$

$$\overline{n_x} = \lfloor n'_x \rfloor \quad (2.32)$$

e: oppure  $\overline{n_x} = \lfloor n'_x \rfloor$  (ovvero  $\overline{n_y} = \lfloor n'_y \rfloor$ ), a condizione che il vincolo (2.24) sia comunque soddisfatto.

### 2.6.5 Pianificazione del Layout dell'Area Spedizione

Il dimensionamento dell'area di ricezione deve tenere conto di fattori in gran parte analoghi a quelli utilizzati per dimensionare l'area di ricezione:

- caratteristiche fisiche dei materiali, soprattutto in termini di voluminosità;
- deperibilità dei materiali (in particolare per le celle frigorifere);
- frequenza partenze;
- possibilità di effettuare procedure di controllo, normalmente effettuate con l'ausilio di lettori di codici a barre, atte a verificare la completezza e correttezza della merce da spedire.

In generale le procedure di spedizione sono più semplici di quelle di identificazione, poiché non prevedono tra l'altro, aree e funzioni complesse quali il controllo di qualità.

Occorre però considerare che le unità di carico in spedizione, se composte anche solo in parte con operazioni di *picking*, hanno normalmente dimensioni (in particolare l'altezza) minori delle unità di carico in ingresso.

Nella definizione del layout di quest'area si devono valutare attentamente le molte variabili che la possono influenzare in relazione alla presenza o meno di strutture e materiali che sono complementari alla spedizione, quali ad esempi materiali di imballaggio, linee di confezionamento dei materiali, linee di etichettatura, ecc., oltre naturalmente alle aree di sosta dei materiali allestiti in attesa di spedizione.

Per effettuare una stima sul numero di porte di attracco che devono essere presenti nella zona di spedizione può essere utilizzata la seguente formula:



$$n_c = \left\lceil \frac{u \times t_c}{q \times T_c} \right\rceil \quad (2.34)$$

Dove:

$u$  = unità di carico inviate ai clienti giornalmente;

$t_c$  = tempo medio richiesto per caricare un automezzo;

$q$  = capacità media dell'automezzo;

$T_c$  = tempo giornaliero disponibile per le operazioni di caricamento degli automezzi.

Per la determinazione della superficie area di spedizione (vedi Figura 2.43) si considera, come per l'area di ricezione, che la merce venga inviata ai clienti utilizzando *europallet* (dimensioni 120cm×80cm), che siano state calcolate il numero di porte di attracco  $n_c$  necessarie per il carico degli automezzi (utilizzando la 2.34), che la larghezza di una porta di attracco sia pari a 2,6 metri e la distanza tra due porte di attracco sia circa 2 metri e che il centro di distribuzione invii la merce ai clienti utilizzando autocarri che hanno un vano di carico la cui lunghezza massima è di 10,5 metri, larghezza di 2,55 metri e altezza 4 metri, capaci di trasportare 48 unità di carico pallettizzate (non superando il peso massimo di 32 tonnellate e considerando la possibilità di poter sovrapporre due unità di carico).

Abbiamo quindi che, analogamente al calcolo fatto nel caso dell'area di ricezione, che la dimensione  $L_y$  è pari a:

$$L_y = 2,6 \times n_c + 2 \times (n_c + 1) \quad (2.35)$$

Per quanto riguarda il calcolo della superficie e di  $L_x$  dobbiamo partire dal presupposto che la zona di spedizione, rispetto all'area di ricezione, può essere più piccola poiché essendo le spedizioni sotto il diretto controllo del centro di distribuzione, è possibile una loro pianificazione che limiti la congestione del traffico dei prodotti in uscita.

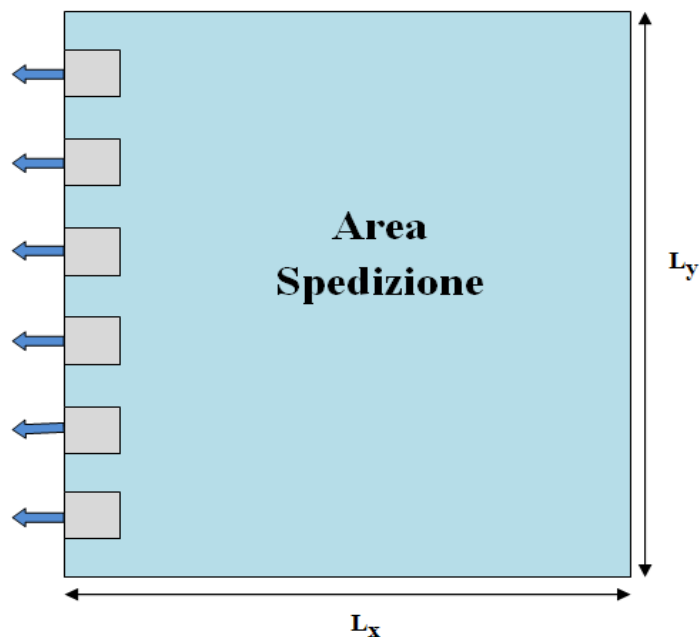


Figura 2.43 Area Spedizione

Se prendiamo in considerazione un centro di distribuzione con un layout di tipo *Flow-through* (in cui l'area di ricezione e l'area di spedizione si trovano su lati opposti della costruzione) allora il dimensionamento della superficie dell'area di spedizione non sarà influenzato dalle dimensioni dell'area di ricezione. Invece se il layout è di tipo *U-flow* (in cui l'area di ricezione e l'area di spedizione sono localizzate sullo stesso lato del centro di distribuzione) una volta calcolata la dimensione  $L_x$  dell'area di ricezione questa, visto la contiguità tra le due aree, varrà anche per l'area di spedizione (figura 2.42).

Quindi se abbiamo un layout di tipo *Flow-through* (vedi Figura 2.41) per calcolare la superficie si può utilizzare la formula:

$$S_r = \frac{48 \times n_o}{2} \times 1,2 \quad (2.36)$$

Dove 1,2 rappresenta un coefficiente correttivo, che è minore rispetto a quello utilizzato per l'area di ricezione poiché come già detto precedentemente, il centro di distribuzione può pianificare il traffico di merce in uscita. Questa formula considera il caso medio tra la possibilità che tutte le porte di attracco siano impegnate per il carico di autocarri che possono contenere massimo 48 europallet e il caso in cui non ci sia alcun camion impegnato nelle fasi di carico della merce.

Avendo la superficie, la dimensione  $L_x$  può essere agevolmente calcolata utilizzando la seguente formula:

$$L_x = \frac{S_r}{L_y} \quad (2.37)$$

Se abbiamo invece un layout di tipo *U-Flow*, la dimensione di  $L_x$  per l'area di spedizione sarà uguale alla dimensione  $L_x$  dell'area di ricezione. Quindi la superficie sarà:

$$S_r = L_x \times L_y \quad (2.38)$$

## 2.7 Modelli di calcolo per la pianificazione automatica del layout

La soluzione del problema del *layout* può essere affrontato facendo ricorso ad un approccio numerico, definendo, cioè:

- la modalità di rappresentazione del problema (costruzione del modello matematico atto a riprodurre il sistema fisico reale);
- la modalità di risoluzione del modello formulato.

Esistono quattro principali modalità di formulazione matematica del problema di determinazione del layout:

1. Modello QAP (*Quadratic Assignment Problem*).
2. Modelli di Programmazione Lineare Intera.

3. Rappresentazione basata sulla Teoria dei Grafi.

4. Modello DAP (*Dymanic Layout Planning*).

L'obiettivo che ci si prefigge di raggiungere, formulando modelli e progettando algoritmi di soluzione del problema di allocazione della merce, è la massimizzazione dell'efficienza nei flussi di materiali movimentati e nelle relazioni organizzative ed informative fra le diverse aree produttive e logistiche. Si vuole cioè ottimizzare una funzione obiettivo che rappresenta:

- a. sia gli aspetti quantitativi legati alla progettazione del layout (flussi di materiali, distanza tra i punti di stoccaggio, costi differenziali tra le diverse soluzioni);
- b. sia gli aspetti qualitativi relativi all'importanza delle relazioni e della vicinanza tra reparti.

Questa duplice impostazione della funzione obiettivo si traduce in una minimizzazione dei costi totali di *material handling*; ed una massimizzazione delle relazioni tra attività/reparti.

Si definiscono i seguenti parametri di funzione obiettivo:

1.  $f_{ij}$  flusso di materiali tra due elementi di layout ( $ij$ );
2.  $c_{ij}$  costo unitario delle movimentazioni tra due elementi di layout ( $ij$ );
3.  $r_{ij}$  importanza della relazione di vicinanza tra due elementi di layout ( $ij$ ).

I costi unitari di *material handling*  $c_{ij}$  nel trasporto di due elementi di layout ( $ij$ ) rappresentano la principale tipologia di costo differenziale, al variare delle soluzioni scelte nella progettazione integrata di layout e sistema di movimentazione. Si misurano tipicamente in valori monetari per unità trasportata di prodotto e per unità lunghezza.

Il QAP, *Quadratic Assignment Problem*, è il modello più noto nell'ambito del problema del layout. Si tratta di un modello di programmazione intera e quadratica (non lineare).

Ipotesi:

- $N$  elementi di layout devono essere inseriti all'interno del magazzino. Ogni elemento di layout può essere considerato come una determinata zona entro cui dovranno essere allocati i prodotti di tipo  $i$ .
- $L$  locazioni ammissibili disposte sulla superficie totale disponibile sono assegnate, aventi geometria identica e non differenziale. Ogni locazione  $k$ -esima può contenere al più un qualsiasi prodotto  $i$ -esimo. Ogni locazione ammissibile rappresenta per noi un punto di stoccaggio.
- i percorsi di collegamento fra due qualsiasi locazioni  $k$  e  $w$  sono noti e mappati.
- la tecnologia di movimentazione è assegnata: i costi di trasporto sono noti e linearmente proporzionali alle distanze fra le locazioni e alle quantità di prodotto trasportate.
- Il modello ha come obiettivo la minimizzazione del costo totale di trasporto fra le diverse locazioni "attive" di layout.

Parametri:

- $N$ : numero di elementi di layout da allocare;
- $L$ : numero di locazioni disponibili;
- $d_{kw}$  distanza tra due locazioni ( $k=1, \dots, L; w=1, \dots, L$ );
- $f_{ij}$  flussi di materiali tra due elementi di layout;
- $c_{kw}$ : costo di trasporto per unità di prodotto e per unità di lunghezze fra due locazioni  $k$  e  $w$ .

Variabili:

- $x_{ik}$  variabile binaria indicante l'assegnamento del prodotto  $i$ -esimo alla locazione  $k$ -esima ( $x_{ik} = 1$  se  $i$  è assegnato a  $k$ ;  $x_{ik} = 0$  altrimenti) ( $i=1, \dots, N$ ;  $k=1, \dots, L$ ).

Il modello prevede la minimizzazione della funzione obiettivo costo totale di trasporto tra le locazioni attive:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^L \sum_{w=1}^L c_{kw} * f_{ij} * d_{kw} * x_{ik} * x_{jw}$$

Se, in una soluzione ammissibile, l'elemento di layout  $i$  è assegnato alla locazione  $k$  ( $x_{ik} = 1$ ) e, contemporaneamente, l'elemento  $j$  è assegnato alla locazione  $w$  ( $x_{jw}=1$ ), si ha che il flusso sei prodotti  $f_{ij}$  deve essere trasportato, al costo unitario  $c_{kw}$ , lungo il percorso  $d_{kw}$  (percorso divenuto attivo in quanto si verifica che  $x_{ik} * x_{jw} = 1$ ).

*Vincolo 1:* Ogni elemento di layout deve essere assegnato ad una sola locazione  $k$ :

$$\sum_{k=1}^L x_{ik} = 1 \quad \forall i=1, \dots, N$$

*Vincolo 2:* Al massimo un elemento di layout  $i$  può essere assegnato ad una locazione  $k$ :

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

*Vincolo 3:* Condizione di binarietà delle variabili  $x_{ik}: x_{ik} \in \{0; 1\}$  per ogni reparto  $i$ , per ogni locazione  $k$ .

### 2.7.1 Programmi di calcolo per la pianificazione automatica del layout

Programmi di calcolo sono stati sviluppati nel recente passato per la generazione di diverse configurazioni alternative, a partire da una configurazione iniziale o dal diagramma dei rapporti tra gli spazi, per arrivare quindi, alla selezione del layout ottimale, prefissati gli obiettivi da ottenere.

Esistono algoritmi:

1. Costruttivi: costruiscono una soluzione del layout *ex novo*; consistono nella successiva selezione e posizionamento delle attività o reparti fino a che si raggiunge un progetto di layout possibile. Esempi di algoritmi costruttivi sono CORELAP (*COMputerized RELationship LAY-out Planning*) e ALDEP (*Automated Lay-out Design Program*).
2. Migliorativi: Partono da un layout iniziale completo e scambiano ripetutamente le attività (o reparti) in modo da migliorare il progetto del layout. Un esempio di algoritmo migliorativo è CRAFT (*Computerized Relative Allocation of Facilities Technique*).
3. Ibridi: costruiscono una soluzione iniziale e poi la migliorano applicando un algoritmo migliorativo. Esempio è FLAC (*Facility Layout by Analysis of Clusters*).

**Il Programma ALDEP** (Seehof e Evans, 1967). Si fornisce in ingresso al programma una tabella con i collegamenti fra i centri di lavoro e le caratteristiche dimensionali di ciascun impianto (o una postazione di lavoro in genere). L'algoritmo seleziona casualmente un impianto e lo riporta (in scala) su un disegno assegnandolo all'angolo superiore sinistro del layout. L'impianto successivo considerato è quello che ha maggior numero di collegamenti con il primo già assegnato, e lo seleziona per l'assegnamento. Se più di un impianto soddisfa questa condizione, allora l'algoritmo

ne seleziona uno tra questi, casualmente. Se nessun impianto verifica tale condizione allora il secondo impianto da assegnare è selezionato a caso. Tale procedura è ripetuta finché tutti gli impianti non sono stati assegnati. L'impianto da assegnare al  $n$ -esimo step dipende dal grado di legame con l'impianto assegnato allo step  $n-1$ .

**Il Programma CORELAP** (Lee e Moore, 1967). Definito il *total closeness rating* come la somma del valore numerico che definisce le relazioni tra l'impianto  $i$ -esimo e tutti gli altri, l'algoritmo individua il centro di lavoro interessato da un maggior numero di collegamenti, lo dispone con forma e dimensione predeterminati al centro del layout; quindi, in base al numero dei collegamenti, individua il centro di lavoro che è opportuno disporre vicino al primo e poi via via gli altri. Analogamente l'algoritmo procede in successione con i centri di lavoro che hanno più rapporti con quelli già sistemati.

**Il programma CRAFT** (Amour e Buffa, 1963; Buffa et al., 1964). Il criterio impiegato dal programma è la minimizzazione del costo del trasporto interno dei materiali, supposto tale costo come una funzione lineare della distanza percorsa. Questo criterio è il più impiegato quando nel progetto del layout il fattore più significativo è il flusso dei materiali.

CRAFT cerca il progetto ottimale introducendo nel layout i miglioramenti in maniera sequenziale: prima valuta il layout assegnato, poi valuta il miglioramento prodotto eseguendo scambi di coppie di reparti, quindi si esegue lo scambio che produce il miglioramento più elevato. Il processo continua finché non si può più ottenere alcun miglioramento.

Da notare che per lo scambio di ubicazione si considerano solo coppie di reparti con bordi in comune o aventi la stessa area.

I dati di input sono:

1. Layout iniziale (numero ed area dei reparti oltre alla loro posizione relativa);
2. Dati sul flusso dei materiali;
3. Dati sui costi unitari di trasporto;
4. Numero ed ubicazione dei reparti collocati a priori in posizione fissa e non modificabile.

I dati di cui al punto 2 sono forniti tramite un foglio origine-destinazione, in cui i dati di flusso sono espressi in termini di numero di viaggi ( $z$ ) effettuati nell'unità di tempo fra coppie di reparti, mentre i dati di costo si riferiscono al costo di trasporto del materiale per unità di percorso ( $c$ ) fra coppie di reparti; poiché la movimentazione dei materiali può essere eseguita con una varietà di mezzi di trasporto diversi, gli elementi di costo ( $c$ ) non sono necessariamente gli stessi per ogni coppia di reparti.

Indicando con  $k$  una generica coppia di reparti, interessati da un flusso bidirezionale di materiali, si ha:

$z_k$  [viaggi/anno];

$c_k$  [€/km];

$w_k = c_k * z_k$  [€/anno Km]

$d_k$  [Km] distanza tra i reparti

$C_k = w_k * d_k = c_k * z_k * d_k$  [€/anno]

Essendo  $C_k$  il costo annuale dei trasporti bidirezionali fra la generica coppia di reparti. Si indica con:

$$C = \sum_k C_k = \sum_k (c * z * d)_k$$

il costo totale di trasporto annuale per tutte le possibili coppie di reparti costituenti il layout interessate da flussi bidirezionali ovvero scambi di materiale.

Se si usano trasportatori continui il costo è considerato proporzionale alla lunghezza del trasportatore e non una funzione lineare del flusso, quindi  $w$  esprime il costo per unità di tempo e per unità di lunghezza del trasportatore, in accordo con la scala del layout.

**Il programma FLAC** (Scriabin e Vergin, 1985). L'algoritmo è basato su tre livelli. In prima istanza, gli impianti sono localizzati in modo tale che le distanze tra essi siano inversamente legate al flusso. In seconda istanza l'assegnamento avviene tenendo anche conto di vincoli di spazio. In terza istanza l'assegnamento avviene con una procedura più fine che aggiusta l'assegnamento con una funzione di scambio di ubicazione tipo quella adottata anche dal CRAFT.

## Capitolo 3 – Le decisioni tattiche in un Centro di Distribuzione

### 3.1 Introduzione

Le dimensioni, i pesi, le caratteristiche fisiche dei prodotti, le loro eventuali specifiche condizioni di conservazione influenzano direttamente le dimensioni degli imballaggi e, conseguentemente, la tipologia delle strutture di posizionamento ed i mezzi di movimentazione, che a loro volta si ripercuotono sulle dimensioni stesse del magazzino e su tutto il sistema distributivo. L'organizzazione di un centro di distribuzione necessita quindi di tutta una serie di decisioni tattiche, o scelte di medio periodo, che si fondano usualmente su previsioni effettuate con cadenza annuale, stagionale o mensile. Obiettivi delle previsioni sono: stimare la probabilità di occorrenza di eventi futuri (ad esempio, domanda di un certo prodotto superiore ad un dato valore, assegnazione di una commessa); determinare la collocazione temporale di eventi futuri (ad esempio, la ricezione di un ordine); predire l'entità di variabili casuali che si potranno osservare nel futuro (ad esempio, l'impatto di una azione promozionale) ecc..

Si tratta quindi di decisioni, finalizzate ad assicurare i livelli previsti di servizio ai clienti ad un costo proporzionato e costantemente monitorato, la cui efficacia è da valutare *in itinere*, e che, se necessario e valutato il rapporto costo/beneficio, possono essere riconsiderate.

In particolare, in questo capitolo, saranno illustrate alcune delle decisioni tattiche, indispensabili per il corretto funzionamento di un centro di distribuzione, connesse al *Material Handling*. Con questo termine, secondo la definizione data dal *Material Handling Industry of America*, (MHIA, 1996) si intende l'insieme delle attività di movimentazione, immagazzinamento, protezione e controllo di materiali per tutto il processo di produzione e distribuzione, comprese le fasi di utilizzo e smaltimento.

Al sistema di *material handling* sono dunque affidate tutte le operazioni connesse con i flussi di materiali negli impianti di produzione e in quelli di stoccaggio, che costituiscono i "nodi" nella rete logistica. Il sistema di *material handling* costituisce pertanto lo strumento di integrazione fra le diverse aree produttive. A livello operativo, l'*handling* può essere identificato in tre attività principali: *movimentazione*, *stoccaggio* e *controllo* dei materiali.

A livello gestionale si effettua una differenziazione: *handling* di stazione operativa, di reparto, di sistema produttivo.

Ulteriore differenziazione può essere fatta in base al tipo di materiale trattato: materiali fluidi, sfusi (*bulk materials*), colli o carichi unitari (*unit loads*). Ciascun tipo di materiale richiede specifiche soluzioni impiantistiche: per i fluidi, il trasporto avviene con tubazioni e macchine specifiche, in genere pneumatiche; il loro dimensionamento e, più in generale, il loro utilizzo negli stabilimenti seguono principi progettuali indipendenti dalle tematiche che sono direttamente connesse alla

logistica industriale. I sistemi di *handling* per materiali sfusi comprendono elevatori a tazze, trasportatori a nastro, cloclee.

Tuttavia, nel proseguo si farà riferimento specificatamente ai sistemi di handling per carichi unitarizzabili, dal momento che le dinamiche progettuali sono direttamente connesse alla determinazione del layout dell'impianto.

La gestione delle attività di *handling* richiede, infatti, la soluzione di problemi decisionali legati sia alle tecnologie di movimentazione che alle metodologie di organizzazione dei flussi operativi dei prodotti in lavorazione. E la conformazione dello stabilimento, la natura dei materiali da movimentare, il layout degli impianti, sono tra gli aspetti da considerare per risolvere tali problemi.

Le componenti del sistema di *material handling* sono: i sistemi di imballaggio, di trasporto (sia interno che esterno), di immagazzinamento, di identificazione e tracciabilità.

### **3.2 La movimentazione dei materiali**

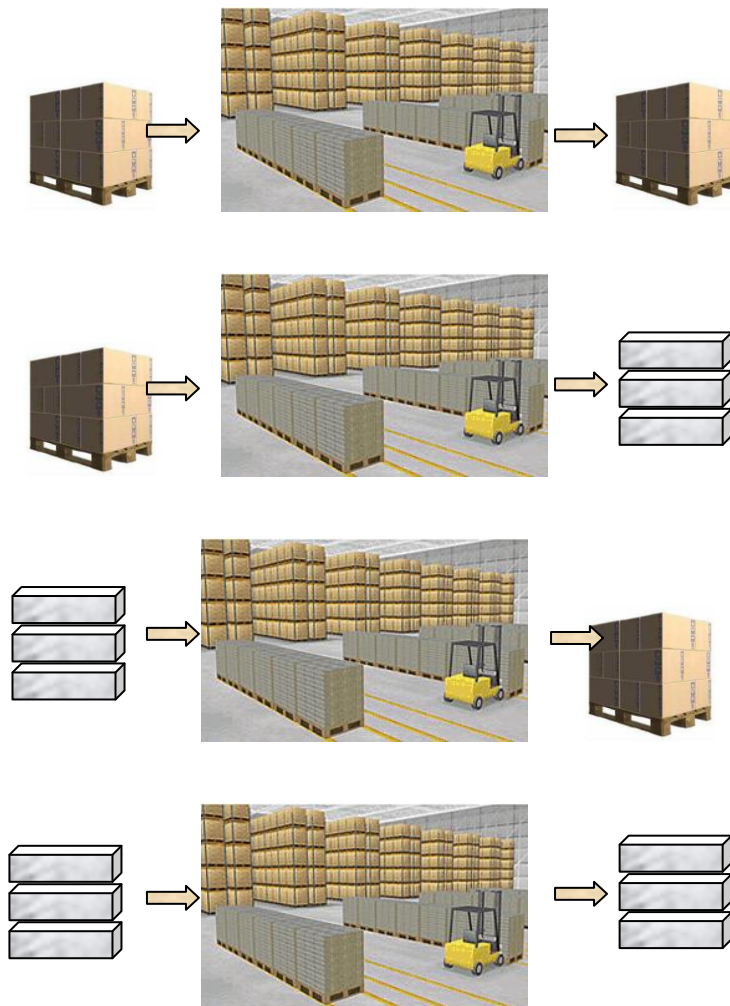
Per ciò che riguarda le modalità di arrivo e partenza della merce, possiamo definire, indipendentemente dal tipo di prodotto, 4 tipi di movimentazione fisica, che comprende sia trasporti esterni che interni:

- prodotto in ingresso consolidato in udc intere (ad esempio arrivo di pallet o contenitori interi) che ripartono ancora in udc intere;
- prodotto in ingresso consolidato in udc intere che vengono frazionate o spezzate per esigenze di produzione o di trasporti o di ordini (è il caso di magazzini in cui arrivano materie prime che provenienti da fornitori vanno poi ad alimentare specifiche aree di produzione);
- prodotto che entra in udc frazionate, ad esempio provenienti da diverse linee di produzione, che poi vengono assemblati in udc intere per la spedizione di prodotti ai clienti;
- prodotto che entra in udc frazionate e che riparte ancora come udc frazionate.

L'operazione di frazionamento richiede chiaramente, una notevole movimentazione del materiale all'interno del magazzino, soprattutto di tipo manuale.

Per ciò che riguarda la movimentazione esterna, le caratteristiche dei mezzi di trasporto costituiscono normalmente vincoli di cui tener conto nel processo di dimensionamento dell'unità di carico. Le principali alternative riguardano: il modo di trasporto (ferrovia, autotrasporto, container ecc.); le dimensioni del vano di carico e portata del mezzo utilizzato; se il carico è "pallettizzato" o meno. Mentre le scelte da effettuare nella fase di carico riguardano il numero e la disposizione delle unità di carico che costituiscono il carico di trasporto, che devono ottimizzare l'utilizzazione superficiale e volumetrica del mezzo utilizzato. Le dimensioni della superficie di appoggio dell'unità di carico deve consentire la piena utilizzazione, in larghezza ed in lunghezza, della superficie di carico disponibile sul veicolo. Allo stesso modo l'altezza delle unità di carico deve consentire, laddove possibile, la piena utilizzazione dell'altezza utile di carico.





**Figura 3.1** Modalità di ingresso ed uscita dell'unità di carico.

### 3.2.1 I principi base della movimentazione

L'efficacia del sistema di movimentazione dei materiali può essere valutato attraverso la più o meno completa adesione ai *10 principi base del material handling* (MHIA, 1996).

1. **Principio di pianificazione.** Il sistema di *material handling* deve essere il risultato di un processo di pianificazione integrato in cui le necessità, gli obiettivi di *performance* e le specifiche funzionali dei metodi proposti sono definiti a priori.
2. **Principio di standardizzazione.** I metodi, le attrezzature, le procedure di controllo, il software devono essere standardizzati, senza rinunciare alla necessaria flessibilità, agli obiettivi di performance fissati, alla modularità né alla produttività.
3. **Principio del minimo lavoro.** Il lavoro di movimentazione deve essere minimizzato, senza rinunciare alla produttività ed al livello di servizio richiesti dalle operazioni. I processi devono quindi, essere semplificati riducendo, abbreviando, combinando o eliminando spostamenti

inessenziali; la distanza percorsa durante il trasporto del materiale deve risultare in definitiva la minima possibile ed il tragitto dal punto origine al punto destinazione il più possibile lineare.

Dove possibile, deve essere sfruttata il più possibile la forza di gravità per movimentare la merce sempre nel rispetto delle norme di sicurezza e evitando danneggiamenti del prodotto.

- 4. Principio di ergonomia.** Nella movimentazione dei materiali riveste un ruolo fondamentale, sia nella fase di progettazione sia in quella di gestione dei sistemi, l'ergonomia delle operazioni: nel senso che le operazioni da eseguire devono necessariamente adattarsi alle esigenze anatomiche, fisiologiche e psicologiche degli operatori al fine di assicurarne la sicurezza, ridurre il disagio e l'affaticamento e se possibile aumentando l'efficienza.
- 5. Principio del carico unitario.** L'unità di carico deve essere opportunamente dimensionata e configurata in modo tale da ottimizzare il flusso di materiali. I singoli materiali da movimentare vengono quindi aggregati in opportune unità base di carico di dimensioni standardizzate (pallet, container).

Quando è possibile conviene trasportare unità intere di carico ed evitare carichi parziali dei veicoli.

- 6. Principio dell'utilizzazione dello spazio.** Un uso efficace ed efficiente deve essere fatto dello spazio. Nell'area di stoccaggio l'obiettivo di massimizzare la densità di stoccaggio deve bilanciarsi con l'accessibilità e la selettività del materiale, ma l'utilizzo anche dello spazio "aereo" deve essere considerata una possibilità.
- 7. Principio dei sistemi integrati.** Il sistema di movimentazione e l'attività di stoccaggio devono essere pienamente integrate a formare un sistema operativo che coordina ricezione, spedizione, ispezione, immagazzinamento, produzione e assemblaggio, preparazione ordini.
- 8. Principio di automazione.** Le operazioni di movimentazione devono essere il più possibile meccanizzate e/o automatizzate al fine di aumentare l'efficienza, diminuire i costi ed eliminare al massimo lavori ripetitivi e/o potenzialmente pericolosi.
- 9. Principio ambientale.** L'impatto ambientale ed i consumi energetici devono essere considerati criteri decisi nella scelta di attrezzature e sistemi di movimentazione.
- 10. Principio di costo del ciclo di vita.** L'analisi economica dei costi deve tenere in conto l'intero ciclo di vita del sistema di movimentazione dei materiali, che include tutto il flusso di denaro necessario dalla pianificazione del sistema di movimentazione, alla stima dei costi di mantenimento delle attrezzature fino ad una pianificazione a lungo termine della sostituzione delle attrezzature diventate obsolete.

### **3.3. Il dimensionamento dell'unità di carico**

Il dimensionamento dell'unità di base per la movimentazione (unità di carico) costituisce il risultato di una catena di scelte progettuali che, a partire dalla determinazione delle caratteristiche della confezione di vendita (imballo) destinata al consumatore finale arriva all'ottimizzazione della saturazione degli automezzi utilizzati nella distribuzione fisica dei prodotti.

Partiamo quindi per un'analisi del processo di dimensionamento dell'unità di carico dalla sua prima fase: l'imballo. Le funzioni dell'imballo nella logistica sono legate alla produzione, ma, in particolare, anche allo stoccaggio, alla movimentazione ed alle fasi di distribuzione fino al consumatore o utilizzatore finale.

In generale, in un centro di distribuzione troviamo i prodotti stoccati in tre possibili tipologie o categorie funzionali di imballi, in base al tipo di prodotto, al suo valore, alle sue dimensioni e alle quantità mediamente richieste dai clienti.

1. *Imballo primario* (confezione di vendita). Imballaggio destinato a venire a contatto con il prodotto (Figura 3.2). Si tratta dell'unità di vendita destinata al consumatore finale. La determinazione delle caratteristiche della confezione di vendita è eminentemente legata a considerazioni di marketing (quantità di prodotto normalmente acquistata dal consumatore finale, maneggevolezza della confezione, modalità d'uso, conservazione del prodotto nel tempo, promozione delle vendite, normative del settore merceologico, problemi ecologici legati al prodotto e/o alla confezione, ecc.). Le caratteristiche della confezione di vendita, così come escono dalle linee di confezionamento (tipo, peso, dimensioni, materiale di confezionamento, ecc.) costituiscono pertanto un vincolo ai fini delle scelte progettuali successive. In alcuni centri di distribuzione, alcuni specifici prodotti possono essere immagazzinati sottoforma di imballo primario nelle varie posizioni di stoccaggio.



**Figura 3.2 Esempi di imballi primari**

2. *Imballo secondario* (collo). Imballaggio destinato a contenere uno o più imballaggi primari (figura 3.3). Di solito si tratta dell'unità di vendita destinata al rivenditore finale, che normalmente costituisce l'interlocutore primario del centro di distribuzione. Nella formazione dell'imballo secondario bisogna valutare il numero e la disposizione delle confezioni di vendita. I vincoli riguardano invece la facilità di movimentazione dell'imballo sia all'interno degli impianti distributivi sia nei punti di vendita (dove la movimentazione è generalmente di tipo manuale).



*Figura 3.3 La scatola di cartone è il classico esempio di un imballo secondario*

3. *L'imballo terziario* (unità di carico pallettizzata). In genere i prodotti in un centro di distribuzione vengono stoccati in unità di carico cosiddette “pallettizzate” (figura 3.4), utilizzando delle apposite pedane (pallet).



*Figura 3.4 Unità di carico pallettizzata*

Un pallet (figura 3.5) è una piattaforma portabile, solitamente fatta di legno, cartone ondulato, plastica, su cui la merce viene accatastata per il trasporto e lo stoccaggio.

L'utilizzo del pallet oltre a permettere l'isolamento della merce dal fondo sottostante, con riduzione dei danni causati, ad esempio, dalla presenza di una superficie bagnata, facilita anche la movimentazione. Infatti, consente l'uso di attrezzature automatiche, permette un incremento di peso e volume caricabili, aumenta l'utilizzazione dello spazio grazie alla formazione di cataste più o meno elevate.

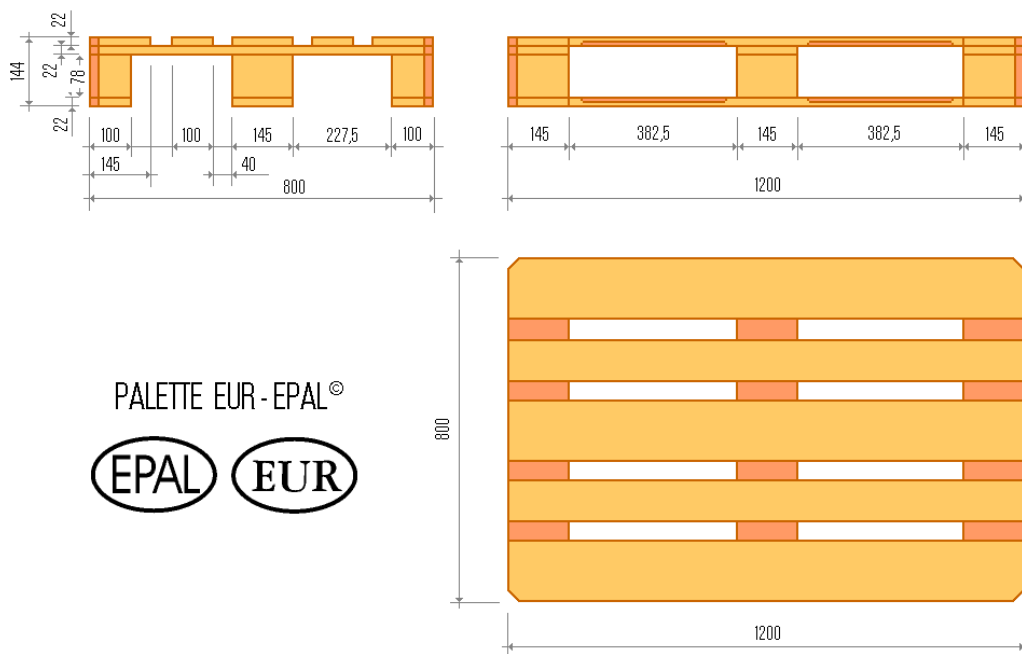


**Figura 3.5 Pallet (Foto EPAL)**

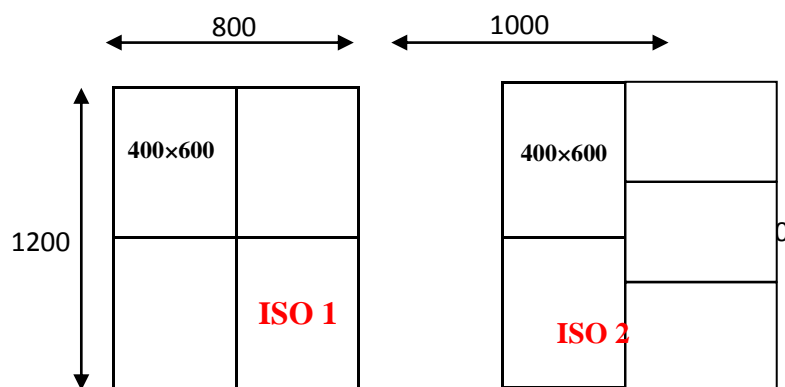
La gamma di pallet utilizzati nei diversi settori industriali e commerciali risulta, per quanto riguarda le dimensioni, notevolmente diversificata: 80cm × 120 cm, 100 cm × 120 cm, 120 cm × 120 cm, 112 cm × 112 cm, ecc.

Le dimensioni più diffusamente utilizzate in Europa sono 80 cm × 120 cm (il cosiddetto *Europallet* standardizzato *ISO1*), e 100 cm × 120 cm (pallet anglo-sassone standardizzato *ISO2*, o pallet Philips).

Tutti hanno in comune, in accordo alle richieste di intercambiabilità dell'*European Pallet Association* (EPAL, 1991), l'altezza da terra e la conformazione della base con la presenza di 9 piedini (da 100 a 145 mm di lato), uniti inferiormente tra loro in gruppi di tre attraverso liste di legno dello spessore di 22 mm poste nel senso della misura maggiore (figura 3.6). Questo tipo di pallet è inforcabile da ogni lato (pallet a 4 vie).



**Figura 3.6 Le dimensioni (in millimetri) dei pallet EUR-EPAL (Foto Wikipedia)**



**Figura 3.7** Le dimensioni (in millimetri) dei pallet ISO1 e ISO2

I pallet *ISO1* e *ISO2* (figura 3.7) consentono, entrambi, la combinazione di imballi secondari di 60 cm × 40 cm, ottenendo la saturazione completa della superficie disponibile. Sono ovviamente possibili combinazioni di sottomultipli del modulo considerato (come mostrato in Tabella 3.1, dove *a* e *b* indicano le misure in centimetri dei due lati della base dell'imballo secondario).

Le scelte effettuate nella fase di formazione delle unità di carico pallettizzate riguardano il numero e disposizione degli imballi secondari per ogni strato, il numero di strati ed i criteri di alternanza di strati a diversa configurazione in modo da favorire le stabilità dell'unità di carico.

	<i>A</i>	<i>a/2</i>	<i>a/3</i>	<i>a/4</i>	<i>a/5</i>
<i>B</i>	60 × 40	60 × 20	60 × 13,3	60 × 10	60 × 8
<i>b/2</i>	30 × 40	30 × 20	30 × 13,3	30 × 10	30 × 8
<i>b/3</i>	20 × 40	20 × 20	20 × 13,3	20 × 10	20 × 8
<i>b/4</i>	15 × 40	15 × 20	15 × 13,3	15 × 10	15 × 8
<i>b/5</i>	12 × 40	12 × 20	12 × 13,3	12 × 10	12 × 8

**Tabella 3.1** - Dimensioni (in centimetri) delle scatole compatibili con la saturazione superficiale dell'euro pallet e del pallet anglo-sassone

Gli obiettivi in questa fase riguardano:

- ✓ saturazione della superficie del pallet (favorita dalla modularità dimensionale degli imballi secondari);
- ✓ standardizzazione dimensionale degli imballi terziari, in modo da unificare per esempio le dimensioni dei vani di stoccaggio o da evitare operazioni di ripallettizzazione negli interscambi tra impianti appartenenti alla stessa rete logistica;

- ✓ impilabilità degli imballi, in modo da favorire per esempio sia la saturazione dei mezzi di trasporto sia lo stoccaggio a catasta;
- ✓ stabilità degli imballi;
- ✓ regolarità degli imballi, che assume una rilevanza particolarmente critica nel caso di stoccaggio in centri di distribuzione automatizzati.

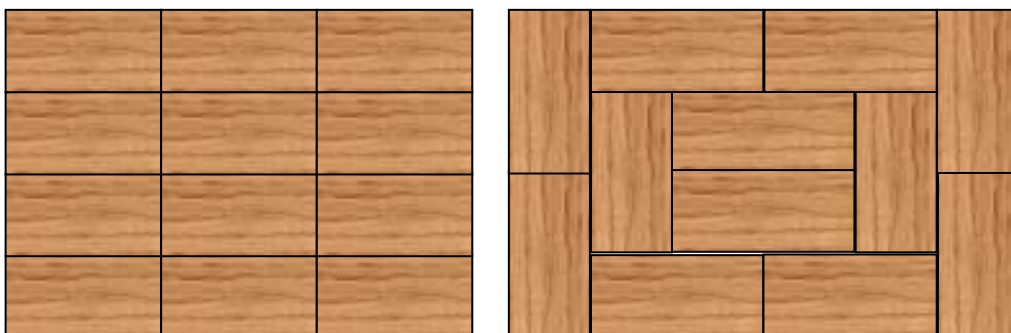
L'altezza delle unità di carico pallettizzate dipende da una serie di fattori quali la densità del prodotto e la robustezza degli imballi secondari. L'altezza può variare da 50 cm a 2-3 m (nel caso di prodotti leggeri). Il peso dell'unità di carico pallettizzata non supera normalmente i 1500 Kg.

La formazione dell'imballo terziario costituisce una fase importante del ciclo distributivo in quanto ne risultano semplificate tutte le successive operazioni di movimentazione. La formazione del carico richiede innanzitutto una corretta disposizione dei singoli imballi secondari, curando in particolare l'alternanza di strati con diversa configurazione in modo da evitare il formarsi di colonne verticali separate che comprometterebbero la stabilità dell'unità di carico stessa. Gli imballi secondari o primari devono essere opportunamente "imbracati" in modo analogo ai criteri di sistemazione dei mattoni per la costruzione di un muro.

Per esempio, sovrapponendo una serie di strati del tipo schematizzato in figura 3.8 a sinistra non si ottiene una buona stabilizzazione del carico in quanto, essendo lo strato simmetrico rispetto agli assi centrali longitudinale e verticale, è inevitabile che le "colonne" di cartoni possano aprirsi in seguito a sollecitazioni o accelerazioni derivanti ad operazioni di movimentazione.

Nel caso invece a destra della figura 3.8, sovrapponendo alternativamente lo strato riportato in figura e quello che si ottiene per ribaltamento rispetto all'asse centrale longitudinale, è possibile evitare la formazione di fessure.

Ovviamente i cartoni devono essere sufficientemente resistenti da reggere il sovraccarico derivante dagli strati sovrapposti.



**Figura 3.8 Imballo terziario instabile (a sinistra) e Imballo terziario stabile (a destra)**

Per la stabilizzazione e il consolidamento delle unità di carico pallettizzate possono essere utilizzati specifici metodi quali:

- interposizione tra gli strati di fogli rigidi (interfalde);
- incollatura degli strati tra loro;
- reggiatura (in ferro o in plastica);

- avvolgimento con film estensibile;
- avvolgimento con film termoretraibile.

L'impiego di film sottili in polietilene, stirato a freddo e avvolto intorno al carico, risulta economico e richiede minori investimenti in impianti e minori consumi energetici rispetto all'uso di film termoretraibile, che utilizza sistemi di avvolgimento quali forni ad aria calda con temperatura tra i 200-250 °C, ma consente una maggiore protezione delle merci dagli agenti atmosferici.

L'impiego di film termoretraibile risulta più conveniente nei casi in cui sia richiesto un elevato grado di protezione, qualora i carichi presentino forme irregolari e qualora sia richiesta la protezione del carico su tutte e sei le facce. A sua volta il film estensibile risulta più conveniente nei casi in cui si alternino carichi con differenti caratteristiche dimensionali. Nei casi poi in cui il prodotto sia già imballato in film plastico o sia comunque sensibile al calore necessario per la termoretrazione, il film estensibile rimane l'unica soluzione possibile.

Esistono altri sistemi che possono essere utilizzati per il consolidamento degli imballi.

- *I roll container* (figura 3.9) trovano largo impiego nei centri di distribuzione che riforniscono i supermercati. I separatori e le pareti laterali sono smontabili per risparmiare spazio quando sono vuoti. Sono pertanto particolarmente adatti per il consolidamento congiunto sia di imballi primari che secondari.



**Figura 3.9 Roll container (Foto Logismarket)**

Esistono inoltre *roll container* isotermici (figura 3.10) che vengono utilizzati per il trasporto della merce del comparto fresco. Le piastre eutettiche che vengono posizionate all'interno, garantiscono il mantenimento della temperatura dei prodotti per una durata di circa 24 ore. Questo tipo di contenitore permette di superare il problema della frequente apertura delle porte del veicolo in caso di consegne frazionate, assicurando la continuità della catena del fresco.





*Figura 3.10 Roll container isotermici (Foto Logismarket)*

- *Piccoli contenitori.* Questa categoria comprende i contenitori in polipropilene, in lamiera zincata, in rete metallica, impiegati per forniture ospedaliere, minuterie metalliche, componenti elettrici ed elettronici.

In funzione dei singoli formati i contenitori devono essere modulari, adatti per essere impilati e inseriti uno dentro l'altro, sono dotati di supporto per le etichette, di separatori interni e di guide per l'inserimento in una cassettera. I contenitori in polipropilene sono più leggeri, non temono la ruggine e sono disponibili in molti colori per essere facilmente identificabili, ma esiste il pericolo d'incendio perché la plastica è infiammabile.

Esempi di questi contenitori sono le casse (figura 3.11) e le gabbie in rete (figura 3.12).



*Figura 3.11 Casse (Foto Logismarket)*



**Figura 3.12 Gabbie in rete (Foto Logismarket)**

### 3.4 I mezzi di trasporto della merce

Un centro di distribuzione riceve dai fornitori e invia ai clienti la merce, posta su pallet o su altri mezzi per il consolidamento degli imballi, utilizzando autocarri di diverse dimensioni. In genere le grandi aziende produttrici che forniscono elevati quantitativi di merce, utilizzano autocarri capaci di trasportare diverse tonnellate di merce, mentre i piccoli fornitori spesso utilizzano mezzi più piccoli capaci di trasportare poche tonnellate di merce.

Per autocarro si intende un mezzo di trasporto singolo fornito di motricità propria. Il codice della strada italiano ne fa questa classificazione:

- categoria N1: veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima non superiore a 3,5 t;
- categoria N2: veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa compresa tra 3,5 t e 12 t;
- categoria N3: veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 12 t;

L'autocarro classico, e contemporaneamente il più diffuso sulle strade, è quello in cui il vano di carico, sia esso di tipo telonato che furgonato, è completamente diviso dalla cabina di guida.

<b>Autocarro classico</b>	
<b>Massa a pieno carico max</b>	32 t (raggiungibile solo da veicoli aventi 4 assi)
<b>Misure vano di carico</b>	
<b>Lunghezza max</b>	1050 cm
<b>Larghezza max</b>	255 cm
<b>Altezza max</b>	400 cm

**Tabella 3.2 Caratteristiche Autocarro classico**

L'allestimento più diffuso è quello con una centinatura (figura 3.13) composta da un telaio in metallo provvisto di traversine (stecche) per fermare il carico e ricoperto da un telone in materie plastiche; questa soluzione è quella che consente il più agevole carico e scarico dei materiali essendo facilmente apribile su tutti i lati. Le caratteristiche dell'autocarro classico sono riassunte nella Tabella 3.2.



*Figura 3.13 Autocarro con centinatura per il trasporto di elevati carichi di merce*

Un'alternativa è l'allestimento con una furgonatura (figura 3.14), solitamente coibentata se non frigorifera, che consente un migliore stivaggio delle merci grazie alle pareti piene che bloccano il carico trasportato. Le caratteristiche di questo mezzo sono riportate nella Tabella 3.3.

<b>Autocarro con cella frigo</b>	
<b>Massa a pieno carico max</b>	32 t (raggiungibile solo da veicoli aventi 4 assi)
<b>Misure vano di carico</b>	
<b>Lunghezza max</b>	1050 cm
<b>Larghezza max</b>	260 cm
<b>Altezza max</b>	400 cm

*Tabella 3.3 Caratteristiche Autocarro-frigo*

I vani di carico degli autocarri di uso comune sono caratterizzati da una larghezza che consenta di caricare agevolmente le merci su pallet, tipicamente 240 cm, con un fondo livellato e fabbricato in legno o in alluminio. L'altezza utile per il carico si aggira intorno ai 280 cm sui mezzi più moderni, forniti di telaio ribassato e sospensioni pneumatiche. L'automezzo medio ha una lunghezza del vano intorno ai 6 metri utili ma, arrivando al limite complessivo massimo ammesso, sono stati predisposti anche cassoni con lunghezze fino ai 10/10,5 metri (per rimanere nei 12 metri totali, circa 2 metri di cabina + 10 metri di cassone).



*Figura 3.14 Autocarro con furgonatura*

Spesso per le consegne delle merci ai clienti i centri di distribuzione utilizzano autocarri muniti di sponda montacarichi posteriore (figura 3.15). Questo avviene soprattutto nelle grandi città, dove difficilmente gli esercizi commerciali dispongono di aree attrezzate specificatamente al carico/scarico, di conseguenza l'uso della sponda idraulica consente di portare le merci, spesso disposte su pallet, dal cassone dell'autoveicolo al livello strada risparmiando su tempi e fatica.



*Figura 3.15 Autocarro munito di sponda montacarichi posteriore*

Una soluzione alternativa (figura 3.16) di uso comune è quella di applicare sul telaio dell'autoveicolo un impianto idraulico di sollevamento e l'impianto di aggancio per poter disporre, nella parte destinata al carico, un *container*, ovvero un grande parallelepipedo in metallo di misure standardizzate.



**Figura 3.16 Autocarro portacontainer**

Il container più diffuso è il container ISO (*International Organization for Standardization*), le cui misure sono state stabilite in sede internazionale nel 1967. A fronte di una larghezza comune di 8 piedi e un'altezza comune di 8 piedi e 6 pollici, sono diffusi in due lunghezze standard di 20 e di 40 piedi.

Dalla standardizzazione dimensionale e quindi volumetrica dei container ISO è nata, ad esempio, la consuetudine di valutare la capacità di carico di una nave portacontainer in TEU (*Twenty-Foot Equivalent Unit*, unità equivalente a container da 20 piedi).

Sono anche omogenei gli attacchi, presenti sugli angoli del contenitore, specifici per il fissaggio sui vari mezzi di trasporto. Le caratteristiche di questi attacchi, unite alla robustezza intrinseca del contenitore, ne consentono l'impilazione l'uno sull'altro, migliorando l'utilizzazione dei moli, delle banchine e dei centri di distribuzione.

Il container ISO classico (figura 3.17) presenta le superfici laterali piene e una chiusura posteriore con due battenti facilmente sigillabili per evitare effrazioni.



**Figura 3.17 Container ISO 20"**

Forse la sua maggiore limitazione consiste nelle misure interne di carico che non consentono il carico affiancato di due europallet. Le caratteristiche del container ISO20 sono riportate nella Tabella 3.4 .

<b>ISO 20"</b>	<b>Peso tara</b>	2050-2650 kg		
	<b>Massimo caricabile</b>	18270-27980 kg		
<b>Misure</b>		<b>Esterne</b>	<b>Interne</b>	<b>Apertura Porta</b>
	<b>Lunghezza</b>	6058mm	5860mm	-
	<b>Larghezza</b>	2438mm	2310mm	2280mm
	<b>Altezza</b>	2591mm	2360mm	2270mm
	<b>Volume Interno</b>	32-33,9 m <sup>3</sup>		

*Tabella 3.4 Caratteristiche Container ISO 20"*

Il container ISO 40 (figura 3.18) viene usato per merci ingombranti ma non particolarmente pesanti. Contiene il doppio del volume dei 20 piedi, pur avendo una portata di poco superiore (come evidenziato nella Tabella 3.5).



*Figura 3.18 Container ISO 40"*

<b>ISO 40"</b>	<b>Peso tara</b>	3630-3740 kg		
	<b>Massimo caricabile</b>	26740-28650 kg		
<b>Misure</b>		<b>Esterne</b>	<b>Interne</b>	<b>Apertura Porta</b>
	<b>Lunghezza</b>	12192mm	12010mm	-
	<b>Larghezza</b>	2438mm	2300mm	2290mm
	<b>Altezza</b>	2591mm	2360mm	2260mm
	<b>Volume Interno</b>	65,20-67,70 m <sup>3</sup>		

*Tabella3.5 Caratteristiche Container ISO 40"*

Per i prodotti che necessitano di una temperatura controllata vengono utilizzati container 20 e 40 piedi *Refeer* (refrigerato, figura 3.19) che sono ermeticamente chiusi e dotati all'interno di un sistema di raffreddamento/condizionamento per mantenere la merce a temperatura costante.



*Figura 3.19 Container 20" R*

<b>20" R</b>	<b>Peso tara</b>	2800-3150 kg		
	<b>Massimo caricabile</b>	17090-27280 kg		
<b>Misure</b>		<b>Esterne</b>	<b>Interne</b>	<b>Apertura Porta</b>
	<b>Lunghezza</b>	6058mm	5330mm	-
	<b>Larghezza</b>	2438mm	2220mm	2165/2285mm
	<b>Altezza</b>	2591mm	2135/2260mm	2150/2210mm
	<b>TEMPERATURA</b>	-25/+25° C		

*Tabella3.6 Caratteristiche Container ISO 20" R*

<b>40" R</b>	<b>Peso tara</b>	3900-4600 kg		
	<b>Massimo caricabile</b>	25080-25980 kg		
<b>Misure</b>		<b>Esterne</b>	<b>Interne</b>	<b>Apertura Porta</b>
	<b>Lunghezza</b>	12192mm	11180mm	-
	<b>Larghezza</b>	2438mm	2240mm	2180mm
	<b>Altezza</b>	2591mm	2175mm	2110mm
	<b>TEMPERATURA</b>	-25/+25° C		

*Tabella3.7 Caratteristiche Container ISO 40" R*

Il loro uso è soprattutto destinato al trasporto di prodotti alimentari o medicinali, beni per cui non si può interrompere la catena del freddo. I dati tecnici sono riportati nella Tabella 3.6 per la versione 20 piedi e nella Tabella 3.7 per la versione 40 piedi.

Esistono, infine, autocarri con cabina incorporata nella carrozzeria che vengono utilizzati per consegne di piccole quantità di merce e per consentire degli agevoli spostamenti anche nelle zone interdette al traffico pesante, le cui caratteristiche sono riportate nella Tabella 3.8.

<b>Autocarro con cabina incorporata nella carrozzeria (veicolo commerciale)</b>	
<b>Massa a terra max</b>	3,5 t
<b>Misure</b>	
<b>Lunghezza</b>	circa 5000-6000 cm
<b>Larghezza</b>	255 cm
<b>Altezza</b>	circa 180-210 cm

**Tabella 3.8 Caratteristiche veicolo commerciale**

Questo tipo di carrozzeria è propria dei cosiddetti autoveicoli commerciali, (figura 3.20) appartenenti alla categoria N1.



**Figura 3.20 Autoveicolo commerciale**

### **3.5 Scelta dei mezzi di movimentazione interna**

La scelta del sistema di movimentazione deve essere mediata tra varie alternative e varie considerazioni. L'obiettivo principale è quello di movimentare le merci conservandone tutte le caratteristiche, ma anche di ottimizzare l'attività che viene normalmente svolta all'interno del centro, dal loro ricevimento, al posizionamento sulle varie strutture, al prelievo e al carico per la distribuzione.

La scelta richiede, pertanto, di analisi preventiva dal momento che sia il layout delle diverse aree del centro di distribuzione sia la natura ed il livello del sistema di carico influiscono pesantemente nella selezione delle attrezzature. Ma d'altra parte un sottodimensionamento nella dotazione dei sistemi di



movimentazione comporta perdite di tempo e congestionamenti di operazioni (colli di bottiglia), quindi rallentamenti, nelle normali attività di gestione del centro di distribuzione stesso.

Occorre partire dalla conoscenza di alcuni elementi di base indispensabili per poter effettuare questa scelta non solo in base ai costi di investimento ma alla previsione di un utilizzo nel tempo che soddisfi le esigenze operative e nel contempo riduca i tempi di ammortamento dell'investimento stesso.

Quando il volume dei materiali stoccati nei magazzini varia notevolmente o le caratteristiche dei prodotti movimentati non sono ragionevolmente costanti, un sistema di movimentazione manuale, con il suo basso costo di investimento e l'alto grado di flessibilità nel cambio delle condizioni, spesso è la scelta migliore. Al contrario, quando un sostanziale, costante volume è previsto, è giustificata una attrezzatura più meccanica. Il capitale, nella forma delle attrezzature, è usato per ripagare la manodopera, ma i più grandi livelli di investimento non possono essere recuperati se il sistema diventa obsoleto molto velocemente.

Un mix di dimensioni di prodotto, larghezze, e configurazioni possono limitare le attrezzature ai tipi più flessibili o richiedere che una combinazione di tipi di attrezzature debba essere usata per venire incontro a molte caratteristiche di prodotto.

In definitiva, la selezione dei mezzi di movimentazione è un importante aspetto per la progettazione di un magazzino e va valutata attentamente alla luce di molti fattori:

- caratteristiche fisiche dei prodotti da movimentare rilevando esattamente dimensioni, pesi, rapporti peso/volume, tipologie degli eventuali imballi, ecc.;
- tipologia delle strutture degli edifici nei quali il mezzo o i mezzi dovranno operare con particolare attenzione alla tipologia della pavimentazione, alle dimensioni ed alla portata del pavimento stesso ed alle dimensioni delle vie di transito da e verso le varie aree;
- conoscenza delle procedure che saranno adottate per tutte le operazioni previste (scarico dai mezzi per i materiali in entrata, movimentazione interna, posizionamento nelle apposite strutture, prelievo, carico sui mezzi per la distribuzione);
- fattori relativi alle caratteristiche dei flussi: complessità dei percorsi, entità dei flussi, frequenza delle movimentazioni, direzioni di movimentazioni (orizzontale, verticale, inclinate, ecc.);
- fattori relativi all'integrazione del sistema di movimentazione: livello di automazione dell'impianto; interfacciamento con le stazioni operative sul piano impiantistico e informativo.

Risulta indispensabile a questo punto, effettuare una panoramica sulle principali tipologie di mezzi di movimentazione. Una suddivisione può essere fatta tra mezzi senza vincoli di mobilità cioè liberi di operare in tutte le direzioni, mezzi vincolati a specifiche aree operative e/o percorsi prestabiliti e sistemi automatizzati di movimentazione. I prossimi tre paragrafi saranno quindi dedicati alla descrizione di tali mezzi.

### **3.5.1 Sistemi di movimentazione senza vincoli di mobilità**

In questo gruppo rientrano le varie tipologie di carrelli.

- **Carrelli transpallets.**

Per *transpallet* si intende un carrello a forche o razze in grado di sollevare unità di carico pallettizzate, il minimo indispensabile per consentire la traslazione orizzontale senza che il carico stesso strisci sul pavimento. Tali sistemi, con limitata possibilità di sollevamento (circa 13 cm), vengono quindi utilizzati per il trasferimento orizzontale dei pallets all'interno di ambienti chiusi (movimentazioni frequenti e distanze ridotte), su superfici particolarmente lisce e con pendenze ridotte. Possono essere sia manuali sia motorizzati elettricamente tramite batterie. Le velocità di traslazione sono limitate a qualche metro al secondo per le versioni motorizzate, con portate intorno a 2000-3000 kg.

Il *carrello transpallet manuale* (figura 3.21) viene mosso da un operatore a piedi mediante un timone che ha la doppia funzionalità di movimentazione del carrello (tramite trazione/spinta da parte dell'operatore) e di sollevamento delle forche sempre ad azione manuale. I pallet vengono inforcati longitudinalmente in modalità standard, ovvero nel caso dell'europallet lungo la dimensione pari a 1200 mm. La migliore efficienza dei carrelli transpallet manuali si registra in percorsi di breve/media durata (in quanto l'operatore è a piedi).



**Figura 3.21 Carrello transpallet manuale (Foto Samag)**

Il *carrello transpallet elettrico con operatore su piattaforma* (figura 3.22) viene mosso da un motore di trazione abbinato ad un riduttore per la traslazione nei due sensi, e con il sollevamento azionato da un motore abbinato ad una pompa idraulica; l'operatore è a terra oppure a bordo di una piattaforma. I pallet vengono inforcati longitudinalmente in modalità standard, ma esiste anche l'eventualità di inforcare i pallet in maniera trasversale.

La migliore efficienza di detti carrelli transpallet si registra in percorsi di media durata (infatti, l'operatore può salire sulla piattaforma e, anche se non assume una posizione adatta per percorsi lunghi, il carrello motorizzato gli permette di percorrere brevi distanze).



*Figura 3.22 Carrello transpallet elettrico con operatore su piattaforma (Foto Jungheinrich)*

*Il carrello transpallet elettrico con operatore a bordo seduto o in piedi (figura 3.23) viene mosso da un motore di trazione abbinato ad un riduttore per la traslazione nei due sensi, e con il sollevamento azionato da un motore abbinato ad una pompa idraulica; l'operatore si trova a bordo del carrello stesso, in posizione di guida trasversale.*



*Figura 3.23 Carrello transpallet elettrico con operatore a bordo (Foto Samag)*

I pallet vengono inforcati longitudinalmente in modalità standard. La migliore efficienza di detti carrelli transpallet si registra in percorsi lunghi (infatti, l'operatore si trova a bordo del veicolo, in una posizione di seduta che gli permette di sopportare percorsi di una certa lunghezza).

- **Carrelli elevatori**

*I carrelli elevatori a contrappeso (Frontali/Bi-Trilaterali) (figura 3.24) sono carrelli elevatori caratterizzati dalla presenza di un contrappeso nella parte posteriore del veicolo, in modo tale da poter bilanciare il carico che verrà sostenuto dalle forche nella parte anteriore del veicolo.*



**Figura 3.24 Carrello elevatore a contrappeso (Foto Jungheinrich)**

Solitamente, si distinguono i carrelli elevatori in carrelli frontali (dove, appunto, l'inforamento del pallet avviene frontalmente) o bi/trilaterali (dove l'inforamento può avvenire anche perpendicolarmente all'asse longitudinale del carrello stesso). I carrelli frontali vengono, poi distinti, in base alla tipologia di alimentazione (elettrica piuttosto che endotermica). Nel caso di carrelli elettrici, il contrappeso è fornito dalle batterie e dai motori elettrici di propulsione, nel caso di carrelli a motore endotermico invece la parte posteriore deve essere opportunamente "zavorrata". I carrelli a motore elettrico con gomme piene vengono utilizzati prevalentemente all'interno dei fabbricati, dove si hanno superfici particolarmente regolari. Le gomme piene conferiscono inoltre al carrello un supporto più solido durante le operazioni di *material handling*. Un particolare problema è rappresentato in questo caso dalla ricarica delle batterie; questa operazione, potenzialmente pericolosa, deve essere effettuata in locali dedicati e compartimentati. Carrelli elevatori con motore a combustione interna e pneumatici, sono invece più adatti al funzionamento in aree esterne; possono essere utilizzati anche all'interno dei fabbricati, a patto che le aree coperte siano caratterizzate da un'adeguata areazione. Più veloci rispetto ai precedenti, consentono di sollevare carichi sino a un'altezza massima di 6m.

In generale i carrelli a contrappeso con caricamento frontale richiedono, per la effettuazione delle operazioni di carico/scarico, corridoi di almeno 3,3 m, in modo da consentire il posizionamento del carrello perpendicolarmente alla unità di carico. La parte posteriore della carrozzeria viene spesso opportunamente smussata, in modo da facilitare le operazioni di manovra.

Le principali funzionalità dei carrelli elevatori a contrappeso sono:

- velocità di traslazione dell'ordine di 3 m/s;
- capacità di trasportare carichi con peso sino a 2.000 kg (per i carrelli con motori elettrici) e oltre 45.000 kg (per i carrelli con motore a combustione interna);
- adatti a caricare e scaricare automezzi da terra e da banchina;
- possibilità di movimento su diversi tipi di pavimentazione;
- possibilità di superare pendenze anche elevate;
- capacità di stoccare e prelevare da qualunque tipo di scaffalatura.

*I carrelli elevatori a razze portanti* (figura 3.25) sono carrelli nei quali la funzione di bilanciamento dei carichi viene fatta non da un contrappeso, bensì da razze portanti poste nella parte anteriore del carrello (quella dove viene caricata la merce).



**Figura 3.25 Carrello elevatore a razze portanti (Foto Jungheinrich)**

La distinzione della tipologia di carrello viene fatta in base al posizionamento dell'operatore; pertanto, si individuano tre tipologie di carrelli elevatori a razze portanti: carrelli elevatori a razze portanti con timone e operatore a piedi; con operatore a bordo; con timone e operatore su piattaforma. Tutte e tre le categorie hanno lo stesso principio di funzionamento, ma diverse caratteristiche che li rendono più o meno adatti a determinate tipologie di *picking* e di missioni di prelievo.

Sostanzialmente, i carrelli con l'operatore a bordo o su piattaforma sono maggiormente adatti per percorsi medi o lunghi, a differenza dei carrelli con operatore a piedi, i quali vengono sostanzialmente utilizzati per percorsi brevi/medi.

- **Carrelli retrattili**

Sono carrelli (figura 3.26) in cui la colonna di sollevamento può scorrere in senso longitudinale. In questo senso il carrello si comporta come uno a contrappeso quando la colonna è spinta tutta in avanti e come uno a razze portanti quando la colonna si trova in posizione ritratta.



**Figura 3.26 Carrello retrattile(Foto Jungheinrich)**

Il carrello retrattile è il più diffuso per lo stoccaggio su scaffalature in quanto molto versatile e perché riesce a ridurre sensibilmente gli spazi di manovra rispetto al carrello frontale.

- **Carrelli commissionatori.**

Utilizzati per le operazioni di prelievo frazionato, sono caratterizzati dalla circostanza di avere l'operatore che si muove su di un piano solidale alle forche del carrello, così da poter inforcare il pallet da cui devono essere prelevate delle linee d'ordine, svolgere le operazioni di picking, e riposizionare il pallet stesso nel vano di immagazzinamento. I carrelli commissionatori possono essere a contrappeso oppure a razze; in quest'ultimo caso possono essere raggiunte altezze di impilamento fino a 9 m.

La distinzione principale che viene fatta tra i carrelli commissionatori concerne il sollevamento delle forche: con *il carrello commissionatore orizzontale* (figura 3.27) l'operatore è in posizione fissa e le forche si sollevano solo per non far strisciare il carico sul pavimento.



*Figura 3.27 Carrello commissionatore orizzontale (Foto Jungheinrich)*

Con *il carrello commissionatore verticale* (figura 3.28) l'operatore può essere sollevato in altezza per consentire il prelievo di carichi in quota.

Le principali funzionalità di un carrello commissionatore orizzontale sono le seguenti:

- adatto per operazioni di picking massivo a piano terra;
- ampia varietà di lunghezza delle forche per la presa di 1, 2, 3 o 4 supporti di carico;
- adatto per percorsi medi e lunghi;
- possibilità di superare pendenze.

Un carrello commissionatore verticale risulta adatto per operazioni di *picking* massivo a fino ad un'altezza di presa di circa 5 m da terra; per percorsi medi, prevalentemente su superfici piane; per operazioni di *picking* fino a 13 m.



*Figura 3.28 Carrello commissionatore verticale (Foto Still)*

- **Trasloelevatori.**

Si tratta di attrezzature elettromeccaniche in grado di muoversi sui tre assi nel centro di distribuzione sia in modo manuale con operatore a bordo sia in modo automatico senza operatore a bordo.

I trasloelevatori (figura 3.29) hanno la fondamentale capacità di muoversi mediante guide poste sul terreno negli spazi stretti e di poter effettuare un movimento orizzontale (per spostarsi longitudinalmente tra le varie postazioni pallet) ed un movimento verticale (per poter prelevare pallet anche ad elevate altezze).

La distinzione principale che viene fatta tra i trasloelevatori riguarda la possibilità o meno di effettuare delle curve all'interno del proprio percorso; pertanto i trasloelevatori si distinguono in: *trasloelevatori rettilinei* e *trasloelevatori sterzanti*.

La larghezza minima del corridoio di manovra, risulta essere il vero parametro discriminante tra le tipologie di carrelli attualmente reperibili sul mercato, poiché, data una certa superficie del nostro stabilimento, più piccolo è quest'ultimo maggiori sono le capacità di immagazzinamento che abbiamo.

Si forniscono di seguito in Tab. 3.9, i dati tecnici per le principali categorie, in particolare l'altezza di sollevamento delle forche e la larghezza dei corridoi necessaria per garantire l'operatività dei carrelli. La larghezza del corridoio (i dati segnati sono puramente indicativi, vista la variabilità dei carrelli esistenti) richiesta per le attività di immissione e prelievo delle unità di carico dipende dalla tipologia di carrello industriale, dalle sue caratteristiche costruttive e dalle dimensioni dell'unità di carico.

Il calcolo della larghezza minima del corridoio deve, in ogni caso, permettere di effettuare le manovre di posizionamento del carrello e di estrazione dell'unità di carico dalla scaffalatura; viene inoltre previsto solitamente da entrambe le parti un franco di sicurezza, pari a 10 cm.



*Figura 3.29 Trasloelevatori (Foto Mecalux)*

	Portata [t]	Max altezza sollev. [m]	Larghezza min corridoio [m]
Transpallet manuale	2		
Transpallet elettrico a timone	1,2-1,6-2		
Elevatore elettrico a timone	0,25	4,3	
Elevatore elettrico retrattile	1,0	7,2	2,3-3
	1,6	8,3	
	2,0	9,0	
Elevatore elettrico a 3 ruote	1,25-1,6	5,8	3,3
Elevatore elettrico a 4 ruote	2,5-3,0	6,0	
Carrello commissionatore Orizzontale	2,0	-	
Carrello commissionatore Verticale	1,0	2,6	
		5,8	
		8,3	
Elevatore-commissionatore a grandi altezze	1,0	6,5	
	1,5	13,0	
Elevatore trilaterale	2	11,0	1,6

*Tabella 3.9 Tipologie di carrelli industriali*



### 3.5.2 I sistemi di movimentazione vincolati su percorsi fissi

Per sistemi di movimentazione vincolati si intendono tutti quei sistemi di *material handling* in cui il trasporto dei materiali avviene seguendo percorsi prefissati che richiedono normalmente la presenza di installazioni fisse che definiscono il tracciato servito dal sistema di movimentazione, ponendo quindi un vincolo cinematico alla traiettoria. Tali installazioni sono ottenute mediante combinazione di più segmenti modulari standardizzati.

Un primo criterio di classificazione dei sistemi operanti su percorsi fissi riguarda la suddivisione fra sistemi non motorizzati (i carichi si muovono o per gravità o a spinta manuale) e sistemi motorizzati. Per i convogliatori motorizzati è possibile una ripartizione ulteriore in tre sottogruppi in relazione alla tipologia e alla modalità di funzionamento dei loro dispositivi di movimentazione:

- *Fissi*. Il sistema di trasporto non accompagna i carichi nei loro movimenti; essi rimangono quindi fissi mentre l'unità di carico si sposta. Appartengono a questa categoria i convogliatori a rulli (figura 3.30) e a rotelle (figura 3.31).



*Figura 3.30 Convogliatore a rulli*



*Figura 3.31 Convogliatore a rotelle*

La movimentazione dell'udc, appoggiata sulla rulliera, avviene tramite rulli motorizzati che spingono il carico in avanti per attrito. Solitamente si alternano rulli motorizzati, almeno 2 contemporaneamente su ogni udc, e rulli *folli* in dipendenza delle dimensioni del carico da movimentare.

- *Mobili, vincolati.* Il sistema di trasporto accompagna nel movimento i carichi trasportati, e l'elemento del sistema di movimentazione a contatto con il carico non si può sganciare dalla "trasmissione" del sistema stesso. Appartengono a questa categoria i convogliatori a vassoi, a catena, a nastro (figura 3.32), a tapparella (figura 3.33).



*Figura 3.32 Convogliatore a nastro*



*Figura 3.33 Convogliatore a tapparella*

Il convogliatore a vassoi viene particolarmente utilizzato per unità di carico di piccole dimensioni nelle stazioni di montaggio manuale. L'operatore preleva di volta in volta il componente richiesto facendo muovere il convogliatore. Nei convogliatori a nastro invece, un nastro, movimentato tramite un rullo motore, trascina per attrito le unità di carico. Il convogliatore a tapparelle si differenzia nel fatto che per il suo funzionamento utilizza un elemento cingolato, che può essere realizzato in

materiali differenti, in luogo del nastro; questo permette al convogliatore di movimentare anche colli più pesanti, tipicamente sono usati negli impianti di imbottigliamento.

- *Mobili, svincolati.* I componenti del sistema di movimentazione a contatto con il carico, pur accompagnandolo, consente comunque la temporanea rimozione dalla linea in modo da consentire, ad esempio, un accumulo di pezzi in corrispondenza di una stazione di montaggio. Tipici sistemi che appartengono a questa categoria sono i trasportatori aerei (figura 3.34).



**Figura 3.34 Trasportatore aereo**

Per la movimentazione dei carichi fra differenti livelli di altezza sono disponibili svariate soluzioni:

- *convogliatori a gravità* (scivoli, a rulli, a rotelle, figura 3.35) adatti per il trasferimento a livelli inferiori di materiali leggeri e non fragili. E' opportuno evitare carichi pesanti e lunghi percorsi. L'efficace impiego di rulli frenanti richiede un'uniformità nelle dimensioni e nel peso dei carichi;
- *spirali a gravità.* Consentono l'accumulo dei carichi nel tratto terminale. Spesso utilizzate per il rifornimento di stazioni operative da convogliatori aerei situati sopra le stazioni stesse;
- *convogliatori a nastro, in salita o discesa.* Consentono il flusso continuo di carichi. Sono meno sensibili dei due casi precedentemente citati alle caratteristiche dimensionali e di peso dei carichi. E' opportuno utilizzare nastri con superfici ruvide e dispositivi di frenatura per evitare lo scivolamento dei carichi;
- *convogliatori a nastro, a spirale.* Anche per i convogliatori a nastro sono possibili configurazioni a spirale le quali permettono una migliore utilizzazione volumetrica dello spazio disponibile;

- *carrelli trainati a catena aerea*. Lo stesso dispositivo di traino che consente la traslazione orizzontale dei carrelli ne consente anche la movimentazione verticale. Consentono un flusso continuo. I carichi possono essere movimentati in corrispondenza delle stazioni operative;



*Figura 3.35 Convogliatori a gravità (foto Logiss)*

- *convogliatori aerei birotaria* (figura 3.36). Consentono un flusso continuo di carichi, la possibilità di accumulo a velocità variabili. Possono essere previste in corrispondenza di stazioni operative sezioni di convogliatore abbassabili/sollevabili, che permettono il rifornimento in verticale della stazione stessa;



*Figura 3.36 Convogliatore aereo*

- *Ascensori/discensori* (figura 3.37). Un unico piano di appoggio effettua un servizio “navetta” fra livelli diversi dell’impianto. La potenzialità del sistema può essere incrementata combinando opportunamente carichi da portare in alto e carichi da portare in basso. La sommità del sistema può essere interfacciata con sistemi di movimentazione aerei.



*Figura 3.37 Ascensori/discensori*

- *Convogliatori verticali continui* (figura 3.38). Offrono generalmente un’elevata potenzialità, in funzione dell’intervallo fra i diversi ripiani di carico. Sono adattabili a carichi di varie dimensioni. Le operazioni di carico/scarico devono essere sincronizzate con la velocità del convogliatore ottenendo un’ottima utilizzazione volumetrica del fabbricato.



*Figura 3.38 Convogliatori verticali*

Rientrano inoltre, nel gruppo dei sistemi di movimentazione mobili vincolati, come caso particolare, gli *AGVS (Automated Guided Vehicle System)*, i quali rappresentano lo stadio di evoluzione più recente dei carrelli industriali tradizionali. Dal momento tuttavia che, almeno nelle applicazioni finora realizzate, gli *AVG* si muovono su percorsi vincolati, seguendo bande di tipo ottico o magnetico disposte sul pavimento, essi presentano attualmente aspetti tipici del terzo gruppo.

### **3.5.3 Sistemi automatici di movimentazione**

I sistemi *AGVS (Automated Guided Vehicle Systems)* sono sistemi che nascono dall'esigenza di superare i vincoli posti in termini gestionali dalla rigidità dei carrelli industriali classici (ingombro, manovrabilità, bilanciamento, costi energetici, presenza di un operatore per ogni macchina).

I sistemi *AGV* utilizzano carrelli a tre o a quattro ruote, i quali si muovono in modo automatico all'interno di uno stabilimento; dal punto di vista dell'alimentazione, sono equipaggiati con un sistema di batterie (che li rende autonomi), che dà energia, ovviamente ad un motore elettrico.

Un veicolo *AGV* segue nel movimento un percorso ben preciso, ottenuto sfruttando un principio fisico, che funge da guida del sistema. Tale guida è a controllo numerico e, benché sia determinata a priori (il che ad una prima riflessione superficiale potrebbe far cadere la condizione di veicolo non vincolato), può essere rapidamente riprogrammata, superando di fatto ogni vincolo spaziale.

Possono essere sistemi di movimentazione interna tramite filo-guida magnetica a pavimento, oppure sistemi di carico/scarico automatico dei camion, che hanno l'obiettivo di evitare l'utilizzo di personale per eseguire operazioni, quali, appunto carico, scarico e movimentazione interna.

I sistemi automatici più diffusi che vengono utilizzati per le operazioni di carico/scarico dagli automezzi, sono costituiti da una serie di catene o funi motorizzate poste sul pianale del mezzo e che sono in grado di trascinare le unità di carico pallettizzate lungo la lunghezza del pianale. Vengono spesso utilizzati rulli laterali in grado di ripristinare eventualmente la verticalità delle unità di carico, in modo da impedire interferenze tra queste unità di carico e le pareti degli automezzi per evitare blocchi durante le fasi di carico e scarico.

Il fattore principale che ha permesso lo sviluppo di questi sistemi è la loro flessibilità; infatti, gli *AVG* possono effettuare percorsi variabili e razionalizzati dal sistema di gestione e controllo centrale, il quale raccoglie ed elabora tutte le informazioni concernenti sia lo stato di tutti i veicoli e delle unità di carico da movimentare sia le richieste di intervento provenienti dal sistema produttivo.

Esistono diverse tipologie di sistemi *AVG* tra le quali:

- *Load towing*: veicoli per il traino di rimorchi con una configurazione simile a quella di un piccolo convoglio ferroviario: questa soluzione risulta economica per lunghe percorrenze e le operazioni di carico e scarico possono essere sia manuali sia automatizzate.
- *Unit load carrier*: trasportano un'unità di carico che solitamente corrisponde al pallet; le operazioni di carico/scarico sono automatizzate con l'ausilio di forche telescopiche o tavole provviste di rulliera o nastro che consentono anche di interfacciarsi direttamente con altri mezzi di movimentazione.

- *AVG fork truck*: hanno una configurazione molto simile ai tradizionali carrelli a forche e sono utilizzati per il trasporto di pallet con origine e destinazione sia sul pavimento che sulle scaffalature; questi carrelli possono presentare inconvenienti se la pavimentazione non possiede una buona planarità e uniformità.



*Figura 3.39 Sistemi automatici AGV*

Per quanto riguarda i dispositivi di guida, si possono avere:

- *Guida induttiva*: è di gran lungo il più utilizzato e consiste in un filo interrato percorso da corrente che produce un campo magnetico rilevato da apposite antenne collocate sul carrello. Si tratta di correnti a bassissima intensità (40 mA) basso voltaggio (minore di 40 V) e frequenza variabile in un range 1-13 Hz. Ogni carrello è in grado di percorrere un ben determinato percorso in un possibile network di percorsi seguendo un ben preciso valore del campo magnetico. Tale valore di campo è ottenuto variando in maniera opportuna la frequenza della tensione che percorre il filo conduttore. Il cavo può essere utilizzato anche per la trasmissione delle informazioni tra veicolo e sistema di controllo centrale;
- *Guida ottica*: in questo caso il carrello segue una traccia sul pavimento di vario tipo (fluorescente, a contrasto di colore, riflettente, metallico o magnetico); in questo modo il sistema di guida è separato dal sistema di comunicazione ed è possibile identificare le unità di carico lungo il percorso utilizzando un *bar code*. Chiaramente questo sistema è meno sicuro del precedente, dal momento che le bande possono essere soggette a sporco o a danneggiamento, presenta però rispetto al sistema a guida induttiva una maggiore flessibilità, dal momento che è più semplice apportare modifiche al percorso.

- *Guida laser*: A bordo del veicolo è installato in questo caso uno scanner emettitore/ricevitore di raggi infrarossi o laser, che calcola la posizione del veicolo nello stabilimento analizzando i movimenti di due ruote del carrello rispetto a riferimenti catarifrangenti nel layout dell'impianto. Il percorso, quindi, è individuato con strumenti di tipo software e il sistema risulta caratterizzato da bassi tempi di installazione e particolarmente flessibile a cambiamenti di percorsi.

I sistemi AVG hanno registrato una rapida diffusione in quanto risultano particolarmente adatti per la movimentazione di materiali, in unità di carico, caratterizzati da flussi complessi e variabili all'interno di impianti caratterizzati da elevati livelli di automazione. Essi consentono una serie di vantaggi, come l'indirizzamento selettivo dei carichi, l'agevole modifica del layout, l'assenza di installazioni fisse (se si esclude la banda magnetica interrata o la banda ottica sul pavimento), l'agevole programmabilità dei percorsi e la rapida modifica delle potenzialità del sistema di movimentazione mediante aggiunta/sottrazione di carrelli.

### 3.5.4 Produttività di un mezzo di movimentazione

Per misurare la produttività di un generico mezzo  $h$  utilizzato per la movimentazione degli imballi in un centro di distribuzione si utilizza come parametro la *potenzialità*, espressa come:

$$p_h = \frac{Q}{T} \quad (3.1)$$

dove:

$p_h$  = potenzialità (espressa, ad esempio, unità di carico/ora);

$Q$  = quantità di materiale (espressa in unità di carico) trasportata per ciclo;

$T$  = durata del ciclo di trasporto (espressa, ad esempio, in ore).

Un generico ciclo è generalmente scomponibile in cinque fasi: carico, trasferimento, scarico, ritorno, tempi di attesa.

A differenza dei mezzi di movimentazione di tipo continuo (convogliatori a nastro, a catena, ecc.), in cui le cinque fasi elencate impiegano differenti componenti del sistema di trasporto e possono quindi verificarsi contemporaneamente, nel caso di mezzi di tipo discontinuo le fasi elencate impiegano il mezzo in successione e non possono pertanto verificarsi contemporaneamente.

Ponendo:

$T_1$  = durata della fase di carico

$T_2$  = durata della fase di trasferimento

$T_3$  = durata della fase di scarico

$T_4$  = durata della fase di ritorno

$T_5$  = durata della fase di attesa,

la potenzialità teorica di un mezzo di trasporto discontinuo è data pertanto da:

$$p_h = \frac{Q}{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5} \quad (3.2)$$

Facendo riferimento ad esempio al caso dei carrelli industriali a forche, che sono i più tipici mezzi di trasporto di tipo discontinuo, ne risulta che la potenzialità di tali mezzi può essere incrementata o aumentando la quantità trasportata per ogni ciclo, o riducendo la durata dei tempi di posizionamento,



uscita e rientro delle forche necessarie per la presa e il rilascio dell'unità di carico pallettizzata, oppure infine aumentando la velocità di traslazione orizzontale e/o verticale (e quindi riducendo i tempi di trasferimento e ritorno).

### 3.5.5 Determinazione del numero di mezzi per la movimentazione

Se consideriamo impianti di stoccaggio serviti da carrelli, prendendo come base il numero di unità di carico in transito attraverso il centro di distribuzione nell'unità di tempo, è possibile procedere al dimensionamento del sistema di movimentazione. Occorre a questo scopo calcolare la durata media dei cicli di prelievo/immissione.

Tale durata dipende da numerosi fattori. In primo luogo dal layout delle scaffalature, in particolare dal numero e dalla lunghezza dei corridoi ed anche dai criteri di allocazione fisica degli articoli.

In secondo luogo essa dipende dalle prestazioni dei mezzi di movimentazione e dalle relative modalità operative. Ad esempio, i carrelli elevatori a contrappeso o a montante retrattile devono collocarsi in posizione perpendicolare alla scaffalatura per effettuare lo scarico/carico dei pallet dai/nei vani corrispondenti.

In terzo luogo essa dipende dalle caratteristiche dei cicli di movimentazione necessari per prelevare dal magazzino o immettere nel magazzino un'unità di carico, ossia dal rapporto tra *cicli semplici* e *cicli combinati*. Un ciclo semplice prevede una fase di immissione con un ritorno a vuoto o di prelievo con andata a vuoto. Un ciclo combinato, invece, associa a un'operazione di immissione un'operazione di prelievo allo scopo di ridurre la percorrenza a vuoto all'interno del magazzino ed aumentare dunque la produttività del sistema.

In quarto luogo essa dipende dai criteri adottati per la gestione operativa delle sequenze di prelievo e immissione, in particolare per quanto riguarda l'abbinamento di prelievo ed immissione nei cicli combinati.

Tenendo conto di una serie di parametri quali i turni lavorativi giornalieri, la durata effettiva del turno, la disponibilità dei mezzi più altri eventuali coefficienti correttivi (es. fenomeni di punta per quanto riguarda il carico di lavoro), è possibile determinare il numero di mezzi di movimentazione necessari nonché il loro livello di saturazione. Sia

- $v_t$  = velocità media di traslazione orizzontale del carrello [m/s]
- $v_s$  = velocità media di sollevamento/discensione delle forche [m/s]
- $T_f$  = somma dei tempi fissi relativi al ciclo forche;
- $r/2$  = percorso medio di un ciclo semplice (andata e ritorno) [m];
- $NL$  = numero di livelli di scaffalatura;
- $H$  = altezza del vano [m];
- $PM$  = potenzialità di movimentazione media [pallet/h]
- $C_p$  = coefficiente maggiorativo di  $PM$  relativo a fenomeni di punta;
- $d$  = durata del ciclo semplice (andata e ritorno) [s];
- $N$  = numero di carrelli necessari.

La durata del ciclo semplice è pari alla somma del tempo di ciclo variabile e del tempo di ciclo fisso. A sua volta la componente variabile del tempo di ciclo è ottenuta come somma del tempo di traslazione orizzontale e verticale. La durata pertanto, può essere espressa come:

$$d = \left( \frac{r/2}{v_t} + \frac{NL-1}{v_s} \times H \right) + 2T_f \quad (3.3)$$

Il numero necessari di carrelli è ottenibile come rapporto tra la potenzialità di movimentazione richiesta e la potenzialità di movimentazione del singolo carrello (che tiene conto del percorso di andata e ritorno e dell'opportuno fattore di conversione necessario a rendere omogenee le unità di misura):

$$N = \frac{PM}{\left( C_p \times \frac{3600}{2d} \right)} \quad (3.4)$$

### 3.6 Criteri di allocazione dei prodotti a magazzino

Un ulteriore componente del sistema di *material handling* di un centro di distribuzione è il sistema di immagazzinamento della merce.

Una volta che viene definito il modello da adottare per lo stoccaggio dei prodotti all'interno del magazzino, si deve decidere quali prodotti allocare in una posizione piuttosto che in un'altra.

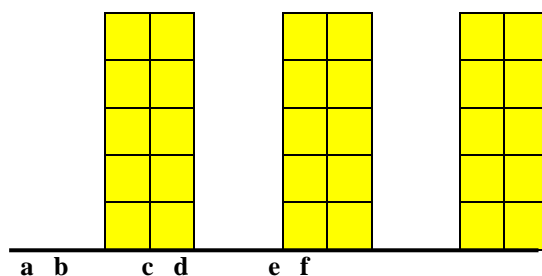
Il tema dello stoccaggio e in particolare delle politiche secondo cui allocare la merce nei relativi spazi è stato affrontato da molti (Rosenblatt e Eynan, 1989; Jarvis e McDowell, 1991 etc.).

Qualunque sia il sistema di immagazzinamento adottato e quali che siano le attrezzature di stoccaggio e di movimentazione, gli obiettivi da raggiungere sono:

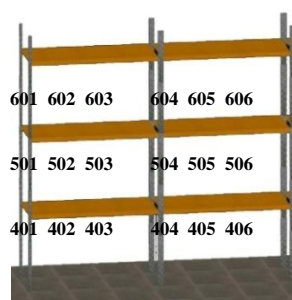
- ridurre il più possibile i *tempi* totalmente spesi per collocare la merce e prelevarla;
- ridurre al minimo gli *spazi* inutilizzati (corridoi, ecc.) cioè massimizzare gli indici di rendimento volumetrico e superficiale;
- consentire quanto più possibile l'*accesso diretto* a tutte le voci di magazzino, cioè portare il più possibile a uno l'indice di selettività del magazzino;
- consentire una naturale *rotazione*, cioè far sì che la merce arrivata per prima sia la prima ad uscire (il requisito è essenziale quando si conservano prodotti reperibili).

Tutto ciò deve essere ottenuto rispettando eventuali vincoli di stoccaggio imposti da prodotti fragili o prodotti che richiedono conservazioni con particolari requisiti (temperatura costante, sicurezza contro incendi, ecc.). E senza trascurare problematiche di trade-off, le merci simili dovranno essere allocate in prossimità, in modo da velocizzare il processo di prelievo, altrimenti i prodotti dovranno essere distinti secondo le loro funzionalità, in modo da velocizzare il processo di assemblaggio. Pertanto, è di fondamentale importanza analizzare le esigenze dell'azienda o del magazzino in funzione dei successivi *step* della produzione.

Per ottimizzare l'utilizzo delle strutture per il posizionamento dei materiali è indispensabile una mappatura dell'area di stoccaggio: ogni posizione deve essere codificata al fine di poter procedere al posizionamento conoscendo in anticipo dove ogni materiale dovrà essere posizionato, in modo da facilitarne successivamente la ricerca al momento del prelievo. I sistemi di mappatura sono diversi e tutti devono concorrere ad un unico obiettivo: per ogni posizione una sola codifica (figura 3.40 e figura 3.41).



**Figura 3.40 Esempio di codifiche corsie scaffalature porta pallet**



**Figura 3.41 Esempio di mappatura scaffalatura porta pallet, vista frontale**

Il sistema informativo è certamente di grande aiuto per gestire ogni posizione di stoccaggio e conoscere dal punto di vista gestionale, ad esempio:

- il numero di posizioni occupate;
- il numero di posizioni occupate in percentuale sulle posizioni disponibili;
- il numero di posizioni occupate da prodotti obsoleti;
- i valori medi presenti in ogni area.

Una delle teorie più utilizzate all'interno dei magazzini per rendere agevole la localizzazione del prodotto stoccato risulta essere la metodologia ABC.

La classificazione ABC deriva dal "Criterio di Pareto", formalizzato per la prima volta dal sociologo/economista italiano, all'interno del lavoro "85% of the wealth of the world is held by 15% of the people" (Pareto, 1896), e adottato, poi, in diversi ambiti. Contestualizzando tale criterio all'interno della realtà di un magazzino è possibile affermare che, indipendentemente dal criterio scelto per l'ordinamento delle referenze, il 20% dei prodotti ordinati probabilmente inciderà per circa 80% sulle prestazioni del magazzino.

Alla luce di ciò, è importante identificare e gestire con maggiore attenzione quel 20% di referenze che assorbe la maggior parte delle risorse (uomini e mezzi). Per misurare l'importanza di un prodotto rispetto a un altro può essere comparata la *richiesta* di ciascuno di essi. Due grandezze danno la misura della richiesta di un prodotto: la *quantità* prelevata nell'unità di tempo e il *numero* di prelievi nell'unità di tempo.

Può darsi che un prodotto, il cui prelievo è relativamente modesto se misurato in termini di quantità o di volume prelevati nell'unità di tempo, presenti un elevato numero di prelievi e perciò incida in modo abbastanza rilevante ai nostri fini; viceversa, un prodotto a bassa frequenza può uscire dal magazzino in quantità notevoli richiedendo elevati costi di trasporto.

Per tener conto di entrambi i fattori, si potrebbero calcolare indici che esprimano per ogni prodotto la percentuale di volume prelevato rispetto al volume totale dei prelievi e la percentuale del numero di prelievi sul totale. Sommando poi opportunamente tali indici eventualmente moltiplicandoli per "pesi" che rendano omogenei gli addendi, si ottiene un numero che consente di classificare i prodotti rispetto a entrambi i caratteri.

Ma solitamente, il criterio usato per tenere conto di entrambi i caratteri consiste nel suddividere i prodotti in classi rispettivamente di alta ( $\alpha$ ), media ( $\beta$ ), bassa ( $\gamma$ ) frequenza di prelievi e di alto ( $a$ ), medio ( $b$ ), basso ( $c$ ) volume venduto.

<i>Frequenza</i> <i>Quota prel.</i>	<i>Alta (<math>\alpha</math>)</i>	<i>Media (<math>\beta</math>)</i>	<i>Bassa (<math>\gamma</math>)</i>
<i>Alto (<math>a</math>)</i>	( $a,\alpha$ )	( $a,\beta$ )	( $a,\gamma$ )
<i>Medio (<math>b</math>)</i>	( $b,\alpha$ )	( $b,\beta$ )	( $b,\gamma$ )
<i>Basso (<math>c</math>)</i>	( $c,\alpha$ )	( $c,\beta$ )	( $c,\gamma$ )

**Tabella 3.10: Tabella riepilogativa dell'importanza dei prodotti per frequenza di prelievo/volume di prelievo**

Se si costruisce una matrice a doppia entrata del tipo indicato in tabella 3.10, mettendo nelle righe il volume del venduto e nelle colonne la frequenza, facilmente si individuano gli articoli di maggior peso rispetto ai 2 caratteri considerati ( $a\alpha$ ,  $a\beta$ ,  $b\alpha$ ), i secondi in ordine di importanza, sono quelli che stanno nella diagonale secondaria ( $a\gamma$ ,  $b\beta$ ,  $c\alpha$ ), infine quelli dei gruppi ( $c\beta$ ,  $b\gamma$ ,  $c\gamma$ ) sono da classificare come di minore rilevanza. Queste tre classi vengono indicate rispettivamente con A, B, C.

La zona che in tabella è indicata con doppio tratteggio individua gli articoli di classe A, quella con minor tratteggio gli articoli di classe B ed infine la zona bianca gli articoli di classe C.

I prodotti del primo gruppo vanno posti nelle posizioni più facilmente raggiungibili e più vicine all'entrata ed all'uscita cosicché sia possibile prelevarli effettuando il cammino più breve, poi in posizioni intermedie devono stare quelli del secondo gruppo ed infine, in posizioni lontane quelli del terzo gruppo.

Questa soluzione per il problema di collocazione degli articoli a magazzino è chiaramente grossolana.

### 3.6.1 Modello di Assegnazione dei vani ai prodotti

In generale, i modelli di assegnazione degli spazi (*slot*) dell'area di stoccaggio alle diverse famiglie di prodotti (*storage location assignment problem*) si basa sul principio che gli articoli richiesti frequentemente devono essere collocati negli spazi più vicini alla zona di approntamento delle spedizioni affinché il tempo totale richiesto dalle attività di movimentazione sia minimo. Nel seguito si esamina il caso dei sistemi a posizioni fisse (Ghiani e Musmanno, 2000) in cui l'area di stoccaggio prevede un prefissato numero complessivo  $m_{PF}$  di punti di stoccaggio e per ciascun tipo di prodotto è assegnato un prestabilito sottoinsieme di tali punti.

Si indichi con:  $n$  il numero di tipi di prodotto presenti nell'area di stoccaggio;  $m_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ , il numero di punti di stoccaggio destinati al prodotto  $j$  (in un sistema a posizioni fisse vale la condizione:  $\sum_{j=1}^n m_j \leq m_{PF}$ );  $R$  il numero di punti di ingresso/uscita dell'area di stoccaggio;  $p_{jr}$ ,  $j = 1, \dots, n$ ,  $r = 1, \dots, R$ , il numero medio giornaliero di operazioni di movimentazione in ingresso/uscita da  $r$  riguardanti il prodotto  $j$ ;  $t_{rk}$ ,  $r = 1, \dots, R$ ,  $k = 1, \dots, m_{PF}$ , il tempo di spostamento dal punto di ingresso/uscita  $r$  al punto di stoccaggio  $k$ .

Nell'ipotesi che tutti i punti di stoccaggio usati abbiano un identico tasso di utilizzazione, è possibile stimare il costo  $c_{jk}$ ,  $j = 1, \dots, n$ ,  $k = 1, \dots, m_{PF}$ , di assegnamento della posizione di stoccaggio  $k$  al prodotto  $j$  come:

$$c_{jk} = \sum_{r=1}^R \frac{p_{jr}}{m_j} t_{rk} \quad (3.5)$$

dove  $\frac{p_{jr}}{m_j}$  rappresenta il numero medio giornaliero di operazioni di movimentazione del prodotto  $j$  tra il punto di ingresso/uscita  $r$  e uno qualsiasi dei punti di stoccaggio assegnati a tale prodotto e, conseguentemente,  $\frac{p_{jr}}{m_j} t_{rk}$  costituisce il tempo medio di spostamento imputabile al punto di stoccaggio  $k$  se esso è assegnato a prodotti di tipo  $j$ .

Indicando con  $x_{jk}$ ,  $j = 1, \dots, n$ ,  $k = 1, \dots, m_{PF}$ , le variabili decisionali di tipo binario, ciascuna delle quali con valore pari a 1 se il punto di stoccaggio  $k$  è assegnato al prodotto  $j$ , 0 altrimenti, il problema di ricercare l'allocazione ottimale dei prodotti ai punti di stoccaggio può essere schematizzato nel modo seguente:

$$\text{Min} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{m_{PF}} c_{jk} x_{jk} \quad (3.6)$$

s.a

$$\sum_{k=1}^{m_{PF}} x_{jk} = m_j, j = 1, \dots, n \quad (3.7)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} \leq 1, k = 1, \dots, m_{PF} \quad (3.8)$$

$$x_{jk} \in \{0,1\}, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m_{PF} \quad (3.9)$$

dove i vincoli (3.7) stabiliscono che tutte le unità convenzionali dei prodotti devono essere allocate, mentre i vincoli (3.8) impongono che ciascun punto di stoccaggio  $k, k=1, \dots, m_{PF}$ , può essere assegnato al più ad un tipo di prodotto.

Si osservi inoltre che, a causa della particolare struttura dei vincoli (3.7) e (3.8), le relazioni (3.9) possono essere sostituite dalle più semplici condizioni di non negatività del valore delle variabili decisionali, ovvero:

$$x_{jk} \geq 0, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m_{PF} \quad (3.10)$$

dal momento che è comunque garantita a priori l'esistenza di una soluzione ottima per il problema (3.6)-(3.8),(3.10) con componenti di tipo binario.

Nel caso in cui il centro di distribuzione utilizzi un unico punto di ingresso/uscita ( $R=1$ ), la soluzione del problema (3.5)-(3.7),(3.10) può essere ulteriormente semplificata.

Ciò dipende dal fatto che i coefficienti di costo  $c_{jk}, j=1, \dots, n, k=1, \dots, m_{PF}$ , assumono la seguente forma:

$$c_{jk} = \frac{p_{j1}}{m_j} t_{1k} = a_j b_k \quad (3.11)$$

in cui la quantità  $a_j = \frac{p_{j1}}{m_j}$  dipende solo dal prodotto  $j$ , mentre  $b_k = t_{1k}$  è funzione solo del punto di stoccaggio  $k$ .

Osservando che la minimizzazione del prodotto scalare tra due vettori  $\alpha$  e  $\beta$  si ottiene ordinando il vettore  $\alpha$  per valori non crescenti ed il vettore  $\beta$  per valori non decrescenti, la soluzione ottima del problema può essere determinata utilizzando il seguente schema:

**Passo 1.** Si costruisca il vettore  $\alpha$  di  $\sum_{j=1}^n m_j$  componenti, ottenuto realizzando  $m_j$  copie dello scalare  $a_j$  nella (3.9), per ogni  $j=1, \dots, n$ .

Si ordini il vettore  $\alpha$  per valori non crescenti delle sue componenti. Sia  $\sigma_\alpha(i)=j$ , l'indice relativo allo scalare  $a_j, j=1, \dots, n$ , corrispondente a  $\alpha_i, i=1, \dots, \sum_{j=1}^n m_j$  (gli indici  $\sigma_\alpha(i), i=1, \dots, \sum_{j=1}^n m_j$ , consentono quindi di "risalire" alla corrispondenza esistente tra le componenti del vettore  $\alpha$  e le quantità  $a_j, j=1, \dots, n$ ).

**Passo 2.** Sia  $b$  il vettore di  $m_{PF}$  componenti, ciascuna delle quali corrispondente allo scalare  $b_k$  nella (3.11),  $k=1, \dots, m_{PF}$ . Ordina il vettore  $b$  per valori non decrescenti delle sue componenti. Sia il vettore

di  $\sum_{j=1}^n m_j$  componenti, ottenuto considerando le prime  $\sum_{j=1}^n m_j$  componenti del vettore  $b$  ordinato. Sia  $\sigma_\beta(i) = k$ , l'indice relativo allo scalare  $b_k$ ,  $k=1, \dots, m_{PF}$ , corrispondente a  $\beta_i$ ,  $i=1, \dots, \sum_{j=1}^n m_j$  (gli indici  $\sigma_\beta(i)$ ,  $i=1, \dots, \sum_{j=1}^n m_j$ , consentono di "risalire" alla corrispondenza esistente tra le componenti del vettore  $\beta$  e le quantità  $b_k$ ,  $k=1, \dots, m_{PF}$ ).

**Passo 3.** Si determini la soluzione ottima del problema (3.6)-(3.8),(3.9) ponendo:

$$x_{z, \sigma_\beta(i)}^* = 1, \quad i = 1, \dots, \sum_{j=1}^n m_j \quad (3.12)$$

e  $x_{jk}^* = 0$ , per tutte le rimanenti componenti.

Un esame attento del modello precedente mostra come una sua applicazione nel caso reale potrebbe portare ad allocare prodotti che necessitano di un certo numero di punti di stoccaggio, in slot anche distanti fra loro.

Partendo quindi un layout ottimale definito, si può superare tale limite del modello, introducendo un vincolo che possa permettere di allocare uno stesso prodotto in punti di stoccaggio contigui o almeno appartenenti a uno stesso corridoio.

In questo nuovo modello, ogni punto di stoccaggio è identificato univocamente da due parametri:  $k$ , che identifica un certo punto di stoccaggio e  $z$ , per identificarne il corridoio di appartenenza.

Si indichi con:

- $n$  il numero di tipi di prodotto presenti in magazzino;
- $m_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ , il numero di punti di stoccaggio destinati al prodotto  $j$ ;
- $Z$ , il numero di corridoi presenti in magazzino;
- $R$ , il numero di punti di ingresso/uscita del magazzino;
- $m_z$ , il numero di punti di stoccaggio per il corridoio  $z$ ;
- $p_{jr}$ ,  $j=1, \dots, n$ ,  $r=1, \dots, R$ , il numero medio giornaliero di operazioni di movimentazione in ingresso/uscita da  $r$  riguardanti il prodotto  $j$ ;
- $t_{rkz}$ ,  $r=1, \dots, R$ ,  $k=1, \dots, m_z$ ,  $z=1, \dots, Z$ , il tempo di spostamento dal punto di ingresso/uscita  $r$  al punto di stoccaggio  $k$  afferente al corridoio  $z$ .
- $c_{jkz}$ ,  $j = 1, \dots, n$ ,  $k = 1, \dots, m_z$ ,  $z = 1, \dots, Z$ , il costo di assegnamento della posizione di stoccaggio  $k$  presente sul corridoio  $z$  al prodotto  $j$ , nell'ipotesi in cui tutti i punti di stoccaggio usati abbiano un identico tasso di utilizzazione. Tale costo può essere stimato come:

$$c_{jkz} = \sum_{r=1}^R \frac{p_{jr}}{m_j} t_{rkz}$$

dove  $\frac{p_{jr}}{m_j}$  rappresenta il numero medio giornaliero di operazioni di movimentazione del prodotto  $j$  tra

il punto di ingresso/uscita  $r$  e uno qualsiasi dei punti di stoccaggio assegnati a tale prodotto e, conseguentemente,  $\frac{p_{jr}}{m_j} t_{rkz}$  costituisce il tempo medio di spostamento imputabile al punto di stoccaggio  $k$  presente nel corridoio  $z$ , se esso è assegnato a prodotti di tipo  $j$ .

Le variabili di decisione in questo caso diventano:

- $x_{jkz}$ ,  $j = 1, \dots, n$ ,  $k = 1, \dots, m_z$ ,  $z = 1, \dots, Z$

variabili decisionali di tipo binario, ciascuna delle quali con valore pari a 1 se il punto di stoccaggio  $k$  presente sul corridoio  $z$  è assegnato al prodotto  $j$ , 0 altrimenti.

- $y_{jz}$ ,  $j = 1, \dots, n$ ,  $z = 1, \dots, Z$

variabili di tipo binario che assumono valore 1 se il corridoio  $z$  è utilizzato nello stoccaggio dal prodotto  $j$ , 0 altrimenti.

Il problema di ricercare l'allocazione ottimale dei prodotti ai punti di stoccaggio può essere in questo caso, schematizzato nel modo seguente:

$$\text{Min} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{m_z} \sum_{z=1}^Z c_{jkz} x_{jkz} + CS \sum_{j=1}^n \sum_{z=1}^Z y_{jz} \quad (3.13)$$

s.a

$$\sum_{k=1}^{m_z} \sum_{z=1}^Z x_{jkz} = m_j, \quad j = 1, \dots, n \quad (3.14)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jkz} \leq 1, \quad k = 1, \dots, m_z \quad z = 1, \dots, Z \quad (3.15)$$

$$x_{jkz} \leq y_{jz} \quad j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, m_z; \quad z = 1, \dots, Z \quad (3.16)$$

$$x_{jkz} \in \{0,1\}, \quad j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, m_z; \quad z = 1, \dots, Z \quad (3.17)$$

$$y_{jz} \in \{0,1\}, \quad z = 1, \dots, Z; \quad j = 1 \dots n \quad (3.18)$$

I vincoli (3.12) stabiliscono che tutte le unità convenzionali dei prodotti devono essere allocate, mentre i vincoli (3.15) impongono che ciascun punto di stoccaggio  $k$  presente nel corridoio  $z$ ,  $k=1, \dots, m_z$ ,  $z=1, \dots, Z$  può essere assegnato al più ad un tipo di prodotto.

I vincoli (3.16) garantiscono che qualora un prodotto venga allocato in una determinata posizione ( $x_{jkz} = 1$ ), la relativa variabile binaria  $y_{jz}$ , che indica l'utilizzazione del corridoio  $z$  da parte del prodotto  $j$ , assume anch'essa valore 1. Nel caso in cui la variabile  $x_{jkz}$  assumesse valore nullo, una soluzione ammissibile del problema potrebbe portare ad avere un valore nella  $y_{jz}$  sia di 0 che di 1. Tuttavia, la presenza del secondo membro nella funzione obiettivo, penalizza l'assegnazione di più corridoi allo stesso prodotto e costringe la  $y_{jz}$  ad assumere valore nullo.

Anche in questa nuova formulazione si osserva come, a causa della particolare struttura dei vincoli (3.14) e (3.15), le relazioni (3.17) possano essere sostituite dalle più semplici condizioni di non negatività del valore delle variabili decisionali, ovvero:

$$x_{jkz} \geq 0, \quad j = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, m_z, \quad z = 1, \dots, Z \quad (3.19)$$

dal momento che è comunque garantita a priori l'esistenza di una soluzione ottima per il problema (3.13)-(3.16), (3.18), (3.19) con componenti di tipo binario.

Nella funzione obiettivo, il coefficiente di costo  $CS$  risulta essere un valore sufficientemente grande da penalizzare, per il medesimo articolo, l'utilizzo di ulteriori punti di stoccaggio presenti in altri corridoi. Un valore che potrebbe essere preso a tal fine risulta essere:

$$CS = [\max(c_{jkz})]$$



### 3.7 L'automazione a livello operativo nel Centro di Distribuzione

Il magazzino e/o il Centro di Distribuzione come tutte le attività produttive può essere parzialmente o totalmente automatizzato nelle sue differenti aree operative.

Obiettivi dell'automazione sono principalmente l'ottimizzazione della gestione, l'ottimizzazione dell'identificazione dei materiali, il controllo dei flussi operativi, il controllo della produttività, il miglioramento del livello di servizio e la riduzione dei costi logistici specifici del magazzino.

Nell'automazione operativa ricadono le attrezzature e i sistemi che permettono di sostituire l'uomo nello svolgimento delle attività operative logistiche, o comunque di supportarlo, sollevandolo da determinate mansioni.

L'applicazione di uno o più sistemi di automazione necessita principalmente di un'adeguata analisi del o dei settori nei quali si prevede di applicare uno o più sistemi che facilitino le attività operative.

Nell'analisi si deve verificare il livello di fattibilità dell'automazione prevista o possibile, deve essere effettuata un'attenta valutazione del rapporto tra costi di investimento, costi di gestione e benefici che si ritiene possano derivare.

Le esigenze più comuni che potrebbero consigliare di investire in un magazzino automatico sono:

- aumentare qualità e quantità del servizio;
- ridurre il numero di addetti al trasporto interno ed ottimizzare il flusso delle merci in ingresso e uscita;
- ottenere un'alta densità di stoccaggio in relazione alle aree disponibili, sfruttando l'altezza;
- movimentare unità di carico con peso critico per altri mezzi di movimentazione;
- utilizzare il magazzino su più turni o a ciclo continuo;
- movimentare unità di carico in ambienti gravosi (ad esempio, celle frigorifere).

#### 3.7.1 Il sistema di controllo del Centro di Distribuzione

Automatizzare il magazzino e/o il centro di distribuzione richiede di dotare la struttura innanzitutto di impianti di stoccaggio automatizzati (vedi par. 2.5.3) con l'utilizzo di macchinari automatici (vedi AGV par. 3.4.3) per le movimentazioni dei materiali; non solo ma anche di un adeguato sistema di controllo.

Un sistema di controllo del magazzino (*Warehouse Control System WCS*) è un'applicazione software che dirige in tempo reale le attività all'interno di magazzini e centri di distribuzione, massimizzando l'efficienza dei sottosistemi di movimentazione del materiale. È costituito da una architettura di controllo multi-livello in cui ogni livello della gerarchia ha un ruolo definito.

Il livello più alto della gerarchia è il sistema di gestione del magazzino (*Warehouse management System, WMS*), o *host*. Questo sistema gestisce gli aspetti commerciali del sistema, come la ricezione degli ordini dei clienti, l'allocazione delle scorte, e la generazione di documenti di carico e

spedizione sulla base delle informazioni ricevute dal sistema di controllo della movimentazione dei materiali (WCS).

Le funzioni primarie di un WCS includono:

- ✓ interfacciamento *non real-time* con il livello superiore del sistema (WMS) per lo scambio di informazioni necessarie a gestire l'attività quotidiana del centro di distribuzione;
- ✓ assegnazione del carico di lavoro ai vari sottosistemi di movimentazione del materiale;
- ✓ assegnazione in tempo reale delle direttive di evasione degli ordini e di instradamento per gli operatori;
- ✓ controllo costante dei flussi di materiali in transito attraverso l'impianto (*tracking*);
- ✓ gestione delle relazioni di interfaccia tra i diversi segmenti del sistema di material handling e tra questi ultimi e le stazioni operative (per esempio operazioni di carico/scarico presso le stazioni operative);
- ✓ generazione di report e aggiornamenti automatici per il WMS;
- ✓ interfacciamento utente grafico con funzioni per facilitare il monitoraggio, il controllo e la diagnostica per la gestione efficiente del magazzino e/o del centro di distribuzione;
- ✓ raccolta di dati statistici sulle prestazioni operative del sistema per permettere al personale eventuali operazioni di manutenzione delle attrezzature.

L'automazione del controllo del flusso dei materiali esige due prerequisiti fondamentali: la semplificazione, razionalizzazione e disciplina del flusso dei materiali e del flusso delle informazioni, in modo da consentire la massima coerenza tra i due flussi.

Alto scopo di mantenere tale coerenza sono possibili due impostazioni fondamentali. La prima consiste nel mantenere tutti i dati relativi al flusso dei materiali nella memoria del calcolatore di processo il quale gestisce il traffico mediante sensori che registrano il transito dei carichi ma non ne consentono tuttavia l'identificazione. Si tratta di una soluzione a basso livello di "sensorialità" che risulta estremamente vulnerabile a fronte di imprevisti o possibili malfunzionamenti nell'impianto di *handling*, quanto risulta problematico ricostruire la situazione dei materiali una volta che si sia venuta a creare una discrepanza fra situazione effettiva e dati memorizzati nel calcolatore.

La seconda possibilità prevede l'impiego di dispositivi di identificazione automatica opportunamente disposti nei punti nodali dell'impianto che consentono la verifica costante della posizione dei singoli carichi codificati.

Questa seconda soluzione, a elevato livello di "sensorialità" si presenta maggiormente costosa ma più affidabile.

Si tratta di operare una scelta circa il grado di accentramento/decentramento. Una configurazione di tipo "distribuito", che consente cioè un certo margine di autonomia alle unità di controllo periferiche, prevede la trasmissione a tali unità da parte del calcolatore di processo di una lista di priorità dei trasferimenti da effettuare, lasciando alle unità stesse la decisione circa le modalità più opportune. In tal caso nella memoria del calcolatore di processo vengono mantenute unicamente le tabelle contenenti i dati origine/destinazione per ciascuna delle unità in transito; il calcolatore segnala al microprocessore interessato il codice di identificazione dell'unità da movimentare nonché la relativa

destinazione; il microprocessore gestisce il trasferimento e, al termine, comunica al calcolatore l'operazione avvenuta.

Il vantaggio di questa soluzione é dato dal fatto che eventuali modifiche del sistema di *material handling* possono essere effettuate apportando variazioni unicamente al software delle unità di controllo periferiche. L'utilizzo di tabelle origine/destinazione e dispositivi di identificazione automatica consente inoltre di rendere minime le interazioni (e quindi i flussi informativi) fra sistema di controllo del *material handling* e sistema di controllo generale.

Per esempio nel caso degli AGV la scelta fra sistema di controllo centralizzato/distribuito rende possibili due alternative fondamentali: decentrare nei singoli veicoli (dotati di microprocessore) alcune delle funzioni di gestione del traffico (per esempio determinazione dei percorsi ottimali) ottenendo così una serie di veicoli tendenzialmente autonomi oppure centralizzare tali funzioni presso il computer centrale cui viene affidata la gestione di una serie di veicoli tendenzialmente "dipendenti".

L'esigenza di modularità, di flessibilità e di espandibilità assume una rilevanza decisiva per il sistema di *material handling*, dato che tale sistema é frequentemente soggetto a interventi di modifica e di espansione.

### **3.7.2 I Sistemi di identificazione automatica degli imballi**

Una delle condizioni per garantire efficienza ad un magazzino, per quanto ben progettato ed attrezzato, é l'utilizzo di un adeguato sistema di codifica dei materiali in esso stoccati.

Un sistema di identificazione automatica consiste nella codifica degli imballi primari, secondari e terziari mediante appositi codici leggibili da dispositivi automatici, facilitando così l'amministrazione, il controllo e la movimentazione (trasferimento, smistamento, consolidamento, ecc.) dei materiali lungo la catena logistica.

E' possibile in tal modo effettuare automaticamente le attività di *data entry* che costituiscono una delle fasi più critiche per il corretto funzionamento del sistema informativo preposto al controllo del sistema logistico. I dati possono essere raccolti con elevata rapidità e accuratezza (evitando gli errori di trascrizione che si verificano nel caso di impiego di supporti di tipo cartaceo) e in un formato adatto all'elaboratore.

In questo modo si ottiene un aggiornamento tempestivo e accurato dei dati relativi alla movimentazione che ha risvolti molto positivi per il miglioramento dell'efficienza nelle operazioni di movimentazione, pianificazione, controllo, prelievo e spedizioni delle merci.

A seconda delle fase produttiva-distributiva e del *reporting* richiesto, l'identificazione automatica può riguardare prodotti, singole parti o componenti, confezioni o intere unità di carico come cartoni o pallet.

Mediante questi sistemi di identificazione automatica è possibile sostituire le operazioni di *data entry* manuale che sono molto onerose sia in termini diretti di costi di manodopera, sia per gli errori introdotti leggendo e digitando i codici dei prodotti, errori che possono anche pregiudicare l'efficienza del sistema informativo.

A questo proposito è possibile stimare gli errori commessi nelle operazioni di *data entry* manuali in circa 3 caratteri erronei su 1000 introdotti: tali errori si riducono a valori di tre ordini di grandezza inferiori per sistemi con codice a barre o sistemi utilizzando le frequenze radio. In particolare l'impiego di metodi di identificazione automatica dei materiali consente il controllo costante (*tracking*) dei flussi di materiali all'interno dell'impianto di produzione e distribuzione. Tra i vantaggi più importanti ottenibili con questi sistemi va sottolineata la possibilità di avere informazioni e controlli (*feedback*) praticamente in tempo reale, anche in sistemi molto complessi caratterizzati dalla presenza contemporanea di molti codici, come ad esempio i centri distributivi.

### 3.7.2.1 Il Sistema del codice a barre

La tecnica dei codici a barre nasce negli anni 1960 e si diffonde negli anni 1970, con lo scopo di identificare rapidamente imballaggi e merci. Per la sua semplicità e versatilità ha assunto un ruolo preponderante nei processi di tipo sia produttivo sia distributivo.

Un codice a barre (figura 3.42) è la traduzione ottica di un codice numerico o alfanumerico che definisce ed individua una particolare entità.



**Figura 3.42 Codice a barre EAN 13**

Tale traduzione ottica viene rappresentata mediante un'alternanza di barre verticali e di spazi.

Esistono più sistemi di composizione (detti anche "simbologie") dei codici a barre; essi corrispondono a esigenze diverse di codifica (numero delle informazioni, lunghezza del codice a barre, ecc.), riconducibili alla tipologia del prodotto ovvero alle esigenze del mercato. Tra i tipi più diffusi in Italia, troviamo il codice EAN (*European Article Number*) che viene utilizzato nella grande distribuzione.

Le rappresentazioni normali di un codice a barre sono a una sola dimensione, ovvero, è prevista una lettura orizzontale unica. Nella lettura vengono attraversate barre verticali nere e spazi bianchi; queste barre di larghezze differenti e gli spazi di ampiezze diverse sono gli elementi della simbologia; ogni simbologia usa un proprio numero di elementi differenti.

I Codici Unidimensionali EAN-8 e EAN-13 permettono di rappresentare solo cifre numeriche: EAN-8 consente di rappresentare sette cifre più una di controllo, mentre EAN-13 consente di rappresentare 12 cifre numeriche più una di controllo.

La simbologia denominata Code 39, ovvero 3 of 9, consente di rappresentare 42 simboli, composti da lettere maiuscole, cifre numeriche e pochi altri segni. Un codice a barre Code 39 è composto da un carattere di inizio, dai dati che deve contenere, da un codice di controllo (che non appare tradotto per la lettura umana) e dal carattere di fine. Il carattere usato per iniziare e per concludere la sequenza è l'asterisco, che quindi non può essere utilizzato nei dati contenuti.

La simbologia denominata Code 128, ovvero USS Code 128, consente di rappresentare 106 simboli, che possono essere interpretati secondo tre insiemi di caratteri, distinti in base a una lettera: A, B e C. Per questa ragione, un codice a barre realizzato secondo la simbologia Code 128 inizia sempre con la dichiarazione dell'insieme di caratteri. L'informazione non ha una lunghezza predeterminata e può essere modificato l'insieme di caratteri quando serve. La simbologia Code 128 prevede l'inserimento di un codice di controllo, calcolato automaticamente per consentire la verifica della lettura meccanica, ma questa cifra non viene mostrata per la lettura umana.

La codifica ISSN permette di identificare una pubblicazione periodica attraverso una tecnica simile a quella del numero ISBN per i libri. In questo caso, il numero è composto da otto cifre numeriche (compreso il numero di controllo), che vanno inserite in una simbologia EAN-13 aggiungendo all'inizio il prefisso 977, togliendo il numero di controllo ISSN, aggiungendo due cifre che rappresentano il codice del prezzo e aggiungendo il codice di controllo EAN-13. Inoltre, va aggiunto un codice a barre ulteriore per rappresentare due o cinque cifre in cui si indica il numero del fascicolo.

Il codice a barre comune è a una sola dimensione, nel senso che contiene una sola riga di informazioni, eventualmente anche molto breve. Semplificando le cose, si può dire che quando si sovrappongono più righe in un codice a barre, questo diventa a due dimensioni.

Un sistema di codice a barre a due dimensioni nasce con lo scopo di memorizzare dati e deve essere organizzato in modo da permettere al lettore meccanico di riconoscere e seguire le righe, inoltre deve essere previsto un sistema di informazioni ridondanti, anche molto complesso, in modo da garantire la lettura in presenza di errori.

Lo standard più comune per i codici a barre a due dimensioni è il PDF417. I sistemi di lettura (*scanner*) per codici a barre sono costituiti da tre moduli fondamentali: modulo di lettura, modulo di decodifica e modulo di comunicazione con il sistema informativo.

Dal punto di vista tecnologico possono essere distinti due tipi di dispositivi di lettura: lettori ottici o lettori laser.

I *lettori ottici* utilizzano una sorgente luminosa che illumina la superficie del codice consentendo a un apposito sensore di registrare la variazione del raggio riflesso. A seconda delle caratteristiche del dispositivo la lettura può essere effettuata a contatto oppure a distanza. Con dispositivi di questo tipo, utilizzati generalmente per la lettura di codici in inchiostro opaco su sfondi di vario tipo, la distanza e l'inclinazione della superficie da leggere deve essere accuratamente controllata. La qualità del codice deve essere buona per consentire un'adeguata accuratezza di lettura; possono sorgere difficoltà nella lettura di codici su superfici plastificate o su superfici curve.

A differenza dei lettori di tipo ottico (che effettuano ad ogni passaggio una singola lettura del codice), i *lettori laser* esplorano ripetutamente, a ogni passaggio, la superficie codificata, effettuando una serie di istantanee che consentono una maggiore accuratezza di lettura e quindi una minore sensibilità alle variazioni di allineamento e inclinazione della superficie stessa. I dispositivi laser consentono di leggere codici compatti, ad alta intensità, su oggetti in movimento o fermi. Dato che il codice è letto più volte è possibile utilizzare supporti di stampa meno costosi.

Nel caso di possibili variazioni di posizione e orientamento del codice, i lettori ottici consentono una minore accuratezza di lettura e richiedono pertanto metodi di codifica di elevata qualità.

I codici a barre e i sistemi di trasmissione dati online trovano applicazione nelle diverse aree operative di un centro di distribuzione:

- ✓ *Ricevimento merci.* Quando un automezzo si accosta alle banchine di scarico i dati contenuti nei documenti di viaggio vengono comunicati al computer centrale che determina la destinazione dei materiali in arrivo. Mediante terminali situati a bordo dei carrelli elevatori è possibile fornire agli operatori adibiti allo scarico delle merci tutte le istruzioni necessarie. L'operatore legge, con un lettore ottico, il codice applicato a ogni unità di carico e riceve automaticamente i dati relativi alla sua destinazione.
- ✓ *Stoccaggio.* Questa funzione può essere integrata con l'attività di scarico degli automezzi in arrivo. Assegnando un'opportuna codifica ai singoli vani dell'impianto di stoccaggio si ottiene un'immediata verifica della corretta allocazione delle singole unità di carico. Eventuali errori vengono immediatamente segnalati. Qualora le unità di carico vengano disposte in modo casuale il computer centrale è in grado di mantenere una mappa aggiornata della situazione del centro di distribuzione.
- ✓ *Inventario periodico.* Con metodologie di tipo manuale/cartaceo le operazioni di inventario richiedono normalmente la sospensione delle attività di immissione/prelievo almeno per quanto riguarda singole zone dell'impianto di stoccaggio. L'impiego di codici a barre sia per le unità di carico sia per i vani dell'area di stoccaggio consentono il controllo costante delle scorte, evitando interferenze con la continuità delle attività del centro di distribuzione. Eventuali errori che porterebbero a discrepanze fra i dati in possesso del sistema informativo e la situazione effettiva vengono immediatamente rilevati.
- ✓ *Picking.* Le istruzioni di *picking* possono essere fornite agli operatori all'atto di ciascun prelievo. La codifica sia degli articoli sia delle relative posizioni consente l'immediata rilevazione di eventuali errori; essa consente inoltre un accurato rispetto di criteri FIFO nel prelievo dei materiali.
- ✓ *Spedizione.* Durante la fase di carico degli automezzi in partenza i codici assegnati a ciascuna unità di carico vengono letti dal conducente del carrello elevatore e trasmessi al computer centrale. A carico ultimato vengono stampati i documenti di viaggio necessari.

### **3.7.2.2 L'Etichetta logistica e il codice SSCC**

L'etichetta logistica riporta le informazioni sia in chiaro, cioè in formato leggibile (caratteri, numeri, elementi grafici), sia sotto forma di codice a barre. Questa permette di:

- identificare in modo univoco ed inequivocabile l'unità logistica;
- rappresentare le informazioni, relative all'unità logistica, sia in chiaro sia sotto forma di codice a barre;
- fornire anche informazioni sui partner e le entità coinvolte nella movimentazione dell'unità logistica (fornitore, spedizioniere, cliente).

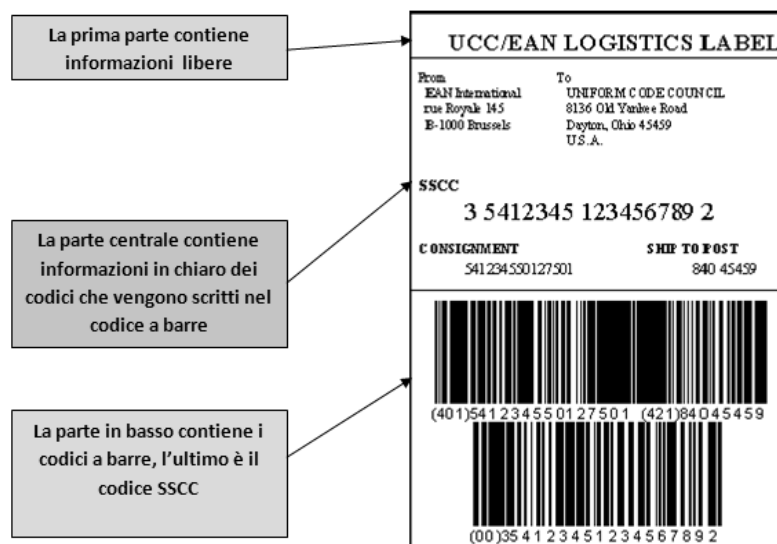
Il codice SSCC (*Serial Shipping Container Code*) costituisce l'informazione chiave dell'etichetta, e permette di tracciare individualmente il movimento fisico di ogni singola unità logistica e il flusso delle informazioni ad essa associato.

Tale standard può essere utilizzato da ogni utente della catena di distribuzione per contrassegnare e identificare univocamente le unità di trasporto. Esso permette una comunicazione facilitata tra produttore, trasportatore, distributore e dettagliante per quanto riguarda un'unità di trasporto. Grazie alla scannerizzazione del codice SSCC, in relazione ai documenti di trasporto trasmessi in formato elettronico, è possibile controllare in ogni momento l'invio e la consegna della merce, nonché aggiornare l'inventario, catalogare la merce e seguire le varie fasi del trasporto.

L'etichetta contiene anche informazioni relative alle dimensioni dell'unità logistica nonché dati di varia natura quali il numero seriale del prodotto, il codice EAN del contenitore da rendere, il prezzo per unità di misura, il codice di riferimento di un'eventuale offerta ed altri ancora.

L'etichetta logistica (figura 3.43) è strutturata in tre parti: nella prima parte in alto si possono inserire le informazioni libere ed informative di qualsiasi genere, nella parte centrale dell'etichetta sono contenuti le informazioni in chiaro dei codici che vengono scritti nel codice a barre e nella parte sotto in basso devono venire stampati i codici a barre con il codice SSCC.

Le dimensioni dell'etichetta possono essere qualsiasi, ma di solito sono di formato A5 (148 mm di larghezza × 210 mm di altezza), se si intende stampare solo il codice SSCC si può usare una dimensione di 105 mm mentre la seconda può essere variabile, se invece le informazioni da stampare richiedono una dimensione maggiore si mantengono fisse le larghezze a 148 mm (o 105 mm) e si varia solo l'altezza.



**Figura 3.43** L'etichetta logistica

I vantaggi connessi all'utilizzo dell'etichetta logistica sono:

- *Corretta gestione delle movimentazioni.* La lettura mediante scanner dell'SSCC sull'etichetta logistica consente di seguire e rintracciare le singole unità, fornendo un collegamento fra il

movimento fisico delle merci e il relativo flusso di informazioni. Offre inoltre l'opportunità di realizzare un'ampia gamma di applicazioni quali il *cross-docking*, l'inoltro delle spedizioni, il ricevimento automatizzato, ecc.

- *Conoscenza anticipata delle caratteristiche della merce.* Un ulteriore guadagno di efficienza viene ottenuto integrando l'etichetta logistica UCC/EAN-128 con la trasmissione elettronica di dati del messaggio DESADV (avviso di spedizione) dal fornitore al distributore. Questa soluzione consente al distributore di sapere quali caratteristiche hanno le merci che sono in arrivo prima ancora di averle ricevute. Al momento dell'arrivo, quindi, è sufficiente leggere il codice SSCC per reperire l'avviso di spedizione elettronico contenente le informazioni relative all'unità logistica. Il flusso sincronizzato e ottimizzato delle informazioni e delle merci consentirà di ridurre drasticamente gli errori al momento della presa in carico dei prodotti, renderà più preciso lo scambio dei dati e farà diminuire i tempi di movimentazione.
- *Rintracciabilità veloce dei prodotti difettosi.* Utilizzando questo strumento diventa possibile all'azienda rintracciare e quindi se necessario escludere dal processo di commercializzazione, una partita di prodotto non idoneo anche quando è uscita dai suoi stabilimenti.
- *Aumento dell'efficienza nel processo di movimentazione della merce.* Ogni intermediario può accedere alle informazioni di interesse operativo contenute nell'etichetta logistica e sfruttarle per ottimizzare la sua attività. Inoltre, può aggiungere nuovi dati alla carta d'identità del lotto che quindi diventa sempre più ricca man mano che si avvicina al punto di vendita in cui verrà commercializzato.

In generale un'azienda che commercializza i propri prodotti in tutto il mondo attraverso depositi e stabilimenti sparsi in diverse zone geografiche sarà sempre in grado di effettuare un *tracking* preciso dei flussi di merci all'interno della sua complessa catena di movimentazione. Può quindi risalire velocemente allo stabilimento di produzione dei prodotti stoccati in un determinato deposito o al lotto che li ha generati e quindi operare le scelte migliori dal punto di vista logistico per soddisfare al meglio le esigenze dei propri clienti, risparmiare costi e aumentare la velocità dei flussi.

### 3.7.2.3 La pallet card

Dopo la fase di ricevimento della merce il sistema informativo assegna in automatico ai vari pallet una posizione di stoccaggio tenendo conto della famiglia merceologica, in ordine crescente di peso.

Quando la merce è pronta per essere stoccata, viene stampata una *Pallet Card* (figura 3.44), che viene applicata su ogni pallet.

Sulla Pallet Card sono riportati:

- il tipo di pallet;
- il codice EAN dell'articolo;
- il codice in chiaro dell'articolo;
- la descrizione dell'articolo;
- la pezzatura dell'articolo;
- la data di carico;



- la scadenza;
- la postazione di stoccaggio che è stata assegnata;
- il numero di colli;
- il numero di pallet ricevuti per quell'articolo;
- il codice EAN di carico.

L'addetto allo stoccaggio provvede a prelevare i pallet arrivati dalla banchina. Tramite lettore ottico legge il codice EAN della Pallet Card, e sullo schermo del mezzo che utilizza per la movimentazione dei pallet, viene visualizzato la posizione di stoccaggio in cui depositare il pallet.



**Figura 3.44 pallet card**

### 3.7.2.4 La tecnologia RFID

Si tratta di un sistema di trasmissione fra una o più antenne ed uno o più chip. L'RFID (*Radio Frequency Identification*) non è una singola tecnologia, ma è costituita da un vasto insieme di tecnologie, tra loro molto diverse. Questa eterogeneità è dovuta a fattori strutturali, nonché a fattori legati alle specificità del campo applicativo, molto vasto e diversificato.

Per capire meglio le potenzialità dei sistemi RFID è necessario conoscerne gli elementi strutturali:

- *Lettore (o reader)*: dispositivo elettronico che comunica col transponder (o *tag*, vedi seguito), quando quest'ultimo è attivo. La comunicazione avviene tramite interrogazioni sul *tag* stesso, che risponde inviando le informazioni richieste. Se da un lato il lettore si interfaccia tramite le antenne con i *tag* dall'altro dialoga con l'*host computer*, per trasmettere i dati letti e ricevere istruzioni di lettura.

Il lettore è formato da due componenti: unità di controllo e antenna.

L'*unità di controllo* (o CPU), è un microcalcolatore avente un sistema operativo in tempo reale che permette di gestire:

- interfacce con le antenne (da 4 ad 8);
- interrogazione dei *tag* che entrano nel campo d'azione dell'antenna;

- gestione delle collisioni dei messaggi di risposta dei *tag*;
- interfaccia coi sistemi informativi aziendali.

In sintesi, l'unità di controllo rende possibile l'interrogazione dei transponder che attraversano il campo elettromagnetico di un'antenna ed è responsabile del funzionamento degli algoritmi di anticollisione per una corretta gestione della ricezione di vari *tag*, quando presenti contemporaneamente nello stesso intervallo di lettura.

L'*Antenna del lettore* è l'elemento che fornisce energia al *tag* e riceve il segnale radio emesso dallo stesso. I *tag* vengono attivati e alimentati tramite il campo elettromagnetico emesso dalle antenne, e restituiscono un segnale modulato in radiofrequenza che viene ricevuto tramite le antenne stesse.

I lettori sono presenti in due tipologie: portatili o fissi.

I *reader portatili* (figura 3.45), integrati in dispositivi portatili, possono essere usati da un operatore o, eventualmente, possono essere posti sui mezzi di movimentazione, integrati con un'antenna.



**Figura 3.45 Esempi di reader portatili**

I *reader fissi* (figura 3.46) sono integrati a gruppi di antenne come i *gate*, portali o tunnel.



**Figura 3.46 Esempio di reader fissi**

- *Transponder (o tag)*: detto anche etichetta intelligente, è l'elemento fondamentale di tutto il sistema e costituisce il supporto fisico di identificazione automatica. All'interno del *tag* vengono memorizzate le informazioni che ne permettono il riconoscimento univoco. Una volta attivato dagli altri elementi del sistema attraverso un campo elettromagnetico, il *tag* è in grado di trasmettere le informazioni in esso contenute. Esso viene posto sull'oggetto che si vuole tracciare ed è formato da:
  - un'*antenna di rame*, solitamente a spirale;
  - un *chip* che contiene i dati, tra cui il numero di identificazione univoco scritto nel silicio;
  - un *supporto* per proteggere *chip* ed antenna;
  - presenza o meno di una *batteria* che lo alimenta.

Il *tag* (figura 3.47) si differenzia per varie caratteristiche quali funzionamento, memoria, funzionalità ed anche dimensioni e forme. Il termine *tag* è utilizzato per individuare tutte le piccole “etichette”, di forma e dimensioni più disparate, da palline, a chiodi, a etichette, a microfibre (che possono essere incorporate in tessuti), a inchiostri (utilizzabili per stampare *tag* su carta). Le differenziazioni tra i vari *tag* vengono evidenziate in base al tipo di applicazione cui sono destinati, al tipo di oggetto cui devono essere applicati e sulla base delle condizioni ambientali in cui dovranno essere usati.

Tra i vari tipi di *tag* che si differenziano dal punto di vista morfologico ci sono quelli flessibili con forma analoga a una carta di credito, quelli con forma di disco e moneta, i *tag* dedicati (modellati in supporti di plastica usati da contenitori), i *tag* a forma di chiave, i *tag* progettati su misura per contenitori e pallet, i *tag* di carta, e vari altri tipi di *tag* realizzati a seconda delle esigenze del prodotto su cui devono essere applicati.



**Figura 3.45 Esempi di tag (Foto SOFTWARE SRL)**

I *tag* risultano immuni alla maggior parte dei fattori ambientali, ma i *range* di lettura e scrittura possono risentire in modo determinante della vicinanza di metalli, di liquidi o di radiazioni elettromagnetiche che interferiscono con i fenomeni di propagazione radio, disturbando o al limite inibendo le comunicazioni tra gli elementi del sistema. Per queste ragioni è importante progettare e realizzare singolarmente ogni installazione, poiché sistemi ben progettati e installati sono in grado di sopperire a tali difetti.

I formati principali dei *tag* sono le *label* (etichette) e le PCB (*Printed Circuit Boards*, schede a circuito stampato).

Le *label* sono caratterizzate dalla presenza di una bobina a radiofrequenza stampata punzonata, impressa o depositata su un substrato di carta o di poliestere con un chip di memoria. Una *label* è meno resistente alle condizioni ambientali rispetto a un *tag* incapsulato, ma risulta più vantaggiosa in termini di costo in ambiti applicativi in cui non sia previsto il riutilizzo del *transponder*. In quest'ultimo caso la *label* viene applicata sul prodotto e spedita attraverso tutta la catena logistica, ma non può essere riutilizzata poiché l'oggetto al momento dell'acquisto da parte del cliente, scompare dalla catena logistica. In alternativa, i *tag* sono riusabili, per esempio in applicazioni per il tracciamento dei pallet. Per i bassi costi che comporta, una soluzione basata su *label* risulta estremamente interessante per applicazioni in cui si ha a che fare con alti volumi.

Le PCB sono destinate ad essere costruite appositamente per essere “incorporate” nei prodotti, ma pur presentando ottime caratteristiche di resistenza alle alte temperature, richiedono di essere incapsulate se si usano in condizioni ambientali sfavorevoli come, ad esempio, pioggia o elevata

umidità. Una PCB, quindi, presenta soprattutto il grande vantaggio, della resistenza in ambienti in cui una semplice *label* non sarebbe in grado di sopravvivere.

Esistono differenti tipologie di *tag* (vedi Tabella 3.11), in base al tipo di caratteristica che si vuole porre in risalto. Ad esempio, si possono avere *tag* di tipo passivo, di tipo attivo e di tipo semipassivo. I *tag* attivi sono alimentati tramite batteria e, di conseguenza, possono trasmettere senza essere interrogati direttamente dal lettore. Poiché la tecnologia di cui sono costituiti è complessa, il loro costo è elevato; in aggiunta, si ha che la batteria, che li alimenta, deve essere ricaricata, quando è necessario, o addirittura sostituita. Questa tipologia di *tag* viene impiegata per applicazioni sofisticate, quali aerei militari e civili e mezzi di trasporto in movimento a velocità elevate. Tali applicazioni richiedono funzionalità evolute come, ad esempio, quando è richiesto un controllo continuo telemetrico di grandezze fisiche.

I *tag* passivi, a differenza di quelli attivi, non possiedono batteria. Essi vengono alimentati direttamente dal lettore, quando questo li interroga. L'alimentazione ricevuta serve a mantenere attiva la memoria per evitare perdite dei dati memorizzati, e ad essere attivati: ovvero, quando il *tag* entra nel campo d'azione delle onde elettromagnetiche del lettore, viene indotta una corrente variabile sull'antenna del *tag* stesso; quando la corrente raggiunge un valore di soglia tale da fornire l'energia necessaria anche alla trasmissione, allora il *transponder* inizia a trasmettere le informazioni memorizzate. Nel momento in cui il *tag* non è pervaso dalle onde elettromagnetiche del lettore, si disattiva. Questo tipo di *transponder* viene utilizzato tipicamente per le applicazioni di massa come mezzi di trasporto a bassa velocità o identificazione di oggetti.

I *tag* semipassivi (o semiattivi) incorporano le caratteristiche dei *tag* attivi, per quanto riguarda l'alimentazione, e quelle dei *tag* passivi per la fase di interrogazione: trasmettono i dati solo se vengono interrogati dal lettore. Sono più complessi a livello circuitale rispetto ai *tag* precedentemente visti e più costosi.

Un *tag* attivo potrà lavorare a frequenze e a distanze maggiori rispetto a quello passivo, in quanto avendo una propria batteria di alimentazione, può sfruttare tutta la potenza prodotta dalla sua antenna per lavorare, mentre il *tag* passivo deve sfruttare l'energia fornitagli dall'antenna del reader per duplice scopo: alimentarsi e lavorare.

- *Middleware*: ha il compito di configurare, tramite un'interfaccia, un generico apparato dell'infrastruttura RFID, impostare i comandi specifici che determinano il funzionamento del dispositivo e integrarlo nell'ambito dell'intera infrastruttura. Risulta quindi essere l'elemento di collegamento tra il sistema RFID propriamente detto e il resto del sistema informativo aziendale.

L'introduzione del sistema RFID in un centro di distribuzione permette di ottenere numerosi vantaggi.

Un sistema RFID può ridurre la necessità di manodopera per particolari funzioni (per esempio un accesso automatizzato di un varco elimina un addetto al controllo del varco stesso, un ricevimento del materiale identificato RFID evita la digitazione a PC per l'acquisizione dei dati dalla bolla di carico, ecc). Sicuramente il tempo impiegato per acquisire, posizionare e movimentare i prodotti può essere ridotto. Questi risparmi possono anche comportare la riduzione di personale. Tra le voci di

costo che possono diminuire grazie all'introduzione della tecnologia RFID abbiamo quelle inerenti la riduzione di apparecchiature informatiche (PC, Terminali, cartucce per stampanti, carta, ecc), la riduzione del numero dei supporti specifici (pallet, telai, ecc.) per il posizionamento del prodotto o la sua movimentazione. All'incidenza annua del valore delle attrezzature risparmiate, deve essere sommato il costo annuo per le riparazioni, manutenzioni, assistenza e ricambi. Per quelle attrezzature che, risultando esuberanti e non diversamente riutilizzabili, possono essere rivendute, potrà essere stimato il ricavo dalla loro vendita e l'ammontare potrà essere dedotto dal costo iniziale del nuovo sistema di identificazione RFID.

Tag	Vantaggi	Svantaggi	Osservazioni
Passivi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tempi di vita più lunghi</li> <li>• vasta gamma di forme</li> <li>• maggiore flessibilità meccanica</li> <li>• basso costo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distanze limitate a 4-5 m</li> <li>• Rigoroso controllo dalle regolamentazioni locali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sono i più usati nei sistemi RFID</li> <li>• Lavorano in bande LF, HF, UHF</li> </ul>
Semi-Attivi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande distanza di comunicazione</li> <li>• Possibilità di usare altri dispositivi di controllo (sensori di pressione, temperatura ecc)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo</li> <li>• Scarsa affidabilità</li> <li>• Rischio ambientale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usati nei sistemi in tempo reale per rintracciare i materiali di alto valore</li> <li>• Lavorano in bande UHF</li> </ul>
Attivi		<ul style="list-style-type: none"> <li>• connesso con le sostanze chimiche presenti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usati per rintracciare container su camion, treni ecc</li> <li>• Lavorano in banda SHF</li> </ul>

**Tabella 3.11** Tipologie di tag

L'uso di sistemi RFID su pallet, container, transpallet massimizza l'efficienza di questi mezzi procurando:

- riduzione di spazio attraverso una più razionale dislocazione dei prodotti;

- riduzione tempi morti per una più efficiente localizzazione del prodotto;
- minore numero di mezzi di movimentazione necessari e conseguente minore loro manutenzione;
- inventario in tempo reale.

Vantaggi aggiuntivi sono poi: la maggiore documentazione, maggiore velocità nell'esecuzione delle operazioni, minore usura dei mezzi tecnici impiegati.

Il costo di inefficiente movimentazione eseguito con tradizionali sistemi di identificazione manuali è stimato pari al 25% del costo totale di movimentazione.

Il sistema RFID permette di automatizzare l'inventario con l'identificazione per unità di prodotto immagazzinato. Il costo per l'esecuzione dell'inventario (generalmente una volta all'anno) si calcola moltiplicando il costo delle ore lavorate dal personale per il numero degli addetti coinvolti, maggiorato del 20 % per i costi amministrativi e spese generali relative all'inventario (luce, riscaldamento, servizi).

In un centro di distribuzione attraverso la tecnologia RFID si può rendere trasparente l'intero ciclo di vita di ogni singolo prodotto, dalla gestione della catena degli approvvigionamenti al controllo della disponibilità fino all'uscita della merce dopo gli acquisti. Inoltre, collocando lettori RFID sugli scaffali, è possibile rilevare automaticamente gli ordini per il reintegro dei prodotti e per tenere le scorte sempre al livello ottimale. Tutto questo si traduce in una serie di benefici tangibili che si possono catalogare nella riduzione del costo del lavoro, nell'abbassamento dei livelli di stock, nella riduzione dei prodotti scaduti e, in generale, in una maggiore efficacia operativa.

Inoltre applicando un *tag* non solo sull'etichetta presente sull'unità di carico, ma su ogni singolo collo in uscita da un centro di distribuzione, si ridurrebbero quasi del tutto gli errori anche in fase di spedizione. Infatti, se il sistema rileva un'incongruenza tra le merci dell'ordine e quelle che sono effettivamente passate sotto la baia di carico (e quindi spedite) richiama il trasportatore, evitando così lunghe e costose procedure di resi, fatturazioni e lamentele.

Molti sono quindi i motivi che potrebbero spingere le imprese ad utilizzare il *RFID* per svariati motivi all'interno del processo di gestione delle merci, creando valore aggiunto per i propri clienti. Resta però da dire che il costo del *tag*, sebbene diminuito molto negli anni, risulta essere ancora troppo alto per allargare l'applicazione dell' *RFID* a vari processi della catena logistica dei centri di distribuzione.

### **3.7.2.3 Confronto tra la tecnologia RFID e Codice a Barre**

Rispetto al codice a barre, la tecnologia a radiofrequenza offre numerosi vantaggi: la lettura non richiede contatto diretto e vista ottica, non c'è bisogno quindi dell'orientazione verso lo scanner. I *tag* possono essere letti contemporaneamente, possono lavorare in ambienti sporchi, contaminati e resistere anche a condizioni (agenti ambientali, sollecitazioni termiche, chimiche, meccaniche) molto difficili. Sono quindi più durevoli. Contengono più dati rispetto al bar code e possono essere riscritti e aggiornati con nuove informazioni. Operano anche immersi in un fluido, dentro l'oggetto che si

vuole identificare o all'interno di un contenitore. I tag Rfid sono più costosi rispetto ai codici a barre, ma il rapporto costi/benefici è generalmente vantaggioso.

CODICI A BARRE	RFID
La modalità di accesso è di sola lettura	La modalità di accesso è di lettura o scrittura
Il codice a barre deve essere direttamente visibile al lettore.	<i>Reader</i> e <i>tag</i> non necessitano di un contatto visivo.
La lettura dei codici a barre è sequenziale, è possibile cioè identificare un prodotto alla volta.	Un <i>reader</i> è in grado di comunicare anche con centinaia di <i>tag</i> in pochi secondi, grazie agli algoritmi di anticollisione.
La distanza massima di lettura è di poche decine di centimetri.	La distanza massima di lettura è dell'ordine dei metri nei <i>tag</i> passivi e dei chilometri nei <i>tag</i> attivi.
La quantità massima di informazione memorizzabile è di 100 byte.	I <i>tag</i> passivi memorizzano da 128 byte a 8 Kbyte di informazioni; i <i>tag</i> attivi possono arrivare a 32 Kbyte.
I lettori sono estremamente sensibili ad alterazioni ottiche, abrasioni e macchie.	I lettori sono totalmente insensibili allo sporco e a qualsiasi tipo di illuminazione presente.
In fase di lettura sono richiesti angoli di lettura predefiniti; l'operazione deve essere svolta inoltre a velocità praticamente nulle.	I <i>transponder</i> possono assumere qualsiasi orientamento durante la lettura o la scrittura; esse possono inoltre avvenire con <i>transponder</i> in movimento.
Esistono 26 tipi di codifica differenti impiegati a seconda del paese o del campo di applicazione dei codici a barre.	Il <i>transponder</i> ha un codice unico a livello mondiale. L'unicità è garantita direttamente dai produttori dei <i>chip</i> .
Non esistono particolari sistemi di sicurezza.	La sicurezza dell'accesso alle informazioni è garantita da sistemi di crittografia.
Duplicare un codice a barre è estremamente semplice.	Duplicare un <i>transponder</i> è praticamente impossibile.
Il costo di un codice a barre è praticamente nullo.	Il costo di un <i>transponder</i> è ancora proibitivo per alcuni campi di applicazione.

**Tabella 3.12 Confronto tra Codice a barre e RFID**

Nella Tabella 3.12 possiamo osservare un confronto diretto tra le due tecnologie in base a efficienza, resistenza, capacità, flessibilità.

Questo confronto dimostra che è molto probabile che il sistema RFID sia destinato a sostituire il tradizionale sistema a codici a barre nell'ambito degli strumenti di identificazione dei prodotti.

Le funzionalità dei transponder sono, infatti, molto superiori a quelle del bar code e determineranno una vera e propria rivoluzione nel campo dell'identificazione che diventerà:

- *automatica* (nel vero senso della parola); poiché la lettura del transponder non richiede alcuna attività manuale;
- *univoca*; poiché il codice interno di ogni *tag* permette di identificare individualmente il *transponder*;
- *incrementale*; poiché le informazioni contenute nel *tag* possono essere modificate e aggiornate a seconda delle necessità.

### 3.8 La gestione delle scorte

Una componente essenziale da considerare nell'ambito delle decisioni tattiche necessarie al successo, in termini di efficacia ed efficienza, di un sistema logistico è la definizione della politica di gestione delle risorse coinvolte nella produzione di un bene materiale e che costituiscono le scorte. Si definisce scorta (*stock*, *giacenza*, *inventory*) l'accumulo temporaneo, programmato o imprevisto di merci o beni in un punto della catena logistica in attesa di essere sottoposto ad un processo di trasformazione o di distribuzione.

In relazione alla loro provenienza distinguiamo tra scorte interne, quando risultano da processi di produzioni interni all'impresa, ed esterne, quando la provvista viene effettuata presso fornitori esterni all'impresa.

Possiamo avere una classificazione delle scorte per funzione, e quindi parliamo di:

*Scorte di materie prime*: le scorte di tali articoli vengono usate per rendere indipendente il processo produttivo dai fornitori. Aspettano di essere immesse per la prima volta nel ciclo produttivo, a differenza di semilavorati e prodotti finiti che hanno già subito lavorazioni, parziali o complete, all'interno dell'impresa. Le scorte di materie prime sono detenute al fine di ovviare ai ritardi nelle consegne degli approvvigionamenti o di ridurre i costi di acquisto in caso di sconti su quantità o condizioni di deprezzamento.

*Scorte di semilavorati*: sono materiali che hanno subito alcune lavorazioni ma non ancora ultimati, tali scorte si formano a causa del tempo necessario (*cycle time*) per produrre un prodotto finito. Le scorte di semilavorati sono cumulate per ovviare ai ritardi di consegna di sub-fornitori o di altri reparti, svincolare i reparti dai ritmi e dalla programmazione della produzione, consentire alle singole stazioni di organizzarsi con un minimo di autonomia.

*Scorte di articoli di manutenzione, riparazione e ricambio (MRO)*: sono scorte necessarie per mantenere produttivi i macchinari e i processi.



*Scorte di prodotti finiti*: tali scorte servono ad evadere celermente gli ordini, a far fronte ad andamenti ciclici della domanda, ad evitare modificazioni radicali della programmazione della produzione per fronteggiare le irregolarità delle richieste.

Questa divisione evidenzia la funzione delle scorte di separare acquisto-trasformazione-vendita. Ma possiamo anche avere una classificazione delle scorte per destinazione d'uso, e parliamo di (Grando, 1995): scorte operative o funzionali, scorte speculative e scorte di sicurezza.

Questa classificazione è più utile, ai fini gestionali, della classica classificazione materie prime / prodotti finiti / semilavorati, utilizzata invece a livello di bilancio.

**Le scorte tecniche (o operative o funzionali)** oltre a consentire un completodisaccoppiamento delle fasi acquisto-produzione-vendita, vengono accumulate con l'intento di coprire le esigenze di un determinato periodo, riassumibili nel tempo necessario al trasporto o alla produzione di un bene. Così la scorta funzionale assume la veste di *scorta in transito*, detta anche di trasferimento o di lavorazione, o ancora *pipeline*, quando viene accumulata in relazione al tempo necessario al trasporto di un'unità di scorta da un punto di lavorazione ad un altro, tenuta in magazzino con il fine ultimo di ottimizzare l'efficienza del processo produttivo. L'ammontare totale della scorta in transito ( $I$ ) dipende, oltre che dal tempo di transito dallo stadio precedente al punto di stoccaggio, anche dalla quantità da trasportare legata a sua volta alla domanda da soddisfare ( $S$  vendite, o consumo, medi nell'unità di tempo). L'entità di tali giacenze viene generalmente rappresentata dall'espressione:  $I = S \times T$

L'espressione indica, tra l'altro, che per ridurre il livello di giacenza delle scorte in transito o si riducono i relativi tempi di trasferimento o se ne aumenta il ritmo di consumo/vendita.

Ma le scorte funzionali assumono anche la forma di *scorte organizzative*, o di disaccoppiamento perché sono utilizzate per organizzare efficacemente le fasi del processo acquisto-produzione-vendita, con il fine ultimo di evitare malfunzionamenti per il sistema impresa nel suo complesso.

Assumono così la funzione di:

- scorte da unità economica; (*lot size inventory*), generate in corrispondenza di acquisti (o produzioni) in quantità superiori alle immediate necessità, per sfruttare sconti di prezzo o ottimizzare i costi di trasporto;
- scorte stagionali, (*buffer stock*) create per compensare oscillazioni nella domanda;
- scorte preventive (*anticipation stock*) per evitare difficoltà di approvvigionamento o problemi da fermate di impianto;
- scorte di ciclo che serve al cliente per continuare la produzione nel periodo che intercorre tra una consegna e l'altra, è pertanto proporzionale al tempo di consegna;
- scorte di congestione: dovute al limitata capacità delle risorse di produzione;
- scorte di duplicazione: presente in una supply chain multilivello, per permettere il decentramento delle decisioni di gestione.

**Le scorte speculative (o strategiche)** sono mirate a trarre vantaggio da una variazione, che può essere in aumento o diminuzione, nei prezzi di acquisto o di vendita, servono per tutelare l'impresa da innalzamenti del costo di materie prime, in risposta ad un aumento rispetto al normale fabbisogno o come pura speculazione.

**Le scorte disponibili (o virtuali)** sono definite come le quantità in giacenza fisica, più le quantità ordinate, meno le quantità già impegnate (*backorder*).

**Le scorte di sicurezza** (*safety stock*) presenti per far fronte all'incertezza della domanda, rispondono allo scopo di assicurare continuità ai processi produttivi e alle vendite, laddove ciò è considerato un obiettivo primario dal parte del management.

Nella definizione delle scorte di sicurezza un approccio diffuso e molto semplice nell'applicazione è quello di tipo probabilistico, si assume che la domanda, osservata in un definito periodo di tempo, sia normalmente distribuita, con una media ed una deviazione standard. Le scorte di sicurezza possono essere definite come "l'ammontare di scorte detenute a magazzino, in eccesso rispetto alla domanda attesa che, in caso di distribuzione normale, equivarrebbe alla domanda media".

L'entità della scorta di sicurezza dipende dal livello di servizio desiderato.

Da queste definizioni viene evidenziato il ruolo finale delle scorte, quello di ridurre la variabilità endogena ed esogena a cui il sistema impresa è sottoposto. La variabilità endogena si lega agli elementi interni dell'impresa, dunque problemi di logistica e di movimentazione interna, presenza di colli di bottiglia, errori nella programmazione della produzione, guasti improvvisi, ecc..., cioè tutte quelle fasi che si sviluppano attorno al processo di trasformazione; la variabilità esogena si lega agli elementi esterni all'impresa, dunque imprevedibilità dei mercati, affidabilità delle forniture, sicurezza negli acquisti, ecc..., cioè garanzia di fluidità e uniformità del processo di trasformazione con la variabilità del mercato.

### **3.8.1 I Costi di gestione**

L'attività di gestione delle scorte risulta assolutamente centrale e fondamentale all'esercizio di qualunque attività industriale.

I motivi per cui vengono mantenute delle scorte sono essenzialmente i seguenti tre:

- motivo transazionale: producendo o ordinando grandi lotti di merce i costi fissi (ad esempio quelli di trasporto) possono essere ridotti, e possono realizzarsi delle economie di scala agevolando la distribuzione;
- motivo precauzionale e/o di *smoothing*: le scorte possono offrire delle garanzie contro le incertezze dei fornitori, dei trasporti, della produzione e più in generale del mercato poichè le scorte disaccoppiano fasi successive della catena produttiva o distributiva, cioè ne riducono la mutua influenza e ne facilitano la gestione;
- motivo speculativo: è vantaggioso disporre di scorte se sono previsti aumenti di valore o di costo nel prossimo futuro.

L'attività di gestione, però, risulta essere anche estremamente dispendiosa poiché i suoi costi vanno ad incidere profondamente sul valore delle scorte, arrivando a costituire fino al 40% del valore totale di queste ultime.

Essi possono essere classificati in costi fissi, pressoché indipendenti dal volume delle attività, e costi variabili, in prima approssimazione, proporzionali al volume delle attività. Più in dettaglio i costi

associati al mantenimento delle scorte possono essere specificati in tre grandi famiglie: costo di mantenimento, costo di rifornimento, costo di penuria.

✓ I **costi di mantenimento** o di giacenza, (*carrying costs*) sono formati da:

- a) costi di esercizio di magazzini e depositi (affitti, riscaldamento, illuminazione, personale, manutenzione, assicurazioni e tasse), si tratta in gran parte di costi variabili influenzati dalla decisione relativa all'entità del lotto di approvvigionamento;
- b) costi per obsolescenza e deterioramento, nonché per eventuali furti, cali e sprechi;
- c) costo dei mezzi finanziari assorbiti dalle scorte, in relazione al costo del capitale (inteso come costo medio delle varie fonti di finanziamento), al volume dei mezzi impiegati e dal tempo di permanenza delle scorte a magazzino.

Minore è l'accumulo di scorte nel sistema, minore è il tempo di latenza dei materiali e quindi minori sono i costi di giacenza. Il costo di giacenza dipende quindi dal valore economico della risorsa e dal suo quantitativo medio immobilizzato o nascosto all'interno del sistema nel periodo di pianificazione della produzione. Dove il valore economico della merce a magazzino viene calcolato moltiplicando i quantitativi medi immagazzinati per il loro prezzo unitario. A seconda dei casi, come prezzo unitario si assume il prezzo medio, il prezzo standard o il prezzo attuale di acquisto dei materiali a magazzino.

✓ Il **costo di rifornimento** (*replenishment costs*) detto anche di emissione dell'ordine, si riferisce al costo sostenuto dall'impresa per ricostituire le scorte, e varia a seconda delle modalità di acquisto o produzione interna. Ha due componenti principali:

- a) il costo connesso all'acquisto, che non dipende dalla quantità approvvigionata, comprende i costi di rilevazione della mancanza, di ricerca, contatto e selezione del fornitore, o dei costi di set up per i prodotti fabbricati;
- b) il costo dell'ordinazione, dovuto alle attività di emissione dell'ordine (spese postali, telefoniche, di fatturazione e scrittura, ecc.) di ricevimento e controllo delle merci (spedizione, registrazione, controllo qualità, ecc.) nel caso di acquisti; o delle attività di pianificazione, *scheduling* e lancio nel caso di produzione.

Per queste loro caratteristiche i costi totali di emissione dell'ordine sono indipendenti dalle dimensioni del lotto e proporzionali alla frequenza delle ordinazioni.

✓ Il **costo di penuria** comprende: costi di "fuori scorta" o "sottoscorta" o "rottura di stock" (ossia esaurimento o insufficienza delle scorte) e costi di "sovra stock" (eccedenza delle scorte).

I costi dipendenti dall'esaurimento delle giacenze di magazzino si generano allorché l'impresa non riesce a far fronte tempestivamente (o non è affatto in grado di rispondere) alle richieste del mercato, o al fabbisogno interno.

Nel caso di scorte di materie prime o di semilavorati, la situazione di sottoscorta può comportare onerose fermate degli impianti, costi di riattrezzaggio per convertire le produzioni, tempi di attesa.

Nel caso di prodotti finiti, i costi in esame sono connessi all'allontanamento temporaneo o definitivo del cliente insoddisfatto, all'attuazione di interventi di emergenza, acquisti fuori piazza.

I costi di sovra stock sono costituiti dai maggiori costi di mantenimento generati da un'eccedenza non fisiologica di scorte, non motivata cioè né da stagionalità né da ragioni speculative. È intuitiva la

difficoltà di calcolo specie allorché l'assorbimento è molto ampio, in quanto si tratta di individuare quegli articoli di cui è da considerare in eccesso la quantità in scorta per cause che esulano da quelle suddette dall'obsolescenza.

In tali circostanze vanno anche soppesate le difficoltà di smercio (prodotti finiti), o di utilizzo nelle linee produttive (materie prime e semilavorati) onde tenerne conto nelle valutazioni di bilancio.

Infatti, è probabile che l'azienda potrà liberarsi degli articoli accumulati in più, con non lieve sacrificio sul prezzo, specie se trattasi di beni soggetti a obsolescenza, moda, calo della domanda, ecc.

Si osservi che da quanto si è detto scorte eccessive comportano oneri economici e spreco di risorse mentre scorte ridotte inducono disequilibrio nel ciclo produttivo e impossibilità di rispondere alla domanda del cliente quindi la gestione ottimale delle scorte è di fondamentale importanza per una azienda.

Osserviamo infine che il costo di ordine è legato alle relazioni tra magazzino e fornitore mentre il costo di penuria è legato alle relazioni tra magazzino e cliente. Inoltre ridurre le scorte riduce i costi di mantenimento, ma aumenta i costi di penuria e di ordine mentre scorte più elevate aumentano i costi di mantenimento, ma riducono quelli di rifornimento e di penuria.

### **3.8.2 Politiche di gestione delle scorte**

Le problematiche connesse alla gestione delle scorte e le soluzioni proposte hanno sollevato negli ultimi decenni un'attenzione crescente da parte delle imprese. Le scorte di magazzino, infatti, rivestono un'importanza fondamentale spesso per la stessa sopravvivenza dell'azienda, non tanto in regime deterministico (cioè quando sono noti in maniera certa i parametri del processo e di mercato), quanto nei casi in cui è incerta la quantità di materiale richiesta dall'utenza durante il periodo di rifornimento.

In particolare due sono gli aspetti che hanno sollevato interesse: quelli connessi alle implicazioni economico-finanziarie (immobilizzazione del capitale, aspetti fiscali, costi di stoccaggio, immagazzinamento e movimentazione) e quelli connessi agli effetti sulla produzione o sulle vendite (elasticità ed autonomia produttiva, semplificazione dell'organizzazione della produzione, risposta a variazioni della domanda...). Tali aspetti (a parte quelli fiscali che in questa sede non ci interessano) sono di norma interdipendenti ed, in una certa misura, antitetici, nel senso che a fronte di vantaggi in termini di produzione o vendite ottenibili per mezzo delle scorte, corrispondono in generale svantaggi sul piano economico-finanziario. Pertanto alcuni approcci mettendo in discussione la stessa necessità di investire in scorte, propongono modelli organizzativi a zero scorte, (Shingo 1989; Womack et al., 1991, 2006, 2009). Naturalmente l'adozione di un metodo piuttosto che un altro dipende soprattutto dalle caratteristiche della singola impresa e dal suo processo produttivo. In ogni caso è opportuno accennare al fatto che la quantità delle scorte viene sovente considerato un indicatore del livello di efficienza dell'organizzazione aziendale. La presenza di notevoli quantità di scorte, in altre parole, viene considerata il segno di un'organizzazione inefficiente della produzione, in termini quanto meno di scarsa flessibilità e basso controllo di processo.

L'obiettivo dei metodi di gestione delle scorte è quindi in definitiva obbligare ad un frequente riesame delle operazioni di produzione, in modo da riformulare sistematicamente i problemi connessi al livello di scorte. E occorre considerare vari fattori:

- ✓ Investimento di capitali. Le scorte assorbono capitali, per cui devono essere tenute a magazzino solo se necessarie. Quanto più lungo è il periodo di tempo di investimento del capitale in scorte, tanto più viene differito il momento in cui le entrate monetarie, connesse al conseguimento dei ricavi, copriranno le corrispondenti uscite finanziarie generate dai costi di acquisto.
- ✓ Obsolescenza/senescenza. Le scorte sono assoggettate sia al deterioramento tecnologico (obsolescenza) che al deterioramento fisico (senescenza).
- ✓ Spazio a magazzino. Il magazzino è formato da locali, attrezzature e personale in grado di ricevere, custodire e smistare materie merci e prodotti: la gestione dello spazio in magazzino, dunque, deve essere condotta con riferimento a tutti questi elementi e non solo alle esigenze di gestione della scorta.
- ✓ Costi di conservazione/movimentazione. Per il periodo in cui le scorte permangono in magazzino determinano una serie di costi, la cui entità verrà approfondita nel prosieguo, derivanti dalla loro gestione e dagli oneri connessi al capitale investito.
- ✓ Posizione finanziaria. Le scorte di magazzino fanno parte del patrimonio di funzionamento e rientrano tra gli elementi dell'attivo circolante. La presenza delle scorte tra gli elementi dell'attivo si può correlare ad alcune voci del passivo, in modo particolare alle passività a breve termine (ad esempio, debiti verso fornitori).
- ✓ Svalutazione e investimento. Gli acquisti in scorte sono effettuati non solo per le necessità interne, ma anche analizzando le tendenze del mercato. Se è previsto per il periodo successivo un aumento del prezzo della scorta, i quantitativi acquistati saranno esuberanti rispetto le effettive necessità: i costi di gestione della scorta, in questo caso, saranno inferiori al vantaggio ottenibile acquistando ad un prezzo inferiore (acquisto speculativo).
- ✓ Crediti dei fornitori. Un altro fattore direttamente legato all'acquisto delle scorte è la capacità del fornitore di concedere dilazioni di pagamento: in genere, infatti, un incremento delle scorte comporta un aumento dell'indebitamento a breve e, di conseguenza, una riduzione dei mezzi liquidi aziendali.
- ✓ Sconti di quantità. Il prezzo della scorta si lega molto frequentemente al livello quantitativo acquistato: all'aumentare di quest'ultimo, infatti, il prezzo tende a diminuire, e ciò rappresenta un incentivo per le imprese all'acquisto della scorta da detenere a magazzino. Anche in questo caso, dunque, l'acquisto viene effettuato considerando il trade-off tra benefici derivanti dallo sconto sulla quantità e maggiori costi di gestione.
- ✓ Prevedibilità della domanda. Una stima affidabile della domanda eliminerebbe definitivamente problemi di gestione delle scorte, di dimensionamento dei macchinari, di coordinamento logistici, di ubicazione dei magazzini, ecc..., quindi si parte dal presupposto che la domanda non può essere calcolata con esattezza ma può essere al più stimata. In quanto stimata, la domanda è soggetta ad errori, e l'obiettivo è cercare di ridurli al minimo con una buona

gestione delle risorse disponibili. Occorre però fare una precisazione. Non tutte le richieste devono essere stimate, perché alcune possono essere calcolate: è la distinzione di beni a domanda indipendente e dipendente.

La domanda dei primi deve essere stimata perché non può essere calcolata con esattezza, mentre la domanda dei secondi viene determinata aritmeticamente dalla

domanda di beni di ordine superiore, essendo al loro volta beni a domanda dipendente o indipendente. L'imprevedibilità della domanda di beni indipendenti obbliga le imprese a cautelarsi attraverso le scorte di sicurezza che, come vedremo in seguito, oltre all'imprevedibilità della domanda considera anche l'imprevedibilità del mercato delle forniture.

✓ Livello di servizio. Infine, ma non ultimo, il livello di scorte è connesso al livello di servizio che l'azienda vuole fornire al cliente.

Alla luce di quanto detto, il sistema di gestione delle scorte è, allora, l'insieme delle politiche e dei controlli che consentono di monitorare le quantità a magazzino, stabilire quale livello mantenere, quando reintegrarle e in quale quantità, allo scopo di far fronte all'incertezza dovuta alla variabilità della domanda.

La riduzione dei costi di mantenimento conseguente alla riduzione del livello delle scorte implica una quantità di acquisto (lotto) molto bassa, con conseguente aumento dei costi di ordinazione e trasporto. D'altro canto, la minimizzazione dei costi di ordinazione e trasporto richiede un rifornimento in unica soluzione, con gravose conseguenze sul livello del capitale investito nelle scorte.

Un'oculata gestione delle scorte, che riesca a bilanciare la disponibilità del prodotto, o assistenza ai clienti da un lato, con i costi di rifornimento dall'altro, diventa quindi fondamentale, per una qualsiasi realtà aziendale, allo scopo di migliorare le proprie prestazioni sia interne che esterne. Nel primo caso, definito un obiettivo, per esempio la soddisfazione del cliente, si parlerà di efficienza per indicare il grado di raggiungimento dell'obiettivo stesso. Nel secondo, valutati i vincoli ossia le risorse disponibili, l'efficienza fornirà il livello di ottimizzazione dei costi di gestione.

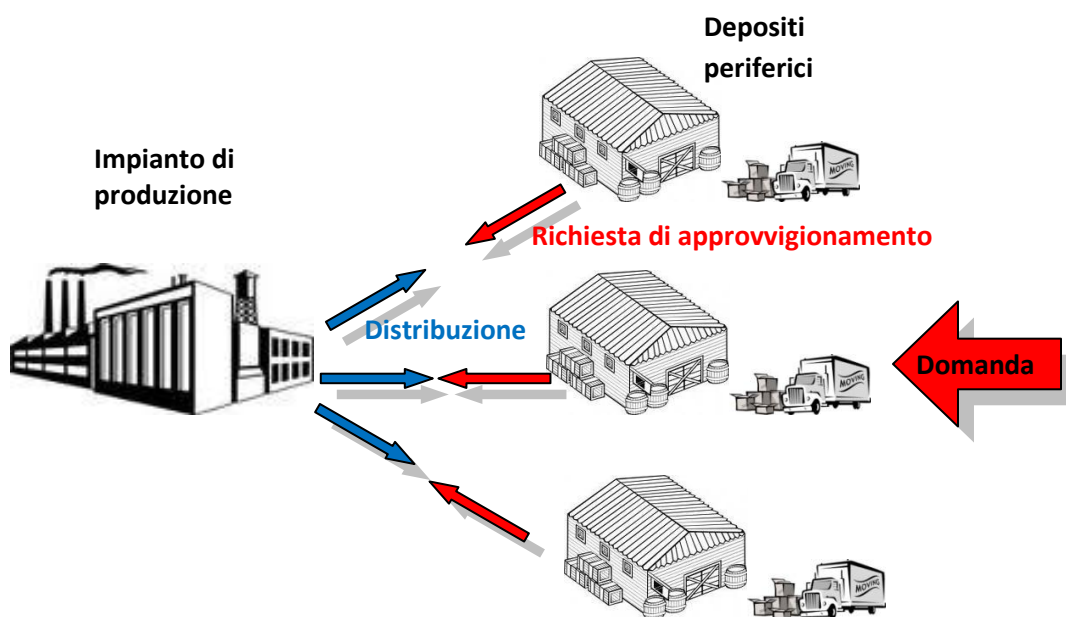
Al fine di rendere ottimale il rapporto tra costi e livello di servizio il management è tenuto a perseguire 3 importanti obiettivi: un obiettivo produttivo, cioè garantire la continuità e la regolarità nel flusso dei materiali; un obiettivo finanziario, cioè mantenere bassi i volumi e i tempi di giacenza (immobilizzi) delle scorte; un obiettivo economico, cioè impegnare al minimo gli spazi e le risorse addette alla movimentazione.

Esistono almeno due alternative di gestione come illustrato in figura 3.48, che soddisfano in misura diversa tali obiettivi: la gestione a scorta, basata sul *Look Back* (guardare indietro) nella quale i livelli di scorta sono determinati in base ai consumi storici; la gestione a fabbisogno basata sul *Look Ahead* (guardare avanti), nella quale i livelli di scorta sono determinati in base alle previsioni d'ordine.

Il primo è un approccio *pull*. Questa logica considera ogni punto di stoccaggio, come indipendente da tutti nel canale. La previsione della domanda e la determinazione delle quantità di riferimento sono fatte considerando solo le condizioni locali. Non è effettuata alcuna stima sull'effetto che la ricostituzione delle scorte, ciascuna caratterizzata da tempistiche e livelli differenti, avrà

sull'economia dello stabilimento produttivo. Nella logica di produzione *pull*, le attività operative vengono avviate soltanto dopo aver acquisito (ed in base a) informazioni certe in merito alle richieste di mercato.

Comunque, questo approccio fornisce un controllo preciso sui livelli di scorte in ogni locazione. I metodi *pull* sono particolarmente diffusi al livello di vendita nel canale di rifornimento dove più del 60% dei beni durevoli e quasi il 40% dei prodotti tessili sono soggetti a programmi di rifornimento. Questa gestione a scorta dei materiali (*stock control*) indica una procedura di gestione la cui domanda deriva da stime previsionali e non dall'esplosione di un piano di produzione.



**Figura 3.48** Alternative di gestione: Logica Pull e Logica Push

Secondo tale logica un ordine viene lanciato quando le scorte, al netto dei prelievi, sono scese a livelli tali da essere considerate insufficienti a coprire i fabbisogni pianificati per i periodi futuri, calcolati sulla base dei tassi di consumo e del tempo necessario per l'approvvigionamento.

Tale logica è orientata alla ricostituzione della scorta in via di esaurimento; ha il vantaggio di essere di semplice applicazione, in quanto richiede soltanto l'osservazione di un indicatore di livello (la quantità di scorte in giacenza) tuttavia, comporta in genere un maggiore investimento medio in scorte.

Secondo questo approccio, si tende ad evitare situazioni con mancanza di materiale (rotture di stock) per la produzione. Contemporaneamente viene limitato il consumo di risorse per il rilascio degli ordini. Si genera tendenzialmente un livello di scorte di prodotto a magazzino superiore a quello strettamente necessario e tale logica viene pertanto utilizzata per articoli a basso consumo annuo in valore o in tutti quei casi in cui risulta molto difficile associare ad un programma di produzione di prodotti finiti, i fabbisogni delle relative parti componenti.

Nei modelli di gestione a scorte i due problemi di base di tutte le tecniche di gestione (quanto e quando ordinare) si traducono nel calcolo della dimensione ottima della scorta a magazzino e nella

definizione del momento in cui lanciare l'ordine di acquisto e produzione, con l'obiettivo di ottenere il magazzino sempre pieno sotto il vincolo della minimizzazione dei costi di gestione delle scorte.

Tale logica di gestione è adatta per la produzione di beni in serie e da rendersi disponibili con brevi tempi di consegna.

Le aziende che operano in questo modo devono garantire due esigenze opposte: garantire livelli di scorta adeguati alle esigenze; limitare il più possibile l'immobilizzo di capitale investito. Per affinare la previsione dei consumi delle scorte, sono state sviluppate delle tecniche di analisi previsionale. Fra le più comuni, vanno ricordate:

- ✓ Le tecniche di proiezione a base multi periodica.

Si basano sui dati storici e si suddividono in: tecniche a media aritmetica (quando la serie dei dati storici non presenta un trend), metodo dei minimi quadrati (quando la serie dei dati storici presenta un trend), metodo dell'indice di stagionalità (quando la serie dei dati storici presenta un trend con caratteristiche di stagionalità).

- ✓ Le tecniche di proiezione aperiodiche.

Si limitano a considerare la domanda più recente; prendono anche il nome di tecniche auto adattative e si distinguono in tecniche a media mobile, a smorzamento esponenziale (*Exponential smoothing*), a smorzamento adattativo (considera il *tracking signal*).

- ✓ Le tecniche di proiezione associativa.

Non coinvolgono le serie temporali, ma prevedono la domanda in base a variabili diverse dal tempo. Prendono anche il nome di tecniche regressive e sono: a indice guida o a correlazione.

Nonostante tutte le tecniche di previsione sviluppate fino ad oggi siano potenzialmente utili, la previsione della domanda è per sua stessa natura imprecisa.

Modelli di gestione a scorta sono:

Metodo a tempo fisso;

Metodo a quantità fissa o lotto economico.

I principali elementi critici connessi a tali politiche sono relativi alla determinazione del livello di riordino, del lotto economico, dell'intervallo di reintegro.

Una tipologia derivata dalla politica *pull* è quella detta "a ripristino" o "snella": quando la scorta viene utilizzata dall'utilizzatore/cliente interno, la stazione a monte, o il fornitore, provvederà, sulla base di una metodologia ispirata al *Toyota Production System*, e mirata a minimizzare gli sprechi fino ad annullarli, a ripristinare il livello di magazzino preesistente. Una delle più note politiche a ripristino è il cosiddetto *just in time*.

Alternativamente, per la gestione delle scorte è utilizzato l'approccio *push* (figura 3.48), questo è valido quando le decisioni in ogni magazzino sono prese in modo indipendente, secondo le esigenze specifiche di ciascun magazzino, il periodo e le dimensioni dell'ordine di rifornimento non sono necessariamente ben coordinate con le dimensioni del lotto di produzione, quantità di acquisto economiche o dimensione dell'ordine minima. Pertanto, molte aziende scelgono di distribuire ai magazzini le quantità di rifornimento basandosi su bisogni di scorte pianificate secondo criteri di spazio disponibile o altri. I livelli di stoccaggio sono fissati congiuntamente lungo l'intero sistema di stoccaggio. Tipicamente il metodo *push* è usato quando gli acquisti o le economie di scala della



produzione hanno un peso maggiore rispetto ai benefici associati al minimo livello di scorte, come ottenuto secondo il metodo pull.

Nella logica di produzione *push* le attività operative anticipano di gran lunga il momento dell'acquisizione degli ordini. Più precisamente, nel caso della logica *push*, detta anche gestione a fabbisogno dei materiali, l'ordinativo di un certo materiale viene effettuato sulla base di una previsione di fabbisogno futuro, calcolato in funzione della programmazione della produzione.

Gli approvvigionamenti dei materiali vengono emessi solo a fronte di ordini clienti già acquisiti, secondo intervalli regolari, scanditi dal Piano Principale di produzione (*Master Plan*). Confluiscono nel processo di formazione del piano principale di produzione: le informazioni tecniche sui prodotti, i dati sulla capacità produttiva, previsioni sulla domanda e politiche di gestione delle scorte, ordini in portafoglio, ed il Piano aggregato di Produzione (o *Production Plan – PP*).

Ciò rende possibile una drastica riduzione delle giacenze in magazzino. Ma richiede che ogni fase produttiva deve essere programmata in funzione della fase successiva.

La tecnica di programmazione è quella "rolling" o a "scorrimento": i piani di produzione vengono predisposti in relazione a differenti orizzonti temporali come illustrato in figura 3.49.

Il Piano aggregato (PP) ha orizzonte temporale in genere annuale, con dettaglio mensile; è finalizzato alla programmazione per gruppi di famiglie o linee di prodotto poiché in sede previsionale è difficile ipotizzare dettagli ulteriori con sufficiente affidabilità.

Il *Master Production Schedule* (MPS) è la scomposizione del piano aggregato per famiglie di prodotti o singoli prodotti, sull'arco di un mese con cadenza settimanale. Ha come obiettivo fondamentale il coordinamento e l'armonizzazione delle richieste del mercato con le esigenze dell'azienda.

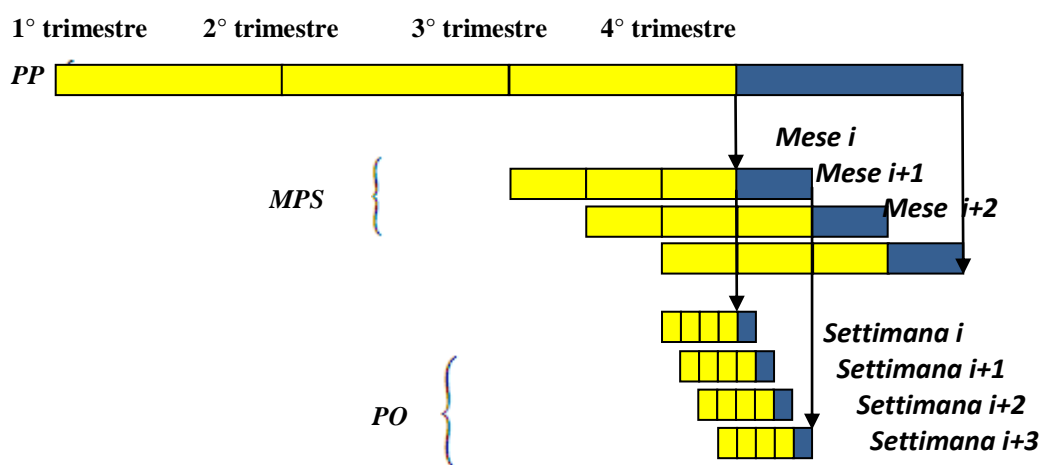


Figura 3.49 L'orizzonte della programmazione della produzione.

Indica quando si è previsto di avviare la produzione di un dato articolo. La produzione viene programmata in relazione al tempo di risposta (*lead time*) accettato dal mercato:

- MTS (*Make to Stock*): il cliente non è disposto ad attendere ed è necessario produrre per il magazzino;
- ATO (*Assemble to Order*): il cliente è disposto ad aspettare quanto basta per le fasi finali di assemblaggio, partendo da componenti base/pre-assemblati;
- MTO (*Make to Order*): il cliente è disposto ad attendere per l'intero ciclo di lavorazione, solo gli acquisti di materiali sono gestiti su previsione;
- PTO (*Purchase to Order*): il cliente è disposto ad aspettare anche il ciclo di approvvigionamento e l'impresa può programmare solamente sulla base degli ordini;
- ETO (*Engineer to order*): il cliente richiede anche una progettazione ad hoc e la programmazione è di commessa.

Il Piano operativo (PO) ha orizzonte temporale di giorno o settimane. In questa fase è definita in modo completo la sequenza dei lotti e dei rispettivi cicli di lavorazione.

### **3.8.3 Modelli di gestione a fabbisogno: MRP**

Le politiche di gestione delle scorte a fabbisogno sono tradizionalmente le più diffuse, specialmente presso le aziende occidentali. Tali politiche si basano sostanzialmente da un lato sulle previsioni di vendita, quindi sui materiali necessari per effettuare la produzione necessaria a soddisfare tale previsione, dall'altro sulla presenza di una "scorta di sicurezza" più ridotta possibile, finalizzata a compensare variazioni non previste nella domanda di prodotti (sia prodotti finiti che semilavorati e materie prime per il ciclo produttivo).

La più nota tra tali politiche è quella detta MRP (*Materials Requirements Planning*), nata sul finire degli anni '60, ha come obiettivo quello di minimizzare le scorte facendo coincidere la disponibilità dei materiali con il momento del loro utilizzo e disponendo un layout ottimale.

Il problema principale si risolve nella previsione del fabbisogno, dato da cui partire per programmare gli ordini nel tempo. È una filosofia di gestione delle scorte che si adatta alla gestione delle materie prime destinate ad alimentare i processi industriali, con l'obiettivo (almeno teorico) di non avere mai scorte di prodotti finiti e di avere il magazzino materie prime al più basso livello possibile, mentre tendono ad aumentare le scorte di semilavorati. Le informazioni di partenza sono dunque cosa produrre e quando, quali materie prime sono necessarie e in quali quantità, in quale fase del processo produttivo si ha bisogno di ogni singolo componente e, infine, quanto tempo occorre al fornitore per consegnare le scorte (*lead time*).

Il funzionamento di un sistema MRP richiede, quindi la disponibilità di informazioni accurate desunte da :

- il piano principale di produzione dei codici dei prodotti;
- inventario aggiornato delle giacenze di magazzino;
- i tempi medi di approvvigionamento e produzione;

➤ la distinta base di prodotto.

L'accurata rilevazione dello stato delle scorte è fondamentale perché con l'MRP, si tenta sempre di tenere le scorte ai livelli più bassi possibili. Errori di rilevamento possono quindi portare a notevoli problemi di sottoscorta.

Nel programmare la richiesta di componenti bisogna tenere in considerazione il *lead time* di approvvigionamento. Infatti, bisogna tenere in considerazione che l'approvvigionamento può avere tempi lunghi per la produzione, soprattutto perché i componenti vengono prodotti a lotti, e dall'ordine all'arrivo il macchinario che li produce può non essere sempre a disposizione. Nel caso di materie prime, il *lead time* è quello di arrivo dal fornitore fino alla disponibilità per il primo processo. I tempi medi di approvvigionamento e produzione con le giacenze permettono di conoscere quanto si impiega a realizzare un prodotto, in quale momento si ha bisogno delle singole materie prime e quanto tempo occorre ad ogni fornitore per evadere un ordine. Per cicli di lavorazione brevi tutti i componenti devono essere disponibili subito; in casi più complessi, però, i tempi si allungano, e se le materie prime vengono consegnati insieme, alcune rimangono inutilizzate per periodi anche non brevi: è in questi casi che le informazioni sulla tempistica produttiva sono preziose.

In tal modo il MRP, conoscendo i *lead time* di fornitura e di produzione, permette un rigoroso controllo sul flusso dei materiali e sulle giacenze. Talvolta, i fabbisogni vengono opportunamente maggiorati per tenere conto dei coefficienti di scarto e della difettosità.

La distinta base (*Bill of Materials*, BOM) è il documento attraverso il quale si procede alla rappresentazione analitica (nella forma ad albero o scalare) di tutti i materiali componenti (*item*) di cui è composto il prodotto commercializzato (*parent*). In essa si evidenziano i rapporti di "parentela" tra il bene finale e le sue diverse componenti secondo uno schema (figura 3.50) di progressivo dettaglio con l'obiettivo di determinare il fabbisogno ultimo di ogni materiale o componente.

Il livello 0 rappresenta il prodotto finito, il livello 1 rappresenta la suddivisione del prodotto finito nelle due componenti dirette dell'item di livello 0. Il livello 2 riporta il componente diretto dell'item di livello 1. In generale il livello N corrisponde al componente diretto dell'item di livello N-1.

E' il risultato, sotto il profilo informatico, della fusione o integrazione di una serie di informazioni di natura tecnica e gestionale contenute in più archivi del sistema informativo di produzione. E' realizzato dall'ufficio tecnico, attraverso elaborazioni dette *esplosioni* (vengono individuati tutti i componenti riferiti ad un articolo) ed *implosioni* (vengono individuati tutti gli articoli in cui un componente viene impiegato), a uno o più livelli. In particolare contiene:

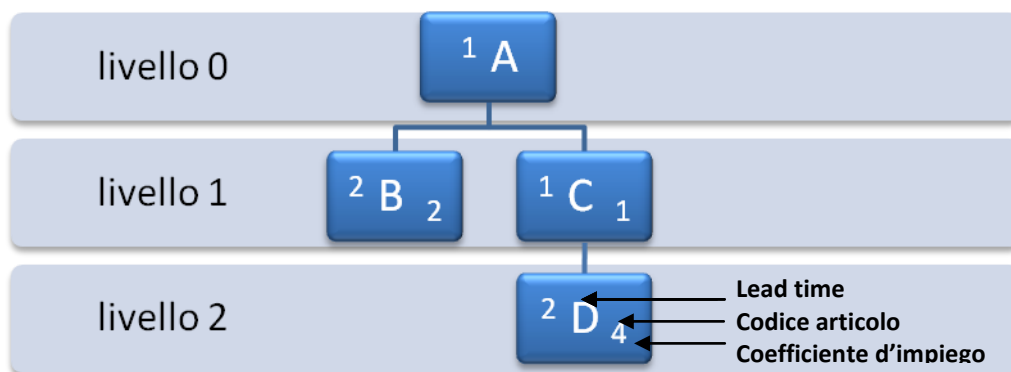
- i dati provenienti dall'archivio articoli: il codice articolo, la descrizione e la classificazione, la provenienza, il coefficiente di scarto, il costo, i lead time di produzione / acquisto, l'ubicazione di magazzino, l'entità della scorta di sicurezza, ecc...;

- i dati provenienti dall'archivio strutture, con le informazioni concernenti l'architettura di ciascun articolo/codice: il livello (posizione del componente all'interno della struttura), il coefficiente di impiego, i legami con gli altri elementi di livello o inferiore, il coefficiente di scarto di processo, ecc ...;

E' necessario, inoltre che siano presenti i livelli di giacenza disponibile per ciascun componente e materiale, a tutti i livelli e per tutti i codici di distinta base.

Attraverso l'impiego dei dati racchiusi in distinta base, viene effettuata l'esplosione di una scheda MRP, che, a partire dal fabbisogno lordo di materiali, considerando le scorte in magazzino, gli ordinativi già effettuati e il coefficiente di utilizzo, giunge infine alla definizione del fabbisogno netto (*netting*).

L'MRP comincia con gli output dell'MPS, che fornisce i tempi (date di lancio ordini, o *order releases*) e le quantità di produzione di tutti i prodotti finiti (livello 0) su un orizzonte temporale a intervalli discreti (di solito pari a 1 settimana).



**Figura 3.50** Un esempio di distinta base ad albero per il generico prodotto A.

La BOM del prodotto finito indica quali sono i suoi componenti principali (livello 1). Viene generata una serie di richieste (o *order requirements*) per ciascun componente di livello 1, richieste che portano la data pari alla data di lancio ordine dell'item di livello 0.

Per ciascun item di livello 1, alle richieste di natura dipendente, vanno aggiunto le richieste generate esternamente direttamente dal cliente (o ad esempio come parte di ricambio). Il risultato è una nuova serie di richieste per ciascun periodo, che prende il nome di *gross requirements*.

Quindi posizione d'inventario (*on hand – on order*) di ciascun item viene confrontata con i *gross requirements*, per produrre una nuova serie di richieste per ciascun periodo, che prendono il nome di *net requirements*.

Lo step successivo è quello di programmare il rispetto dei *net requirements* così calcolati per gli item di livello 1, andando a modificare eventuali ordini di rifornimento già lanciati, o andando a lanciarne di nuovi.

I vincoli esistenti nel processo produttivo e logistico non rendono sempre possibile o economico lanciare ordini di produzione perfettamente coincidenti con i fabbisogni.

Nel selezionare le date e le quantità di riempimento, siamo di fronte a domande deterministiche, con andamento variabile nel tempo. Possono quindi essere utilizzate le tecniche di dimensionamento dei quantitativi da ordinare (*lot sizing*).

I più diffusi criteri di scelta circa il dimensionamento dei quantitativi da ordinare sono:

- **lotto per lotto:** si effettuano ordini in quantità pari al fabbisogno di periodo, garantendo la minimizzazione dei costi di mantenimento; viene utilmente impiegato in presenza di articoli con domanda fortemente variabile o particolarmente costosi;
- **lotto tecnico:** si ordinano quantità fisse non in ragione di aspetti economici, ma tecnici (es. spazi disponibili a magazzino, vincoli imposti dal fornitore o dal sistema dei trasporti, confezioni standard);
- **lotto economico:** quantità che minimizza i costi associati all'emissione degli ordini ed al mantenimento della scorta. E' comunemente impiegato in presenza di articoli con consumo uniforme e valore contenuto;
- **copertura temporale fissa:** viene emesso un ordine di acquisto per una quantità pari al fabbisogno cumulato in un orizzonte temporale definito. E' il caso, ad esempio, di riordini effettuati secondo procedure mensilizzate, per cui si cumulano i fabbisogni previsti per quattro periodi settimanali.

Le scelte di dimensionamento dei lotti di produzione hanno ripercussioni importanti sul lancio degli ordini. In tabella 3.13 riportiamo un confronto tra le alternative di dimensionamento possibili, dato un certo fabbisogno netto, ipotizzando un lead time di 2 settimane.

Nell'esempio si considera un lotto economico di 400 unità, ed una copertura temporale di 4 settimane.

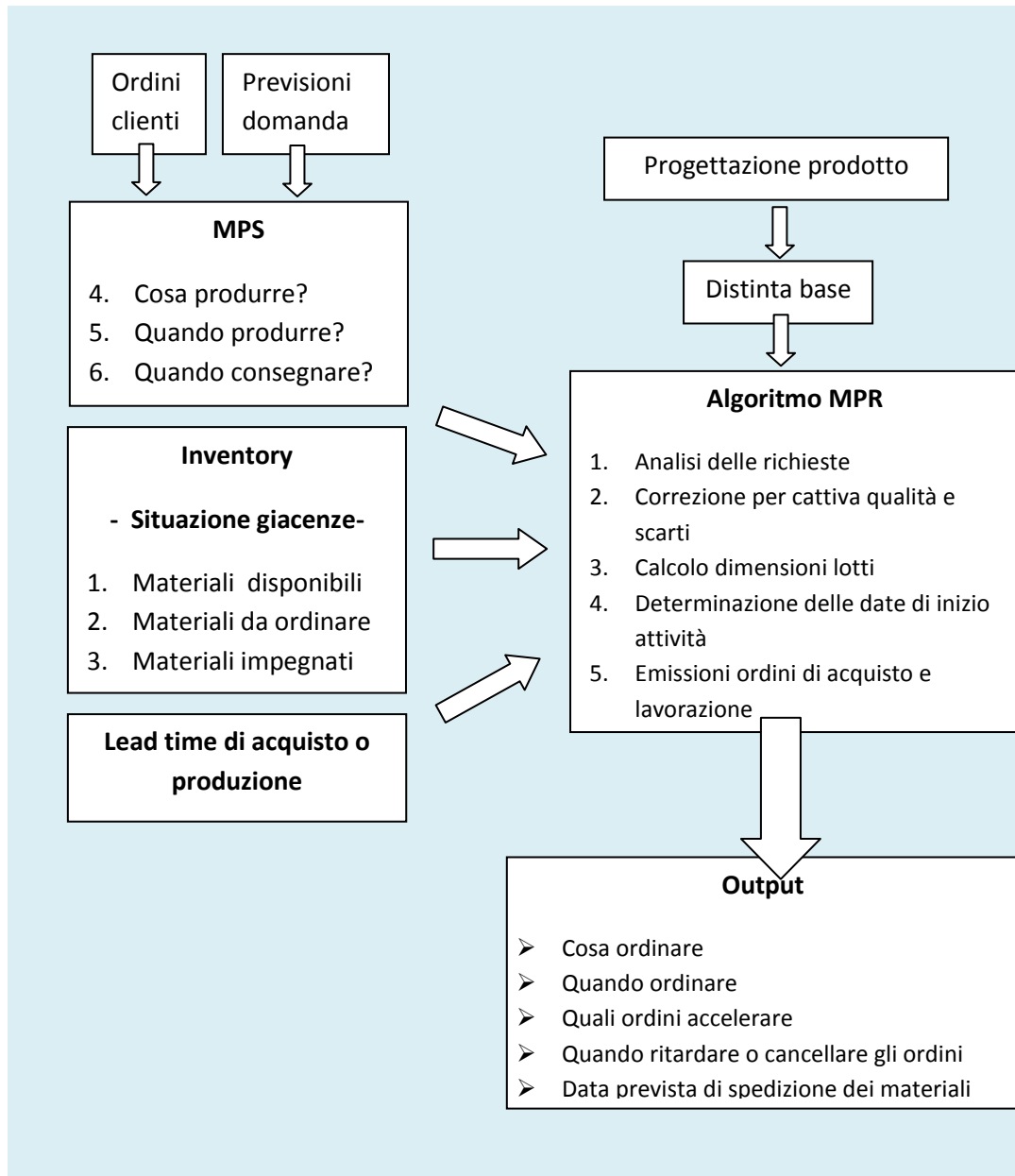
Le possibili azioni su ordini già lanciati sono, in dettaglio: aumentare (o diminuire) una quantità di riempimento, anticipare (o ritardare) una data di arrivo dell'ordine, cancellare un ordine.

	Settimane									
	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Fabbisogno netto</b>			50	100	150	200	150	100	100	50
<b>Lotto x lotto</b>	50	100	150	200	150	100	100	50		
<b>Lotto tecnico</b>	300	0	0	300	300	0	0	0		
<b>Lotto economico</b>	400	0	0	400	0	0	400	0		
<b>Copertura temporale</b>	500	0	0	0	400	0	0	0		

**Tabella 3.13** Confronto tra i più usati criteri di scelta di dimensionamento per lotti.

Da notare però che le decisioni prese ad un certo livello hanno influenza anche ai livelli inferiori, mentre nelle tecniche di *lot sizing* si considera come costo di setup solo quello del livello di analisi. Per questo, sarà possibile ottenere solo un ottimo "parziale".

Una volta completati gli item di livello 1, le BOM di ciascun item indicano quali sono gli item di livello 2, direttamente collegati. Le date di lancio ordini degli item di livello 1, generano quindi delle date di lancio ordini degli item di livello 2.



**Figura 3.51 Schema di sviluppo della logica MPR**

Come prima, a queste quantità richieste andranno aggiunte le domande esterne, per ottenere i *gross requirements*, andrà sottratto la posizione di inventario, per ottenere i *net requirements*, e andranno coperti i *net requirements* richiesti modificando o lanciando ordini.

Questo procedimento si ripete fino ad esplodere tutta la distinta base, arrivando cioè alle materie prime, che vedranno i loro *requirements* soddisfatti dagli acquisti dai fornitori.

In figura 3.51 è riportato lo schema di sviluppo della logica MPR.

La tecnica MRP è utile alle imprese che lavorano su commessa o a catalogo, in cui le scorte in lavorazione hanno un'importanza strategica, ma anche per la produzione di prodotti complessi, a più livelli di fabbricazione, prodotti costosi, per i quali è auspicabile un elevato controllo, cicli di fabbricazioni e tempi di approvvigionamenti lunghi.

### 3.8.3.1 Manufacturing Resource Planning e Enterprise Resource Planning

L'MRP presenta vantaggi, ma anche alcuni svantaggi, conseguenza del fatto che elabora degli schemi di previsione "virtuali" che non tengono conto cioè non solo della domanda reale, ma neanche delle eventuali limitazioni della capacità produttiva.

L'assorbimento di capacità produttiva (Capacità Produttiva Necessaria) può essere calcolato rispetto a:

- ore di manodopera diretta (*labour intensive*)
- ore macchina (*capital intensive*)
- quantità di input (se ci sono come output molti prodotti, es. petrolchimico)
- quantità di output (se ci sono come input tanti componenti, es. automobilistico).

I sistemi MRP lanciano gli ordini "a capacità finita" sulla base dei fabbisogni e dei lead time senza considerare i vincoli di capacità e i carichi di lavoro sulle macchine. Talvolta il sistema può generare, quindi, carichi di lavoro non sostenibili.

In dettaglio punti di debolezza dell'MRP sono:

- *Lead times*: vengono considerati deterministici, in realtà i lead times sono variabili perché dipendono dall'impianto di produzione, e da quanto macchinari e risorse presenti vengono utilizzati in contemporanea in altri compiti. Usualmente si tende quindi a sovrastimare i lead times, ma questo porta ad un aumento di *Work in Process*.
- *Lot sizes*: La determinazione delle quantità ottimali in presenza di molti items e di capacità finita è difficilmente risolvibile in maniera ottima a meno di non ricorrere ad euristiche. Nella pratica però si preferisce implementare regole semplici, e questo porta a costi aggiuntivi.
- *Scorte di sicurezza*: il loro calcolo non è previsto con metodi che ottimizzino i costi; il loro valore è introdotto, componente per componente, in maniera manuale, e questo può portare a costi di mantenimento a scorta più elevati del necessario.
- *Incentivi al miglioramento*: a causa della complessità e del numero di input richiesti (*lead times, safety stocks, lot sizes, etc.*) solitamente quando l'MRP è installato, i valori presi sono spesso sovrastimati per evitare problemi di startup. Purtroppo poi una volta settati, c'è molta riluttanza a rivedere i valori.

Proprio al fine di evitare gli svantaggi sopra menzionati, tipici del MRP, negli anni '80 viene sviluppato un sistema di gestione dei materiali, chiamato *Manufacturing Resource Planning* (chiamato anche "*MRP a ciclo chiuso*" o "*MRP2*"), utilizza la stessa logica del MRP, basata sulla definizione dei fabbisogni di materiali secondo quanto esploso nella distinta base, utilizzando le previsioni di vendita e risalendo a monte attraverso i vari cicli della produzione. Diversamente dal MRP tuttavia esso tiene conto delle capacità produttive, sia in termini di impianti che di risorse umane, integrando nel sistema i dati relativi ai cicli di lavoro (predefiniti ed ottimizzati), agli ordini

di lavoro (man mano che vengono emessi), monitorando le variazioni nel tempo dei fabbisogni e delle capacità derivanti dalle lavorazioni effettuate. Si tratta di un sistema, normalmente piuttosto complesso, composto da moduli integrabili, finalizzati ad elaborare le informazioni relative ai singoli articoli, ai legami tra questi, al loro utilizzo, agli ordini ed alle lavorazioni in corso, al controllo e gestione della capacità produttiva nei singoli centri di produzione ed a livello aggregato, alla ottimizzazione dei processi produttivi in funzione delle priorità stabilite, dei tempi di set up e di lavorazione, ecc.

Sostanzialmente l'MRP2 consiste in un'evoluzione in chiave sistemica del MRP: esso integra nella fase di programmazione della produzione e di gestione dei materiali, le informazioni relative a tutti gli aspetti operativi e programmatori legati all'attività di impresa. In questo senso lo sviluppo inevitabile del MRP2 è l'ERP (*Enterprise Resource Planning*), in quanto sistema, supportato da adeguati strumenti informatici, che mira ad integrare ed elaborare tutte le informazioni relative a tutte le attività aziendali, dalla strategia aziendale alla fatturazione, dalla concezione del prodotto fino al post-vendita, passando ovviamente attraverso la produzione, al fine di generare una serie di attività efficaci, efficienti ed intrinsecamente coerenti.

La complessità dell'ERP e la numerosità e quantità delle informazioni che il sistema elabora hanno fatto sì che esso sia stato sviluppato (ed oggi venga proposto) da *software house* specializzate nel fornire i necessari strumenti di elaborazione dati. Naturalmente, come abbiamo accennato, l'adozione di tale sistema richiede che l'organizzazione aziendale sia strutturata in maniera del tutto adeguata alle esigenze di tali sistemi. L'adozione di un sistema ERP comporta sempre, nel caso se ne vogliono utilizzare appieno le funzionalità e capacità, un importante sforzo di adeguamento organizzativo (e culturale) da parte dell'impresa e del suo personale, oltre che un impegno economico rilevante.

#### **3.8.4 La programmazione Just-in-time**

L'idea del *just in time*, termine inglese che significa "appena in tempo", è molto antica e si fa risalire alla Ford Motor Company negli anni venti del secolo scorso. Fu adottata negli anni cinquanta in Giappone dalla Toyota Motor Corporation che la inglobò nel proprio sistema di fabbricazione e la pubblicizzò con il nome di Toyota Production System. Il JIT divenne rapidamente uno dei "prodotti" più conosciuti ed esportati della filosofia produttiva giapponese, e consentì tutta una serie di miglioramenti e di razionalizzazioni che produssero effetti assolutamente inaspettati nella produzione meccanica in generale. E fu negli anni ottanta una delle principali cause del vantaggio competitivo giapponese, che le industrie europee e statunitensi non compresero in tempi brevi.

Il *just in time* è una filosofia industriale che consiste nell'eliminazione delle giacenze attraverso la riduzione della variabilità della domanda e del ciclo temporale di rifornimento, riducendo le grandi dimensioni, e creando solide relazioni con un limitato numero di fornitori al fine di assicurare la qualità dei prodotti ed una precisa evasione dell'ordine. La filosofia del just-in-time ha invertito, dunque, il sistema "*push*" di produrre prodotti finiti per il magazzino in attesa di essere venduti, nel sistema "*pull*" per il quale occorre produrre solo ciò che è stato venduto o che si prevede di vendere in tempi brevi.



E' quindi, una politica di gestione delle scorte a ripristino che utilizza metodologie tese a migliorare il processo produttivo, cercando di ottimizzare non tanto la produzione quanto le fasi a monte, alleggerendo al massimo le scorte di materie prime e di semilavorati necessari alla produzione.

In pratica si tratta di coordinare i tempi di effettiva necessità dei materiali sulla linea produttiva con la loro acquisizione e disponibilità nel segmento del ciclo produttivo e nel momento in cui debbono essere utilizzati. Abbinando elementi quali affidabilità, riduzione delle scorte e del *lead time*, ad un aumento della qualità e del servizio al cliente, si riducono enormemente i costi di immagazzinaggio, gestione, carico e scarico di magazzino. Alla base della filosofia del JIT, infatti, qualsiasi scorta di materiale, semilavorato o prodotto finito è uno spreco, uno spreco di risorse economiche, finanziarie e un vincolo all'innovazione continua. La gestione del canale produttivo è quindi, caratterizzata da:

- Rapporti stretti con pochi fornitori e trasportatori. Viene sviluppata una stretta relazione di lavoro con un numero relativamente ridotto di fornitori e trasportatori. Dove ci sono economie di scala per l'acquisto o la produzione, queste economie sono sfruttate al massimo usando pochi fornitori localizzati in prossimità ai punti di domanda del cliente.
- Informazione condivisa tra acquirenti e fornitori. Le informazioni del compratore, soprattutto l'elenco di produzione/esercizio, è condiviso con i fornitori in modo che essi possano anticipare l'esigenze dell'acquirente, riducendo così i tempi e la variabilità della risposta. I pochi fornitori scelti sono tenuti a rispettare il più possibile i tempi di consegna.
- Frequenti acquisti/produzione e trasporto di merci in piccole quantità, con conseguente minimi livelli di inventario e i costi di ordine d'acquisto ridotti a livelli insignificanti.
- Eliminazione delle incertezze per quanto possibile in tutto il canale di fornitura. I tempi di risposta sono più prevedibili perché sono brevi. Essendo i fornitori in prossimità del sito in cui avvengono le operazioni, le consegne possono essere fatte frequentemente, spesso una volta ogni ora, senza incorrere in elevate spese di trasporto.
- Obiettivi di alta qualità. L'innovativa filosofia del JIT ha aperto la strada ad altre innovazioni quali il *Total Quality Management* (TQM, "Controllo totale della qualità") che consiste nell'impedire che si verifichino difetti nel prodotto eliminandone le cause con un affinamento costante del ciclo produttivo, raggiungendo percentuali di qualità del prodotto mai raggiunte prima. La difettosità passa dall'ordine dei punti percentuale all'ordine delle parti per milione.

L'effetto globale di programmazione nell'ambito di una filosofia JIT è quella di creare flussi di prodotto che sono sincronizzati in modo da garantire e ottenere il livello desiderato di prodotto e le prestazioni logistiche richieste con attenzione alle esigenze del cliente.

Anche se viene richiesto uno sforzo maggiore nella gestione del canale di fornitura con una filosofia JIT rispetto a quello della fornitura ad inventario, il vantaggio è quello di operare nel canale con il minimo inventario, e con il conseguente risparmio e /o miglioramento del servizio.

Nel tempo la filosofia JIT è stata interpretata e applicata in modalità molto diverse: mentre il modello americano prevede modelli gestionali informatizzati (MRP), in oriente ed in particolare in Giappone, partendo dal concetto che il miglior sistema informativo è la vista, è stato sviluppato un sistema di gestione "a vista" che tende a far giungere i materiali e i componenti nel momento preciso in cui sono necessari alla lavorazione avvalendosi, anziché di complessi sistemi di

programmazione, di semplici cartellini (Kanban). La parola Kan significa "visivo" in giapponese e la parola "ban" significa "carta". Cospicché queste schede Kanban costituiscono un sistema di informazione utilizzato come "attivatore visivo" per il controllo delle quantità da produrre in ciascuna fase di lavoro.

L'obbiettivo del sistema è avvicinarsi il più possibile al limite di "scorta zero" e alla trasformazione delle materie prime in prodotti finiti con tempi di consegna "uguali" a quelli di processo eliminando con ciò tutti i tempi di accodamento dei materiali.

Il kanban fisicamente quindi, è un cartellino che accompagna il contenitore dei componenti sulla linea, che indica/richiede la consegna o produzione di una quantità definita; è corredato da una serie di informazioni (figura 3.52) quali:

- la descrizione del prodotto;
- il suo codice identificativo;
- la materia prima utilizzata;
- la quantità da produrre;
- il numero seriale del contenitore;
- la descrizione dell'operazione a monte (processo di fornitura interno o esterno);
- la descrizione dell'operazione a valle (processo/magazzino successivo).

Il funzionamento del sistema a cartellini Kanban è molto semplice. Ogni centro di lavorazione è fornito di un punto di stoccaggio all'ingresso per i materiali necessari ed in uscita per il prodotto finito del centro stesso.

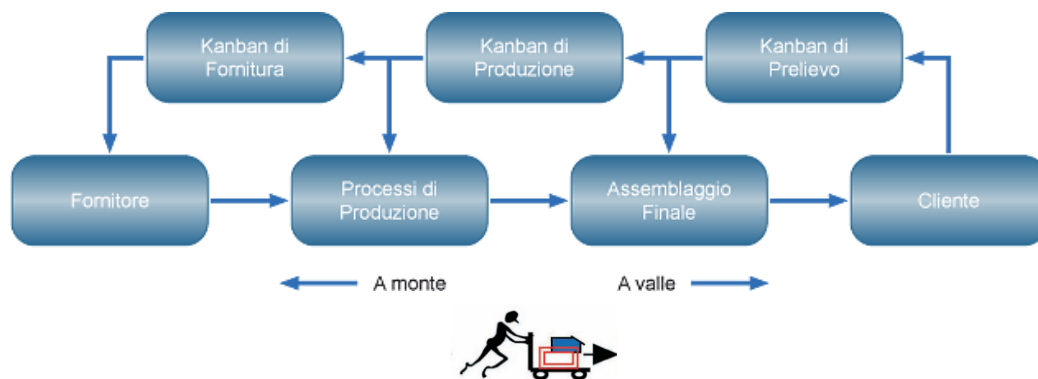
<i>Products spa 10/10/2010</i>					
<b>0 280 122 010</b>	<b>Codice</b> <b>0 280 122 010</b>	<b>Descrizione</b> <b>Mensola</b>	<b>Materiale</b> <b>AISI 410 700x1700</b>		<b>N°</b> <b>1</b>
	<b>Fornitore</b> <b>BW</b>	<b>Codice fornitore</b> <b>44400</b>	<b>Spazio foto</b>	<b>Scaffale</b> <b>KSZ</b>	
	<b>Contenitore</b> <b>KB-T2401</b>	<b>N° pezzi</b> <b>349</b>		<b>Posizione</b> <b>465-15</b>	

*Figura 3.52 Esempio di Kanban*

Lo stoccaggio dei componenti avviene in contenitori standard che avranno sempre applicato un cartellino di trasferimento (KB-T) oppure un cartellino di produzione (KB-P). Il primo autorizza il prelievo di un contenitore da un centro di lavoro e la sua movimentazione e consegna ad un altro centro; il secondo autorizza un centro di lavorazione a produrre componenti per riempire un contenitore.

I contenitori pieni nel punto di stoccaggio all'ingresso del centro di lavoro hanno applicato un KB-T, mentre i contenitori pieni nel punto di stoccaggio in uscita hanno applicato un KB-P. Quando un componente si esaurisce l'operatore preleva il contenitore pieno dal punto di stoccaggio all'ingresso, stacca il relativo KB-T, lo attacca al contenitore vuoto e lo manda al reparto a monte autorizzando così il trasferimento di un contenitore. Nel punto in uscita del reparto a monte viene tolto un KB-P da un contenitore pieno, sostituito con il KB-T arrivato e spedito a valle. Il KB-P rimane nel reparto e autorizza la produzione di un lotto di particolari (si noti che le dimensioni dei lotti sono uguali al contenuto dei contenitori). Ogni cartellino deve riportare tutte le indicazioni necessarie a identificare e produrre il componente e il numero dei pezzi nel contenitore, viene usato per un solo particolare e circola tra una coppia ben definita di centri di lavorazione.

Il sistema (figura 3.53) ha il suo inizio logico nel punto di stoccaggio all'ingresso della linea finale di assemblaggio. La produzione inizia da una richiesta di prodotto finito e ogni centro funziona da fornitore per il centro a valle e da cliente per quello a monte. L'avanzamento della produzione è di tipo "tirato" (logica *pull*) in quanto il Kanban, partendo dalla programmazione del prodotto finito, tira lungo il ciclo di trasformazione le quantità di sottoprodotti necessarie dosandone esattamente la richiesta in funzione dell'ordine finale.



**Figura 3.53** Struttura generale di un sistema kanban

Rispetto ai normali sistemi di programmazione che "spingono" i materiali lungo le varie fasi fino al prodotto finito il sistema Kanban è più snello e graduabile ed evita i "rigonfiamenti" in linea. Non necessita di programmazioni intermedie in quanto il solo programma esistente è costituito dall'ordine dei prodotti finiti. Mantiene inoltre il livello di scorte molto basso e sempre controllabile tramite il computo dei cartellini. Ogni centro di lavoro ha una dotazione di materiale calcolata tenendo conto del lead-time dei particolari in modo di minimizzare la quantità senza andare fuori scorta; se il sistema funziona correttamente non dovrebbero esserci scorte a magazzino. L'aspetto forse più interessante della filosofia Just-in-time/Kanban è che, grazie alla semplicità formale e al coinvolgimento richiesto ad ogni singolo operatore, promuove una procedura di miglioramento continuo della produttività collegando, allo stesso tempo, i diversi centri di lavoro e rendendo fluido il flusso dei materiali in linea. Infatti, se immaginiamo di volere applicare il sistema Just-in-time a un ambiente di produzione normalmente non formale dovremo necessariamente, per farlo funzionare,

realizzare preventivamente un'opera di linearizzazione e riorganizzazione del flusso produttivo e creare la mentalità negli operatori di linea di essere una parte di un sistema governato da regole precise e di avere delle responsabilità nei confronti dei centri di lavoro a valle e dei diritti nei confronti di quelli a monte. Ottenuti questi presupposti fondamentali si potrà iniziare ad inserire i cartellini dosandone il numero con una certa percentuale di sicurezza. Con il sistema a regime si potrà iniziare a ritirare qualche cartellino nei reparti in cui ciò sembra possibile, diminuendo così il *work in progress*. Questo potrà provocare dei problemi di rottura di scorte ed allora i responsabili di reparto, gli operatori di macchina e in genere tutti coloro che sono coinvolti nel processo sono chiamati a trovare le soluzioni variando, ad esempio la procedura operativa, riducendo i tempi di attrezzatura o intervenendo sugli impianti o sui cicli programmati. E' interessante notare come i problemi vengano affrontati esattamente dove nascono e dalle persone che li vivono senza essere demandati a "specialisti" esterni che spesso non hanno le competenze necessarie o la possibilità di intervenire tempestivamente. Risolto il problema si lascia passare un certo tempo per consolidare i miglioramenti e poi si procede a togliere dal ciclo altri cartellini e si ricomincia l'analisi in un ininterrotto tentativo per arrivare ad avere il minor numero di cartellini possibile, il che significa ottenere il minor livello di scorte e il minor *lead-time* possibile per ottenere il prodotto finito. Dal punto di vista psicologico il sistema Kanban, responsabilizzando gli operatori e coinvolgendoli nello studio dei problemi di processo, è un forte stimolo all'aumento della professionalità sia individuale che di gruppo e fornisce motivazioni e gratificazione agli operatori che si sentono parte attiva del processo superando il concetto di esecuzione passiva dei comandi. Requisito fondamentale perché il JIT/Kanban funzioni e la disponibilità degli addetti a farsi permeare dalla giusta mentalità. Tecnicamente inoltre devono essere ridotti a livello molto basso tutti i difetti sia dei componenti che degli impianti. Fermi macchina o non conformità di lavorazione frequenti quando si inseriscono in un sistema "tirato" al limite provocano rotture di scorte e, psicologicamente, abbassano la fiducia di ogni gruppo nel lavoro del gruppo a monte facendo fallire il sistema. Se applicato correttamente invece oltre ad essere un sistema di programmazione operativa molto semplice ed efficace e a spingere ad un miglioramento costante della produttività, permette di utilizzare meglio gli spazi fisici di produzione eliminando i magazzini intermedi e i problemi connessi, stimolando il sistema alla risoluzione degli stessi nel momento in cui compaiono.

Il Kanban può essere anche elettronico, un sistema cioè di passaggio di informazione, che assicura che ogni stazione operativa produca solo quanto effettivamente richiesto dalla stazione a valle attraverso sistemi di riordino, al fornitore o al reparto produttivo, che richiedono una determinata quantità di un dato materiale quando la scorta scende sotto un livello minimo prestabilito.

Ad ogni Kanban è associato un contenitore contenente un numero di pezzi prestabilito. Ogni cartellino è registrato e monitorato nel sistema. Ciò significa che la quantità di contenitori di un certo codice articolo, e quindi di pezzi in circolazione nel sistema, è strettamente legato al numero di Kanban circolanti.

Il numero di Kanban circolanti o disponibili per un determinato oggetto dipende dalla domanda e dal tempo richiesto per produrne o acquisirne di più. Questo numero generalmente è fisso, e rimane

invariato a meno che la domanda o altre circostanze (esempio: tempi di consegna del fornitore) cambino notevolmente.

La definizione di tale numero, potenzialmente diverso per ogni codice gestito, è momento chiave della fase di progettazione e della successiva gestione del sistema, in quanto incide sulla possibilità del sistema stesso di funzionare correttamente (garantire la disponibilità del materiale al proprio cliente), sul livello di scorte massimo ammesso, sui lead time di processo, ecc... Il calcolo del numero di Kanban deve tenere conto di alcuni parametri fondamentali: il consumo medio dell'articolo da parte del cliente, dei lead time di approvvigionamento nelle varie componenti (intervallo di trasferimento informazioni a monte, trasporto materiali, produzione/movimentazione materiali), e della variabilità di tutte le componenti citate.

Assegnati i dati necessari per il calcolo del numero dei Kanban relativi all'i-esimo articolo:

M = consumo medio giornaliero dei pezzi (pezzi/tempo)

T = tempo di copertura (tempo)

SS = scorta di sicurezza, espressa in termini percentuali

Q = numero dei pezzi presenti in un contenitore (pezzi/contenitore)

La formula da applicare è la seguente:

$$N = \left\lceil \frac{M \times T \times (1 + SS)}{Q} \right\rceil$$

Da sottolineare che M e T devono avere la stessa unità di misura temporale (ore, turno, giorno, settimana). Le parentesi usate impongono di arrotondare per eccesso il risultato che si è ottenuto. Vediamo un esempio.

### 3.8.5 L'ottimizzazione delle scorte

L'applicazione del JIT importato dal Giappone alcuni decenni fa, ha sicuramente modificato e migliorato la gestione dei magazzini consentendo di eliminare tutta una serie di sprechi prima presenti, ma la presenza delle scorte in alcuni punti della catena logistica non viene eliminata completamente dal momento che detenere scorte porta una serie di vantaggi all'impresa. Tuttavia è chiaro che le scorte non producono valore aggiunto; quando è possibile conviene attuare delle politiche che ne riducano la necessità oppure distribuiscano i costi fissi. Ma la riduzione dei costi di mantenimento conseguente alla riduzione del livello delle scorte implica un lotto di acquisto molto basso, con conseguente aumento dei costi di ordinazione e trasporto.

D'altro canto, la minimizzazione dei costi di ordinazione e trasporto richiede un rifornimento in unica soluzione, con gravose conseguenze sul livello del capitale investito nelle scorte.

Nel definire le proprie politiche di approvvigionamento le imprese si trovano dunque a dover conciliare esigenze contrastanti: da una parte, mantenere alto il livello delle scorte, per garantire il soddisfacimento delle esigenze aziendali (produzione, manutenzione,..) in presenza di possibili accelerazioni dei consumi. Dall'altro, minimizzare il loro livello per ridurre al minimo i costi ad essi connessi.

Un'oculata gestione finanziaria aziendale, richiede non tanto di stabilire se prevedere o meno la scorta di prodotti in un centro di distribuzione, quanto piuttosto ottimizzarne i quantitativi nel tempo, cosa che comporta una serie di benefici:

- riduzione delle scorte;
- miglioramento del livello di servizio;
- riduzione delle vendite perse;
- aumento della liquidità;
- diminuzione tempi di approvvigionamento, con ripercussioni sull'aumento del fatturato del centro stesso.

Ma gestire in modo ottimale le scorte in un centro di distribuzione è un'attività estremamente costosa, a causa dell'elevato numero di referenze trattate. Per controllare costantemente il livello quali-quantitativo delle giacenze di magazzino è possibile utilizzare indicatori di *performance* del sistema di gestione delle scorte quali la *scorta media*, l'*indice di rotazione*, l'*indice di durata* ecc. Ma specialmente nelle imprese di grandi dimensioni e/o nei centri di distribuzione diventa rilevante la consapevolezza che non tutte le merci presenti in magazzino possono essere gestite allo stesso modo. Ogni tipologia di scorta, infatti, contribuisce diversamente alla realizzazione del reddito: la gestione delle giacenze deve essere condotta in modo selettivo. Per le merci che maggiormente incidono sul costo totale, è opportuno adottare un metodo di controllo fondato su previsioni accurate e su un monitoraggio frequente, mentre per i prodotti meno importanti si può fare ricorso a tecniche più semplici ed economiche.

A tale fine, le imprese utilizzano il metodo di analisi ABC.

### 3.8.5.1 Indici prestazionali

L'efficienza del sistema di gestione delle scorte adottato dall'impresa, viene valutato attraverso indici prestazionali caratteristici.

La **Scorta media** è la quantità (o il valore) di merce che è mediamente presente in ogni istante in un centro di distribuzione in un dato periodo di tempo di lunghezza  $T$ . Poiché la scorta di un prodotto non è costante nel tempo, ma aumenta ad ogni entrata e diminuisce ad ogni uscita, la scorta media si calcola come media aritmetica dei vari livelli di scorta ponderati con le rispettive durate. La formula è la seguente:

$$\bar{s}_T = \frac{\sum_{i=1}^k n_{(i)} s_{(i)}}{T} \quad (3.18)$$

dove  $\bar{s}_T$  esprime il valore della scorta media nel periodo di tempo di lunghezza  $T$ ,  $s_{(i)}$  rappresenta il livello (costante) della scorta nel sottoperiodo  $i$  considerato (espresso ad esempio, in giorni, settimane),  $n_{(i)}$  rappresenta la durata del sottoperiodo  $i$  durante il quale il livello di scorta si mantiene invariato. Si osservi che vale la relazione:

$$T = \sum_{i=1}^k n_{(i)} \quad (3.19)$$

**L'Indice di rotazione** esprime il numero delle volte in cui, in un certo periodo di tempo di lunghezza  $T$ , avviene il rinnovo delle scorte. Per calcolare l'indice di rotazione di un prodotto è necessario effettuare il rapporto fra le uscite (domanda)  $d_T$  di un periodo di lunghezza  $T$  (espresso ad esempio, in giorni, settimane) e la scorta media dello stesso periodo. Si avrà:

$$r_T = \frac{d_T}{\bar{s}_T} \quad (3.20)$$

L'indice di rotazione è un numero puro (adimensionale) che esprime il grado di mobilità delle scorte e dei capitali in esse immobilizzati. In pratica esprime il numero delle volte per le quali la scorta media ha ruotato nel periodo considerato e quindi si è rigenerata, producendo valore per l'azienda.

Nel calcolo dell'indice di rotazione è assolutamente da evitare l'utilizzo di un valore di scorta puntuale in sostituzione del valore di scorta media. I risultati sarebbero veramente fuorvianti per chiunque tentasse di fare un'analisi delle scorte gestite in azienda.

Se si vuole calcolare un indice di rotazione globale per tutti o per alcuni articoli trattati è necessario che i dati da utilizzare, relativamente alle uscite ed alla giacenza media, siano espressi non in quantità ma in valore, in modo da renderli omogenei e confrontabili tra di loro.

L'indice di rotazione è utile per verificare se la gestione delle scorte nel centro di distribuzione avviene correttamente; valori differenti dell'indice di rotazione comportano, infatti, costi diversi sostenuti dall'azienda. In particolare, valori dell'indice di rotazione troppo bassi comportano alti costi di conservazione e di obsolescenza, mentre valori dell'indice di rotazione troppo alti comportano alti costi di ordinazione, controllo e movimentazione. Per giudicare se l'indice di rotazione ottenuto è corretto occorre disporre di un indice di riferimento; gli indici "tipici" variano fortemente in funzione del settore merceologico in cui l'azienda opera, della dimensione aziendale e del livello di organizzazione. In generale, nella pratica sono diffusi valori dell'indice di rotazione compresi tra 5 e 10.

**L'Indice di durata** esprime il tempo medio di permanenza (espresso, ad esempio, in giorni, settimane) dell'articolo nell'area di stoccaggio del centro di distribuzione. Si determina moltiplicando il reciproco dell'indice di rotazione per la lunghezza  $T$  del periodo:

$$\tau_T = \frac{T}{r_T} \quad (3.21)$$

Nel calcolare l'indice occorre tenere conto del fatto che lo stesso è influenzato in maniera decisiva dai momenti di inattività della struttura produttiva (quali ad es. quelli dovuti a ferie, manutenzione, ecc.). E' necessario quindi "neutralizzare" tali influenze, che possono portare a risultati fuorvianti, considerando il calendario di produzione effettivo.

**Escursione massimo-minimo (EMm)** Un'efficiente gestione delle scorte comporta una quantità il più possibile costante di codici in magazzino. Ampie escursioni nel tempo tra le quantità a magazzino comportano costi aggiuntivi in termini di spazi per stoccaggio, movimentazione,

controllo e contabilizzazione, ecc... L'indice di escursione massimo-minimo serve a tenere sotto controllo tali circostanze. Esso si esprime con la formula:

$$EMm = \Sigma(Max^a - Min^a)^n$$

In cui  $a$  è un dato codice (articolo) ed  $n$  esprime il periodo di tempo considerato.

Un valore crescente di  $EMm$  segnala un peggioramento nella gestione del magazzino, o comunque una situazione di costi crescenti.

**Indice di frequenza di stock-out ( $Fso$ )** L'efficacia di una politica di gestione delle scorte è direttamente proporzionale alla frequenza con cui il sistema produttivo è in grado di rispondere in maniera efficace alle variazioni non previste della domanda/consumo dei materiali. Un numero elevato di *stock-out* è indice di una gestione inefficace. Questo indicatore è utilizzabile nelle politiche di tipo "push", in cui l'attività produttiva o di vendita risulta insufficientemente alimentata dalle scorte pianificate, con conseguenti ritardi o fermi della produzione nei centri di lavorazione interessati. L'indice si esprime con la formula:

$$Fso = \frac{n^{so}}{n^f}$$

In cui  $n^{so}$  è il numero di stock-out verificatosi nel periodo considerato e  $n^f$  è il numero di eventi di fabbisogno che si sono verificati nello stesso periodo.

Un valore crescente di  $Fso$  è indice di una condizione di crescente inadeguatezza della politica di gestione delle scorte adottata rispetto al variare del contesto di mercato/consumo di un materiale/prodotto.

**Indice di frequenza di infrazione del lead time ( $Filt$ )** In caso di politica di gestione delle scorte di tipo "pull" l'infrazione non ha luogo evidentemente sulla base di un'errata valutazione di tipo previsionale dei consumi, quanto su un'errata valutazione dei *lead time* di consegna. Il caso si verifica laddove a fronte di un fabbisogno espresso il sistema non è in grado di fornire i materiali richiesti nei tempi necessari. Gli effetti sono comunque analoghi a quelli sopra menzionati. L'indice in questione, del tutto analogo al precedente, si esprime con la formula:

$$Filt = \frac{n^i}{n^f}$$

In cui  $n^i$  è il numero di infrazioni al *lead time* verificatosi nel periodo considerato e  $n^f$  è il numero di eventi di fabbisogno che si sono verificati nello stesso periodo.

Un valore crescente di  $Filt$ , analogamente al  $Fso$ , è indice di una condizione di crescente inadeguatezza della politica di gestione delle scorte adottata, rispetto al variare del contesto di mercato/consumo di un materiale/prodotto.

### 3.8.5.2 La cross Analysis o matrice ABC

L'analisi ABC è una tecnica che si basa sul criterio di Pareto, detto anche Legge 80/20, secondo cui la maggior parte degli effetti dipende da un numero limitato di cause (approssimando, risulta che l'80% degli effetti dipende dal 20% delle cause). Tale analisi permette di classificare i prodotti in

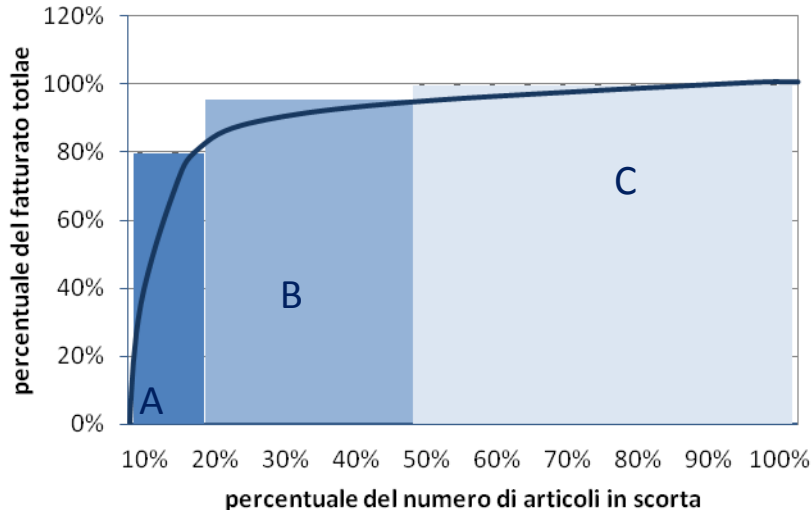


diverse categorie, che dipendono dal parametro (o dai parametri) che vengono utilizzati per la classificazione.

Ad esempio, qualora il parametro (o indice) utilizzato sia unico, in particolare il fatturato realizzato in un dato periodo di tempo dalla vendita dei prodotti presenti nell'area di stoccaggio di un centro di distribuzione, allora l'analisi porta a definire tre classi di elementi di importanza decrescente, denominate classe A, classe B e classe C, nel seguente modo.

1. si elencano gli  $n$  articoli in ordine decrescente del valore del fatturato nel periodo di tempo prescelto (ad esempio, un anno);
2. si calcola il valore del fatturato complessivo;
3. si determina il rapporto fra il valore del fatturato di ogni articolo e quello complessivo;
4. si calcolano le somme cumulate dei valori di cui al punto 3);
5. si confrontano i valori di cui al punto 4) con i prefissati limiti delle classi A, B e C (ad esempio, l'80% del fatturato con il 20% della quantità a scorta per la classe A, il 15% del fatturato con un quantitativo a scorta del 25% per la classe B, il restante 5% di fatturato con un quantitativo del 55% di scorta per la classe C);
6. si calcola la percentuale che ogni articolo rappresenta rispetto al totale delle voci e quindi la loro somma cumulata.
7. si confrontano i dati così calcolati e si verifica quali e quanti articoli rientrano in ciascuna classe (A, B e C).

Il concetto è esprimibile con il seguente grafico:



**Figura 3.54 Esempio di analisi ABC in relazione al fatturato**

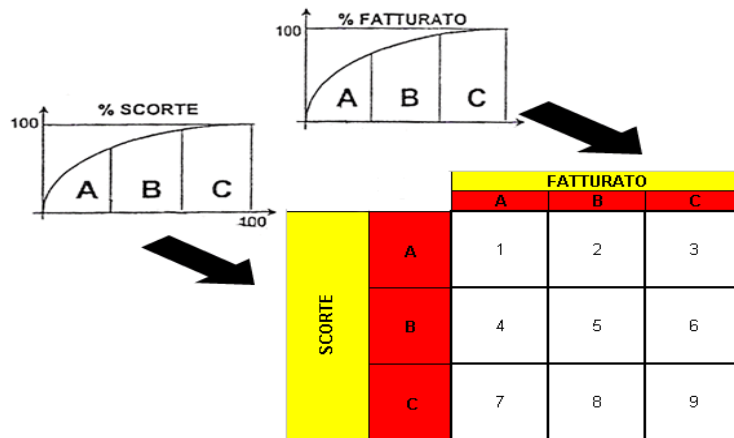
Altri parametri che possono essere utilizzati per condurre un'analisi ABC, oltre al fatturato, possono essere il valore delle scorte, gli spazi, i volumi, i clienti, i carichi di lavoro, ecc. L'analisi ABC condotta in base all'indice di rotazione degli articoli presenti nel centro di distribuzione è estremamente utile per definire le zone di allocazione dei prodotti all'interno dell'area di stoccaggio. L'obiettivo in questo caso è la riduzione dei tempi necessari per svolgere tutte le operazioni di prelievo della merce a magazzino.

L'analisi ABC in base al fatturato è utile ai fini della politica di gestione delle scorte. I prodotti in classe A richiedono livelli di scorta adeguata, in modo da evitare rischi di fuori scorta, rischi particolarmente gravi essendo gli articoli in classe A a garantire la maggiore quota di fatturato aziendale.

La classe B denota una minore criticità, vista la minore influenza sul fatturato dell'impresa. La classe C, invece, è un settore a bassa criticità che ha impatto ridotto sul fatturato aziendale e ad essa può essere dedicata minore attenzione in fase operativa.

Tuttavia, ai fini di una più efficace scelta delle politiche di gestione delle scorte, è opportuno condurre l'analisi ABC contemporaneamente su due indici: oltre al fatturato, è conveniente utilizzare anche il valore delle scorte (ottenuto tipicamente valorizzando la scorta media di ogni articolo presente in magazzino nel periodo di tempo al costo di acquisto).

Tutti i prodotti vengono attribuiti ad una classe di valore del fatturato e ad una classe di valore della scorta. Si formano quindi 9 sottoclassi di prodotti per le quali è possibile fare specifiche considerazioni gestionali, considerando non solo il valore prodotto per l'azienda da ciascuna classe (e quindi da ciascun articolo di quella classe), ma anche il relativo costo.



**Figura 3.55** Classificazione ABC in base a fatturato-valore della scorta

Dall'analisi combinata tra il valore delle scorte e il fatturato si ottengono, come si nota in Figura 3.55, nove aree, che derivano dalle classificazioni ABC in base al fatturato e al valore della scorta. Ogni articolo si trova in una delle 9 situazioni proposte. Sulla diagonale (caselle 1, 5 e 9) la situazione è assolutamente congrua. Le scorte sono adeguate al fatturato del prodotto. Tuttavia la casella 1 (fatturato A – scorte A) è considerata zona a cui dedicare particolare attenzione in quanto si potrebbero presentare due situazioni estreme:

- eventuali fuori scorta produrrebbero drastici cali di fatturato;
- al tempo stesso è l'area in cui si può maggiormente intervenire per ridurre le scorte.

La casella 9 (fatturato C – scorte C), invece, si trova nella situazione diametralmente opposta. È un'area di disattenzione nella quale si trovano articoli che molto probabilmente sono fuori mercato o anche in *stock out* (ma il cui valore è talmente ridotto da essere trascurabile).

Le caselle 3 e 7 sono, al contrario, zone molto critiche. In 3 (fatturato C – scorte A) l'elevato livello di scorte non è giustificato dal fatturato e, pertanto, si procede allo smaltimento delle scorte

(bloccandone l'approvvigionamento o realizzando vendite promozionali). La 7 (fatturato A – scorte C) presenta una situazione apparentemente ideale. A un basso livello di scorte corrisponde un elevato fatturato. È bene prestare attenzione a tale situazione perché potrebbe nascondere insidie, come elevati rischi di *stock out*. In caso di improvvisa richiesta di tale articolo, l'Azienda rischia di non essere in grado di soddisfare tale richiesta con conseguente erosione di un'alta quota di fatturato. Le caselle 2, 4, 6 e 8 delineano minori criticità, anche se la soluzione migliore è riportare i valori ad un'adeguata congruenza tra le varie categorie, agendo sul fatturato o sulle scorte, a seconda dei casi. La matrice ABC incrociata Fatturato-Scorte è una soluzione interessante e utile per realizzare anche un semplice studio di vita del prodotto. Ad esempio, un prodotto che viene a trovarsi nella casella 9 (fatturato C – scorte C) è molto probabilmente un prodotto alla fine della sua vita e l'Azienda può prendere in considerazione l'opportunità di eliminarlo dalla gamma dei disponibili.

Al fine di evidenziare eventuali situazioni anomale può essere utile confrontare graficamente l'indice di rotazione con la curva ABC relativa alle rimanenze. Le curve dovrebbero avere andamento opposto. Per gli articoli di classe A, dato il peso elevato sul valore di magazzino, la voce di costo più significativa è senz'altro il costo di mantenimento a scorta. Cercare di incrementare l'indice di rotazione significa cercare di mantenere bassa la giacenza. Naturalmente questo significa aumentare la frequenza dei rifornimenti, ma i costi associati sono di importanza secondaria per questa classe. Per gli articoli di classe C la situazione è opposta: dato l'impatto esiguo sul magazzino, è preferibile ridurre l'indice di rotazione, quindi incrementare le giacenze i cui costi risultano inferiori a quelli di riordino. Eventuali anomalie indicano situazioni da valutare singolarmente.

## Capitolo 4- Le decisioni operative in un Centro di Distribuzione

### 4.1 Introduzione

In questo capitolo saranno illustrate alcune delle decisioni operative che caratterizzano l'organizzazione di un centro di distribuzione. Le finalità di tali decisioni sono: permettere l'esecuzione delle operazioni interne al magazzino con l'obiettivo di limitare al massimo l'utilizzo delle risorse in termini di spazio, mano d'opera e mezzi, nonché perseguire la massima qualità del lavoro svolto.

Si tratta di decisioni a breve termine e riguardano la definizione dei piani di lavoro settimanali o quotidiani del personale e delle risorse materiali disponibili e utilizzano sia i dati provenienti dall'ambiente circostante (ordini emessi dai clienti, informazioni sullo stato dei magazzini e sulla disponibilità di veicoli, notizie di scioperi nel settore dei trasporti, ecc.) sia i risultati di previsioni. Trascurando quelle decisioni per le quali la capacità di giudizio e l'esperienza maturata rappresentano il tipico *modus operandi* degli operatori, rientrano nella nostra area di interesse quelle che richiedono l'adozione di metodi di tipo quantitativo.

Tipiche decisioni operative riguardano l'approvvigionamento dei centri di distribuzione, le consegne di prodotti finiti ai singoli clienti, e l'organizzazione delle attività di movimentazione: la formazione dei lotti, l'instradamento degli addetti alla movimentazione (e/o la schedulazione dei dispositivi automatici di prelievo e inserimento) e il caricamento dei mezzi di trasporto.

In alcuni casi queste scelte possono avvenire in tempo reale, modificando dinamicamente i piani di lavoro man mano che gli ordini dei clienti e le altre informazioni pervengono all'impresa.

### 4.2 Gli approvvigionamenti

La funzione di approvvigionamento ha senz'altro l'obiettivo di curare il rifornimento delle materie prime, ausiliarie, parti, componenti ed accessori da utilizzare nel processo produttivo. Quest'obiettivo deve essere realizzato nell'ottica di assicurare la continuità dei cicli di lavorazione e preservare l'economicità della gestione degli acquisti; quindi comporta la definizione di politiche di acquisto nei confronti di fornitori e clienti, di quantità e tempi di rifornimento, di modalità di pagamento e ricezione dei beni acquistati. Ciò implica collegamenti operativi con i fornitori finalizzati a definire e concordare la programmazione delle consegne, controllando costantemente la puntualità dei fornitori stessi sui programmi predefiniti, valutando con appositi indici l'efficacia e l'efficienza dei singoli fornitori.

Ma la funzione approvvigionamenti non si limita solo a ciò, investe anche altri aspetti gestionali più complessi; basti pensare, ad esempio, alla scelta di una politica di *make or buy* corretta.

Alla base tale processo decisionario vi è un'analisi del *trade-off* tra i costi associati all'acquisizione di un servizio e quelli collegati alla sua produzione all'interno: molte imprese considerano complessivamente più conveniente affidare la gestione di determinati segmenti del ciclo operativo ad altre imprese. Le scelte di *make or buy* possono essere supportate dalla determinazione del fabbisogno di indifferenza, che rappresenta la quantità di *output* al di sopra della quale la produzione interna risulta economicamente giustificata rispetto all'ipotesi di acquisto sul mercato.

Decidere cosa produrre e cosa, invece, convenga acquistare da sub fornitori non è competenza esclusiva della funzione approvvigionamenti, e anzi spesso questa responsabilità diretta in merito ricade sulla direzione di stabilimento. Tuttavia, il responsabile degli approvvigionamenti, il cui ruolo non può ridursi solo a trattare il prezzo degli acquisti, può fornire informazioni utili alla scelta finale. Nell'ambiente attuale, competitivo e globalizzato, i confini dell'impresa sono sempre più sfumati e sempre maggiore è l'integrazione di carattere non formale tra le imprese della catena di fornitura. Ciò determina un aumento della complessità dei rapporti che rende indispensabile un adeguamento delle professionalità interne ed esterne dedicate alla progettazione e gestione dei processi aziendali di approvvigionamento.

In particolare, i rapporti con le numerose aziende fornitrici di un centro di distribuzione vede delinearsi la necessità di una figura specifica: il *buyer*.

Un *buyer* si occupa di tutte le attività connesse all'approvvigionamento dei beni e dei servizi necessari allo svolgimento delle attività; si occupa di definire insieme al fornitore le caratteristiche, la quantità, i tempi di consegna e di pagamento della merce. Crea la rete di collegamento con i fornitori, per il reperimento delle materie prime, dei semilavorati o dei prodotti finiti, nel caso in cui operi all'interno della grande distribuzione. Individua i fornitori in relazione all'ottimizzazione del rapporto qualità/costo, negozia le tariffe di acquisto, il rinnovo e le integrazioni dei contratti. Seleziona le merci da acquistare e controlla l'andamento delle consegne, assicurando la disponibilità degli articoli gestiti. Il *buyer* inoltre analizza costantemente le informazioni provenienti dal mercato dei fornitori e dai diversi punti di vendita, provvedendo all'eventuale modifica dei piani d'acquisto.

Predisporre infine i contratti di fornitura e gli ordini di acquisto, accertandosi dei tempi di consegna. È una figura che associa conoscenze tecniche a creatività, individuando ciò che piace ai consumatori attraverso appropriate analisi di mercato. Si tratta pertanto di un ruolo per il quale la gestione delle informazioni risulta fondamentale. In questo contesto, le soluzioni gestionali ad elevato contenuto di ICT rappresentano senza dubbio una innovazione preziosa da considerare se si vogliono rendere più efficienti le relazioni tra cliente e fornitore.

E' sempre più diffusa, infatti, l'implementazione di processi operativi sperimentali orientati ad ottenere robusti miglioramenti nelle *performance* di gestione mediante la condivisione organizzativa del "valore" dell'integrazione informativa.

L'insieme delle metodologie e delle soluzioni di gestione ad elevato contenuto di ICT applicate al management degli approvvigionamenti prendono il nome di *e-Procurement*. Si tratta della naturale evoluzione dei sistemi interaziendali di comunicazione e consistono nella automatizzazione e virtualizzazione delle attività di approvvigionamento.

Attraverso i meccanismi di *e-Procurement*, che includono piattaforme tecnologiche e servizi forniti in rete, la relazione fornitore-cliente si estrinseca in una serie di transazioni e di scambi informativi e documentali attuati attraverso il collegamento in rete tra i contraenti e favoriti dalla sempre più spinta globalizzazione dell'economia e dalla crescente importanza delle logiche di organizzazione e gestione dei sistemi di fornitura nei modelli di business.

L'integrazione sistemica tra fornitore e cliente permette di migliorare le performance delle relazioni commerciali ed organizzative. Aumenta infatti la profondità nelle relazioni tra cliente e fornitore, che con il crescere della fiducia arricchiscono la piattaforma di informazioni condivise.

Così come aumenta anche l'ampiezza dei sistemi di fornitura, che grazie all'adozione di soluzioni ICT innovative, riescono ad allargare la base dei soggetti coinvolti nel network di imprese interessate ad intessere rapporti di interscambio commerciale.

L'implementazione di meccanismi di *e-procurement* può permettere importanti recuperi di competitività: sia sul piano dell'efficacia, per effetto dell'aumento del grado di controllo complessivo sulle attività della *Supply Chain* (ad esempio, si riesce a migliorare la puntualità nelle consegne oppure il grado di personalizzazione dell'offerta); sia sul piano dell'efficienza, intervenendo sulle modalità di esecuzione delle operazioni, con un ridimensionamento dei costi di gestione delle attività di approvvigionamento (è facile, ad esempio, ottenere recuperi di efficienza mediante il miglioramento delle offerte di vendita).

Le soluzioni manageriali incentrate sull'applicazione delle logiche di *e-Procurement*, pur essendo ormai sufficientemente mature e ampiamente collaudate, richiedono comunque particolare attenzione in fase di progettazione.

E' necessario, infatti, riuscire a gestire al meglio le problematiche riguardanti: la sicurezza delle transazioni, la scelta del partner tecnologico, l'adeguatezza delle risorse da destinare alla gestione dei sistemi cosiddetti *web based*.

Le soluzioni di *e-Procurement* possono essere promosse e gestite dai fornitori, mediante i propri siti (soluzioni *Sell side*); dai compratori, mediante i propri siti (soluzioni *Buy side*); oppure da intermediari neutrali (*e-marketplace*).

Sulla definizione di *e-marketplace* non esiste una piena convergenza in letteratura e tra gli "addetti ai lavori": c'è chi attribuisce al concetto di *e-marketplace* un significato limitato, riferendo il termine esclusivamente a quegli intermediari finalizzati a gestire *on-line* processi di compravendita tra imprese [Kaplan e Sawhney 2000; Forrester Research 1999], altri [McKinsey & CAPS Research, 2000:] considerano *e-marketplace* qualsiasi intermediario B2B finalizzato a supportare qualsiasi relazione commerciale di filiera, anche se di natura non strettamente transazionale. L'accezione più ampia di *e-marketplace* [Balocco e Rangone, 2002] consente di considerare anche alcuni modelli di business che, sebbene non supportino la transazione *on-line*, sono specificatamente finalizzati a svolgere la funzione di "mercato virtuale", cioè a far incontrare domanda ed offerta. L'*e-Markeplace* è, quindi, un mercato in cui in modo virtuale, grazie all'utilizzo di speciali software e collegamenti in rete, si incontrano le esigenze commerciali di venditori ed acquirenti. Le condizioni di pagamento e di consegna vengono spesso definite direttamente tra il compratore e il venditore ed i contatti avvengono direttamente via e-mail.

Esistono tre tipi fondamentali di *e-Marketplaces*: indipendenti, *sales focused* (orientati alle vendite), *procurement focused* (orientati agli acquisti).

L'***e-Marketplace indipendente***: aperto a qualsiasi compratore o venditore affidabile appartenente ad una specifica industria o regione, l'*e-Marketplace* è spesso gestito da terzi cioè guidato da gruppi imprenditoriali che non hanno interessi diretti nella filiera. In realtà, molto spesso l'indipendenza non è assicurata (soprattutto nel caso in cui gli *e-Marketplaces* sono composti da soli venditori o da soli compratori, oppure quando tra gli azionisti dell'*e-Market* sono presenti aziende del settore).

Gli altri due tipi di *e-Marketplaces* sono meno comuni, ma il loro numero sta aumentando.

I ***Sales focused e-Markets***: possono essere paragonati a grossisti o dettaglianti, che vendono prodotti di diverse aziende. Ad essi però non possono aderire indistintamente tutti i venditori.

I ***Procurement focused e-Markets***: costituiscono comunità commerciali aventi lo scopo di creare efficienti canali di acquisto. Ne è un esempio COVISINT nell'industria automobilistica: una collaborazione tra Ford, General Motors, DaimlerChrysler, Nissan e Renault.

Nell'***e-Marketplace*** la relazione informativa che si instaura tra cliente e fornitore è del tipo "molti a molti" e la correttezza delle relazioni viene garantita da un gestore della rete (mercato) specializzato. Gli acquisti possono avvenire da catalogo (a prezzo fisso, "relazione uno a uno") oppure in base ad un'asta (a prezzo dinamico, "relazione molti a uno" oppure "relazione molti a molti").

Per quanto riguarda le scelte tecnologiche, la maggior parte dei *Marketplace* ha adottato soluzioni *ad hoc* sviluppate attraverso tecnologie di base, o ibride, mentre solo in un numero abbastanza limitato di casi si è fatto ricorso a *suite software* specialistiche (Ariba, BroadVision, CommerceOne, Oracle etc.), soluzione questa che può risultare problematica a causa delle carenze di competenze specialistiche e della rigidità di alcune funzionalità della *suite*.

#### 4.3 Politiche di gestione a scorta

Le decisioni riguardanti le modalità di approvvigionamento dei diversi punti di stoccaggio da assumere in un sistema logistico si focalizzano sostanzialmente nella ricerca della risposta ottimale a due quesiti [Masturzi, 1990]: *quanto* ordinare di ciascun prodotto e *quando* emettere un ordine, con l'obiettivo di fornire un prestabilito livello di servizio a costo minimo. Queste scelte dipendono dall'andamento della domanda dei prodotti e dal tempo di reintegro delle scorte (definito come l'intervallo di tempo che intercorre tra la decisione di riordino e il momento in cui il quantitativo ordinato è disponibile in magazzino).

La domanda è costituita dalle "previsioni di vendita" e/o da ordini già acquisiti; per cui in generale possiamo esprimere:

$$D(x,t) = PV(x,t) + O(x,t)$$

dove:  $D(x,t)$  è la domanda del generico prodotto  $x$  nel periodo  $t$ ,  $PV(x,t)$  la previsione di vendita del generico prodotto  $x$  nel periodo  $t$ , e  $O(x,t)$  gli ordini già pervenuti dal mercato del prodotto  $x$  nel periodo  $t$ .

Caratteristiche della domanda sono: la sua prevedibilità, la stagionalità, la stazionarietà o la presenza comunque, di *trend*.

Per valutare la *prevedibilità* su base statistica della domanda si utilizza il coefficiente di variazione:

$$cv = \sigma / \bar{O}$$

dove  $\sigma$  è lo scarto quadratico medio dell'errore di previsione,  $\bar{O}$  = la domanda media. Allora possiamo esprimere:

$$cv = \frac{\sqrt{\frac{\sum_1^T (PV(t) - O(t))^2}{T}}}{\bar{O}}$$

dove:

$PV(t)$  è il valore di previsione di domanda effettuata per il periodo  $t$ ;  $O(t)$  è il valore della domanda effettivamente verificatesi (ordini effettivamente acquisiti con data di scadenza nel periodo  $t$ );  $\bar{O}$  è il valore medio del periodo della domanda effettiva, calcolato su  $T$  periodi.

Perché la domanda sia prevedibile, il coefficiente di variazione deve essere il più possibile prossimo allo zero; se è uguale a 0,02 o 0,03, la domanda è prevedibile deterministicamente. Per effettuare questa analisi si deve disporre della serie storica degli ordini di prodotto finito e della serie storica delle previsioni di domanda.

Per valutare se la domanda è affetta da *stagionalità* si utilizzano i metodi di analisi di serie storiche. Condizione essenziale perché la domanda sia stagionale è che lo scarto quadratico medio della domanda sia elevato:

$$\sqrt{\frac{\sum_1^T (O(t) - \bar{O})^2}{T}}$$

Una domanda si definisce *stazionaria* quando: la probabilità che al periodo  $t=t_1$  la domanda sia pari al valore  $x$  risulta uguale alla probabilità che al periodo  $t=t_2$  la domanda sia pari al valore  $x$ .

Sebbene la domanda per molti prodotti aumenta e diminuisce durante il loro ciclo di vita, molti prodotti hanno una durata di vendita che è sufficientemente lunga da considerarsi infinita ai fini della pianificazione.

Gli articoli a *domanda regolare* sono quelli che presentano i minori problemi di gestione perché, non essendo soggetti a moda o stagionalità, hanno un consumo abbastanza prevedibile e, non essendo deperibili possono essere riordinati nelle quantità più convenienti.

Essi vengono gestiti con riordini periodici: ciò che resta a scorta alla fine di un periodo può servire per il successivo.

Esamineremo un modello di estrema semplicità che si adatta bene a questi articoli e che servirà come punto di partenza per giungere a casi reali più complessi.

D'altra parte, alcuni prodotti sono principalmente stagionali oppure hanno un modello di domanda che presenta un picco.

Le scorte che sono conservate per soddisfare tale modello di *domanda stagionale* normalmente non possono essere liquidate senza un prezzo fortemente scontato. Se la previsione della domanda non è stata accurata, le scorte devono essere collocate in termini di prodotto finito in modo da minimizzare



l'opportunità di riordino o restituzione. Abiti alla moda, alberi di natale, sono esempi di questo tipo di domanda.

O ancora, la domanda potrebbe mostrare un modello nodoso o mutevole, con periodi di domanda ridotta o nulla seguiti da periodi di maggiore richiesta. In tal caso gli articoli hanno un consumo che non è così prevedibile come per quelli a domanda stagionale, che normalmente mostrano un picco che si verifica ogni anno nello stesso periodo. Gli articoli a *domanda mutevole* hanno un'elevata varianza intorno al loro livello medio di domanda. Se la deviazione standard della distribuzione di domanda, o l'errore di previsione, è più grande della domanda media, o della previsione, l'articolo è mutevole. La gestione delle scorte di questi articoli è trattata meglio con procedure intuitive o attraverso una modifica delle procedure matematiche più semplici discusse di seguito. Ci sono prodotti la cui domanda termina in un periodo prevedibile nel futuro, che è di solito più lungo di un anno. La pianificazione delle scorte in questo caso consiste nel mantenere le scorte solo per soddisfare le richieste della domanda, ma qualche riordinazione è concessa entro un orizzonte di tempo limitato. Libri di testo con revisioni pianificate, pezzi di scorte per aerei militari e farmaci a scadenza, sono esempi di prodotti con una vita definita. La distinzione tra questi prodotti e quelli con vita permanente è spesso sottile, quindi, al fine di sviluppare una metodologia di controllo possono essere considerati non diversamente dai prodotti a domanda permanente. Infine, il modello di domanda per un articolo potrebbe essere derivata dalla domanda di qualche altro articolo. La richiesta dell'imballaggio dei materiali deriva dalla richiesta del prodotto primario. La gestione delle scorte di tali prodotti a *domanda dipendente* è trattata meglio attraverso le tecniche dell'MRP.

In ogni caso, le soluzioni analitiche che si ottengono utilizzando un modello formale sono le soluzioni di un problema teorico; quanto siano applicabili alla realtà, cioè quanto siano prossime alla corretta soluzione del problema concreto, dipende dalla maggiore o minore aderenza del modello alla situazione considerata. Ciascun magazzino ha problemi propri e specifici, difficilmente schematizzabili in regole generali di comportamento. Chi vuole risolvere i problemi del proprio magazzino dovrà, dunque, analizzare e studiare la propria realtà e creare un modello che si adatti ad essa. Lo studio dei modelli classici trattati in letteratura è solo un primo passo in questa direzione.

Tali metodi, che saranno presentati nel dettaglio successivamente, sono identificabili da 3 parametri  $T_r$ ,  $L_r$ ,  $Q$ :  $T_r$  indica il periodo di riordino, ovvero la presenza di un intervallo di tempo minimo che intercorre tra due ordini successivi. Se  $T_r = 0$  gli ordini possono essere emessi in qualsiasi istante di tempo (a frequenza variabile); se  $T_r > 0$  il riordino avviene solo ad istanti determinati.

$L_r$  indica la presenza di un livello di scorta significativo (livello di riordino) al disotto del quale è necessario emettere un ordine.

$Q$  indica la modalità attraverso la quale si determina la dimensione della quantità in ordinazione.

Le diverse combinazioni dei parametri illustrati identificano le diverse metodologie di gestione del magazzino.

Il più semplice e più antico modello di gestione delle scorte a domanda indipendente presente in letteratura, è il modello di Wilson (*EOQ: Economic Order Quantity*). Esso presuppone una serie di ipotesi che spesso non lo rendono adatto ai casi concreti che possono presentarsi in azienda. Tuttavia

proprio da questo semplice modello si parte per studiare i casi reali che si ottengono eliminando successivamente alcune delle ipotesi di base.

- Nei modelli che si va a presentare, successivamente, si assume che la domanda e/o il tempo di riordino non siano così regolari da essere noti a priori, ma siano variabili casuali, cioè variabili descritte da distribuzioni di probabilità. Se tali distribuzioni sono note a priori, le variabili da esse rappresentate si definiscono *variabili casuali note*; nel caso in oggetto, se la conoscenza va intesa in questi termini, difficilmente si potrà dire di conoscere le variabili casuali che intervengono nei problemi di scorte. Tuttavia, per procedere nello studio di questi fenomeni probabilistici, si suporrà inizialmente di conoscere le variabili casuali e si ipotizzerà che esse siano *statiche, cioè indipendenti dal tempo*.
- Quando si formulano ipotesi di questo tipo, cioè quando si ammette che le grandezze varino unicamente in dipendenza della loro legge di probabilità e non anche nel tempo, si dice che il problema è formulato in *ipotesi statica*; altrimenti è formulato in *ipotesi dinamica*.
- Se la domanda e/o il tempo di riordino sono variabili, una gestione, comunque la si attui, non può risultare così regolare come previsto dal modello di Wilson, nel quale sia i lotti sia i cicli risultano costanti. In queste nuove ipotesi, o si suporranno costanti i lotti e allora varieranno gli intervalli tra un'emissione e quella successiva, o si suporranno cicli costanti e allora si ordineranno quantità variabili. I sistemi di gestione delle scorte di materiali a domanda indipendente, si possono ricondurre in definitiva a due macroclassi:
  - *riordino ad intervalli fissi di quantità generalmente variabili (sistemi di gestione a riordino periodico – re-order cycle inventory policy o periodic review system);*
  - *riordino di quantità costanti ogni volta che la scorta raggiunge il punto d'ordine (sistemi di gestione a punto d'ordine – re-order level inventory policy o fixed order quantity system).*

#### 4.3.1 La gestione deterministica delle scorte

In situazioni di certezza è possibile una gestione deterministica delle scorte utilizzando il modello di Wilson. Tale modello consente d'individuare il lotto di rifornimento più "economico" (**EOQ: Economic Order Quantity**) minimizzando i costi annui totali. In situazioni di certezza i costi annui sono dati dalla somma dei costi di rifornimento e di mantenimento a scorta.

I costi di rifornimento, dati dal costo d'acquisto (CA) più il costo di ordinazione (CO), sono tendenzialmente costi fissi poiché non dipendono dall'entità del singolo ordine. Sono pari al prodotto tra il costo del singolo rifornimento ed il numero di ordini nell'unità di tempo. Al crescere del lotto di acquisto i costi di ordinazione si riducono; possono essere pertanto rappresentati da una funzione iperbolica (vedi Figura 4.1). La formula dei costi di ordinazione può essere espressa come:

$$C_{ordinazione} = C_0 \frac{F}{Q}$$

dove:  $C_0$  è il costo fisso di ogni ordinazione di merce o del materiale considerato [€/ordinazione];  $F$  il fabbisogno (o domanda  $D$ ) annuo della merce o del materiale considerato [unità/anno];  $Q_{EOQ}$  il lotto economico o quantità ottimale da acquistare ogni volta.

I costi di stoccaggio, o costi di mantenimento delle scorte, (CM), o di giacenza, sono i costi associati al mantenimento delle scorte in magazzino.

Nei costi di mantenimento consideriamo soltanto quelli proporzionali alla quantità a scorta, non quindi le spese generali di magazzino (illuminazione, movimentazione, amministrazione, ecc.). E' da tener conto che maggiori sono i tempi di permanenza delle merci in magazzino, maggiori sono i costi connessi agli interessi sul capitale investito, al rischio di eventuali avarie, deperimenti, obsolescenze etc.

I costi di stoccaggio sono costi variabili, cioè direttamente correlati ai volumi delle scorte: al crescere del lotto di acquisto aumentano in modo proporzionale. La formula dei costi di stoccaggio può quindi essere così espressa:

$$C_{\text{stoccaggio}} = m * P * \frac{Q}{2}$$

dove:  $m$  è il costo annuo unitario di stoccaggio, o tasso di mantenimento a scorta, (costo per ogni euro di merce o di materiale giacente in magazzino [€/€/anno];  $P$  il prezzo unitario di acquisto riferito ad ogni unità fisica di merce o di materiale (prezzo che si ipotizza non vari al mutare dell'entità dell'ordinazione, [€/unità]); e il termine  $\frac{Q_{EOQ}}{2}$  rappresenta la scorta media.

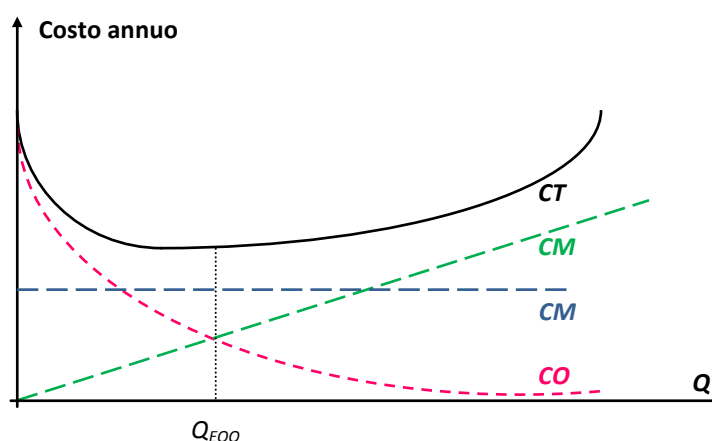
La curva del costo annuo di stoccaggio è quindi una retta ad intercetta nulla e pendenza  $\frac{mP}{2}$ .

In definitiva vale la seguente equazione:

$$C_{\text{totale}} = FC + C_0 \frac{F}{Q} + mP \frac{Q}{2} \quad 4.1)$$

dove il termine  $FC$  è il costo annuale d'acquisto unitario e non dipende dalla quantità a scorta,  $C_0 \frac{F}{Q}$  è il costo annuale di emissione degli ordini o di *setup* (il numero reale di ordini emessi,  $\frac{F}{Q}$ , per il costo di ciascun ordine),  $mP \frac{Q}{2}$  è il costo annuale di mantenimento a scorta (la scorta media,  $\frac{Q}{2}$ , per il costo unitario di mantenimento,  $mP$ ).

Una volta definiti i costi interessati, le quantità da ordinare derivano da tali costi.



**Figura 4.1** Curve di costo nel Modello EOQ

Riassumendo, si può affermare che all'aumentare dei costi di mantenimento verrà privilegiato l'acquisto di lotti più piccoli, per cui il quantitativo di scorta a magazzino sarà esiguo, mentre

all'aumentare dei costi di ordinazione sarà privilegiato l'acquisto di lotti più grandi, essendo questi costi direttamente connessi al numero delle ordinazioni. Si profila così un *trade-off* tra i due costi, in quanto i costi di mantenimento sono direttamente proporzionali alla quantità di scorta presente in magazzino e sono indipendenti dal numero di ordinazioni effettuate, mentre i costi di ordinazioni dipendono dal numero di ordini ma non dalla quantità acquistata (Brandolese et al, 1991).

Il modello EOQ, che ipotizza la domanda di un articolo indipendente dalla domanda degli altri articoli, costituisce una delle prime e più conosciute tecniche per la gestione delle scorte.

Questo modello è relativamente facile da usare ma si basa su diverse ipotesi:

- ✓ L'articolo non è deperibile.
- ✓ La domanda è conosciuta, costante e indipendente.
- ✓ Ogni prodotto viene considerato indipendentemente dagli altri: non ci sono interazioni dovute a limiti di capacità del magazzino.
- ✓ Il tempo di riordino (*lead time*  $L_T$  o  $T_r$ ), ossia il tempo tra l'emissione e la consegna di un ordine, è conosciuto e costante.
- ✓ La quantità di riordino non deve essere un numero intero, né ci sono quantità minime o massime consentite.
- ✓ La consegna di un ordine è istantanea e completa, ossia le merci di un ordine vengono consegnate in una sola volta e in un unico lotto (approvvigionamento a lotti).
- ✓ Il costo unitario variabile del prodotto non varia in funzione della quantità ordinata (non sono ammessi sconti sulla quantità).
- ✓ I fattori di costo non cambiano nel tempo (inflazione trascurabile). Gli unici costi variabili sono i costi di riordino e i costi di giacenza.
- ✓ La mancanza di scorte (*stockout* o *shortage*) può essere completamente evitata se gli ordini vengono emessi al momento giusto.
- ✓ L'orizzonte temporale è molto lungo (i parametri sono assunti costanti).

In tali ipotesi l'andamento delle scorte può essere rappresentato attraverso un diagramma a denti di sega (figura 4.2).

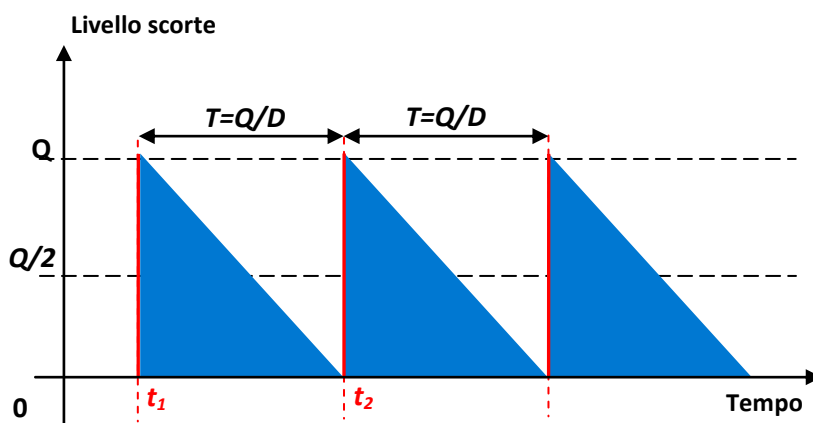


Figura 4.2 Andamento del livello di giacenza nel Modello EOQ

In  $t_1$  il magazzino è pieno di scorte e i processi produttivi e distributivi possono essere alimentati facilmente. Nell'intervallo di tempo  $[t_1, t_2]$  la giacenza viene utilizzata, ed essendo la domanda costante, diminuisce ad un tasso uniforme nel tempo per effetto delle vendite o dei consumi. Quando la giacenza all'istante  $t_2$  sarà totalmente esaurita, un nuovo ordine viene emesso e ricevuto, con  $L_T=0$ , ed il livello delle scorte sale nuovamente a  $Q$ . Il Lotto economico d'acquisto può essere determinato con una relazione abbastanza diffusa e sufficientemente attendibile (modello di Wilson) annullando la derivata del costo totale rispetto a  $Q$  :

$$\frac{dC_{totale}}{dQ} = 0 + \left(-\frac{FC_0}{Q^2}\right) + m * P * \frac{1}{2} = 0$$

Il lotto economico di acquisto, pertanto, è dato dalla seguente relazione matematica:

$$Q_{EOQ} = \sqrt{\frac{2C_0F}{mP}} \quad 4.2)$$

Tale quantità è chiamata anche Lotto Economico di Riordino .

Sostituendo l'espressione di  $Q_{EOQ}$  nella  $C_{totale}$ , si può osservare che in corrispondenza del minimo le due componenti di costo  $C_{stoccaggio}$  e  $C_{ordinazione}$  sono uguali, e

$$C_{totale} = \sqrt{2C_0FmP}$$

Il lotto economico di riordino può anche essere espresso in termini del tempo ottimale che deve trascorrere tra un ordine ed il successivo ( $T_{EOQ}$ ) che, data la proporzionalità tra il fabbisogno nell'intervallo di tempo unitario e la quantità ottimale da ordinare nell'intervallo di reintegro, può essere espresso:

$$T_{EOQ} = \frac{Q_{EOQ}}{F}$$

In tal caso si parla di "periodo economico" o POQ (*Periodic Order Quantity*).

Si è ora in grado di rispondere alle domande poste inizialmente: in merito al quanto, rispondiamo che conviene ordinare la quantità  $Q_{EOQ}$ , mentre l'intervallo ottimo di riciclaggio è  $T_{EOQ}$  e il numero ottimo di ordini, ossia la frequenza di riordino, è  $n_{EOQ}=1/T_{EOQ}$ .

Si può notare che il lotto economico cresce al crescere dei costi di ordinazione e del fabbisogno di approvvigionamento. Si riduce, invece, all'aumentare del costo del capitale.

Inoltre al raddoppiarsi del fabbisogno di approvvigionamento ( $F$ ) il lotto economico cresce per un coefficiente pari a  $\sqrt{2}$ . Lo stesso coefficiente esprime la crescita della scorta media e quindi dei costi di mantenimento, a dimostrazione dell'esistenza di economie di scala nei costi di gestione delle scorte.

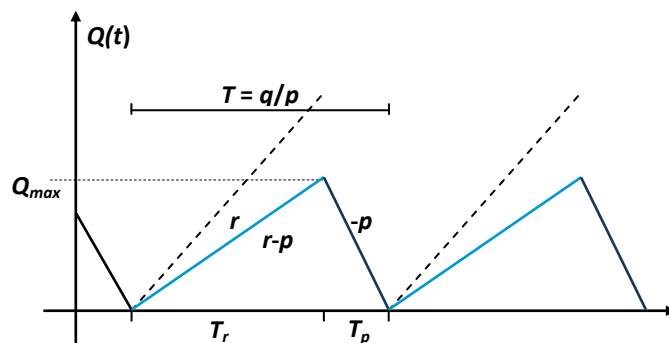
Va inoltre sottolineato che la dimensione ottima suggerita dal modello EOQ va considerato un valore solo indicativo. Talvolta intervengono infatti condizionamenti esterni, ad esempio la necessità di bilanciare correttamente i carichi di lavoro sulle macchine oppure di ottimizzare i trasporti saturando gli automezzi o i container. La curva dei costi totali, risulta comunque in prossimità del valore di minimo abbastanza piatta e questo comporta la possibilità in fase decisionale, di discostarsi dal valore ottimale senza pregiudicare di molto il risultato ottenuto. Può risultare invece, vincolante e non trascurabile il ritmo produttivo: nel modello EOQ si assume che l'intero ordine venga ricevuto in una sola volta. In alcuni casi tuttavia gli ordini possono essere ricevuti gradualmente e il

rifornimento del magazzino distribuito nel tempo. Ciò significa che una parte degli articoli verrà utilizzata durante la fase di approvvigionamento mentre la restante verrà immagazzinata. Tali situazioni si presentano in due occasioni: quando gli ordini vengono consegnati come flussi continui in un determinato periodo di tempo (approvvigionamento continuo); oppure quando le unità in scorta sono prodotte dall'azienda.

In tali circostanze è necessario considerare il tasso di produzione giornaliera (o di flusso degli ordini) e il tasso di domanda: il modello del lotto economico va pertanto "aggiustato". Nel seguito si farà riferimento al caso della produzione. Si considererà l'orizzonte temporale di un anno prendendo in considerazione i soli giorni produttivi (250 giorni all'anno).

Se  $r$  è il tasso di rifornimento (per unità di tempo) e  $p$  è il tasso di prelievo dal magazzino (per unità di tempo), il rapporto  $p/r$  individua la frazione di merce che viene consumata mentre è in corso la fase di approvvigionamento. Per differenza, la percentuale che viene messa a scorta è pari a  $1 - p/r$ . L'andamento del livello delle scorte  $Q(t)$  al variare del tempo  $t$  è rappresentato graficamente in figura 4.3, dove gli approvvigionamenti del punto di stoccaggio sono descritti tramite segmenti tratteggiati di pendenza pari a  $r$ . Poiché la fornitura della quantità  $q$  avviene con continuità ad un tasso costante pari a  $r$ , vale la relazione:  $q = rT_r$ , (si osservi che essendo  $T_r < T$ , si ricava che  $r > p$ ).

L'andamento del livello delle scorte (rappresentato da segmenti continui in figura 4.3) si compone di due tratti lineari: la produzione continua per tutto il periodo  $T_r$ , il livello delle scorte si incrementa ad un tasso pari a  $r - p$ , poiché, contemporaneamente al rifornimento, vi è un prelievo ad un tasso costante pari a  $p$ ; nella parte restante del ciclo, il livello delle scorte decresce linearmente con pendenza pari a  $-p$  poiché non vi è più alimentazione, ma solo prelievo.



**Figura 4.3** Andamento del livello delle scorte nel caso di alimentazione e prelievo continui (Production Order Quantity)

Quando le scorte raggiungono il livello 0 si riprende la produzione.

Il livello massimo di scorta  $Q_{max}$  sarà dato da:

$$Q_{max} = (r - p)T_r = Q(1 - p/r) .$$

Il livello medio di giacenza sarà dato da:

$$Q_{medio} = \frac{p - r}{2} T_r$$

Come nel modello *EOQ*, la quantità ottimale di scorta si ricava minimizzando la funzione costo totale data in questo caso dalla somma del costo annuo di giacenza e del costo annuo di *setup* (i costi di *setup* riguardano il caso in cui i beni in scorta vengano prodotti internamente dall'azienda e includono i costi per predisporre le macchine e i processi produttivi alla preparazione di un ordine; in molti casi, il *setup* dei macchinari e dei processi richiede molto lavoro e quindi i costi di *setup* sono strettamente correlati con il *setup time*).

La funzione costo totale quindi cambia in:

$$C_{totale} = FC + C_0 \frac{F}{Q} + mP \frac{Q(1 - p/r)}{2}$$

Annullando la derivata del costo totale rispetto a  $Q$  :

$$\frac{dC_{totale}}{dQ} = \left( -\frac{FC_0}{Q^2} \right) + \frac{1}{2} mP \left( 1 - \frac{p}{r} \right) = 0$$

il lotto economico diventa allora (*Production order quantity model*):

$$Q_{EOQ} = \sqrt{\frac{2C_0F}{mP} \frac{r}{r-p}} \quad (4.3)$$

Si tratta di un valore superiore a quello in caso di rifornimento immediato.

Dal momento che per aumentare le vendite molte aziende offrono ai loro clienti sconti sulla quantità, ossia prezzi ridotti per gli articoli acquistati in grosse quantità, una delle correzioni più frequenti al Modello di Wilson è quella che consente di tener conto di tali sconti, formulando un modello che prende il nome di *Quantity discount model*.

Come in precedenza, l'obiettivo è quello di minimizzare il costo totale di gestione delle scorte. In questo caso si possono avere due situazioni distinte riguardo alle quantità su cui lo sconto incide. Si può verificare il caso in cui lo sconto vale su tutte le quantità ordinate, una volta che sia stato superato un determinato valore di soglia, oppure per le sole quantità che eccedono il valore di entità del lotto a partire dal quale scatta lo sconto sul prezzo di acquisto.

Nel primo caso, in generale, se si ipotizza per il costo unitario  $p$  un andamento a gradini (ad esempio, 5€ da 0 a 999 unità, 4,80€ da 1.000 a 1.999 unità, 4,75€ da 2.000 unità in poi), è possibile individuare una serie di funzioni obiettivo ( $y(Q)$ ), ciascuna delle quali contraddistinta da un diverso valore del costo d'acquisto  $p$  e quindi del costo di giacenza unitario. Ciascuna di tali funzioni risulta definita in un intervallo  $[Q_i, Q_{i+1}]$  al quale corrisponde il costo  $p_i$ . Studiando separatamente le varie *funzioni obiettivo*, ciascuna limitatamente al proprio campo di esistenza, è possibile individuare un punto minimo per ogni funzione, come si ricava dalla Figura 4.4, nella pagina successiva. Comparando i differenti valori del costo totale limitatamente ai vari punti di minimo è possibile individuare quello cui compete il costo totale minimo in assoluto.

Per determinare la quantità ottima di riordino vi sono 4 fasi da seguire:

1. Per ogni scaglione, calcolare la quantità ottima di riordino;
2. Per ogni scaglione, definiamo  $\underline{Q}$  come il limite inferiore dello scaglione e  $\bar{Q}$  come il limite superiore. Sono possibili quindi 3 situazioni:

Se  $\underline{Q} \leq Q_x \leq \bar{Q}$  :  $Q_x$  è una quantità ammissibile per il relativo scaglione.

Se  $Q_x \leq \underline{Q}$  :  $Q_x$  non è una quantità ammissibile per il relativo scaglione; si pone:  $Q_x = \underline{Q}$

Se  $Q_x \geq \bar{Q}$  :  $Q_x$  non è una quantità ammissibile per il relativo scaglione; si pone:  $Q_x = \bar{Q}$

3. Calcolare, per ogni scaglione, il costo totale sulla base della relativa quantità  $Q_x$ .
4. Scegliere  $Q_x$  che ha dato luogo al costo totale minore.

La figura 4.4 rappresenta la curva di costo totale (in grassetto) in una situazione con 3 scaglioni di prezzi. Per lo scaglione 1 si ha  $Q_{x1} \geq \bar{Q}_1$  ; per lo scaglione 2  $\underline{Q}_2 \leq Q_{x2} \leq \bar{Q}_2$  ; per lo scaglione 3  $Q_{x3} \leq \underline{Q}_3$  .

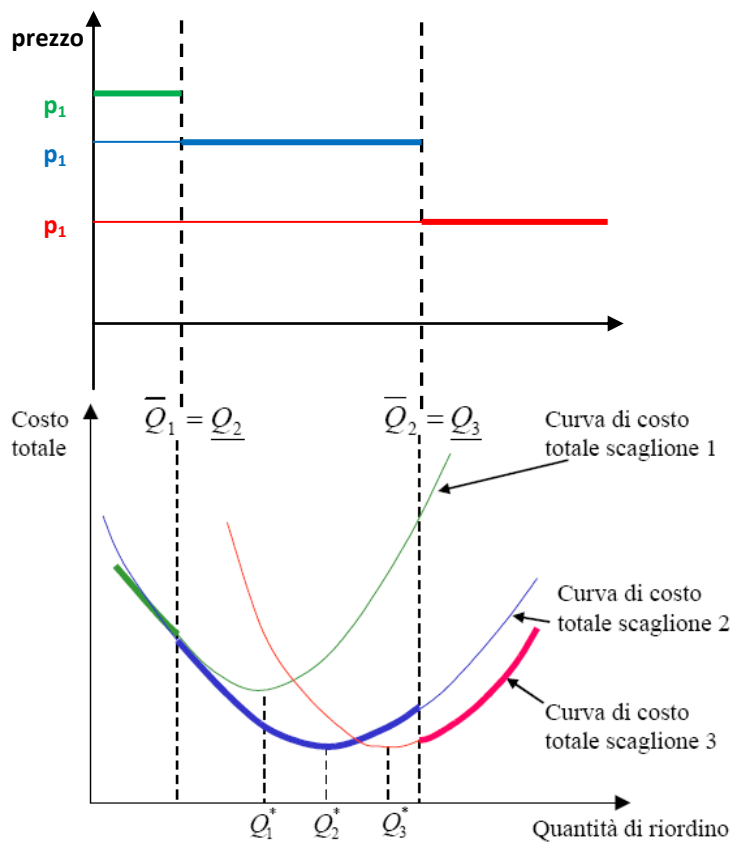


Figura 4.4 Curva di costo totale per il modello di sconto sulla quantità

#### 4.3.3 Politiche a Punto di riordino costante

Una volta stabilita *quanto* ordinare, si deve stabilire *quando* ordinare.

Nei modelli di gestione a quantità fissa (o anche detti a punto d'ordine), l'elemento distintivo è che l'emissione dell'ordine viene condizionata dal verificarsi di un evento. Il modello "a punto d'ordine" prevede un continuo controllo del livello delle giacenze e l'emissione di un ordine non appena il livello di giacenza a magazzino risulta inferiore ad un prestabilito punto o livello di riordino  $L_r$ . L'ordine effettuato sarà sempre della stessa quantità, mentre è variabile il periodo di riordino.



Occorre precisare che quando si parla di scorte da tenere sotto controllo, si parla sempre di scorte disponibili. La Giacenza Disponibile (*Total Available Stock*) è per definizione uguale a:

$$GD = GF - BO + O$$

dove *GF* è la Giacenza Fisica, *BO* è la quantità impegnata per consegne arretrate (*Back Orders*) e *O* rappresenta la quantità in arrivo per ordini emessi in precedenza (*On - Order*).

Nella sua versione teorica, il modello del lotto economico è un modello di gestione delle scorte a "quantità fissa e tempo fisso": si assume che l'azienda emetta l'ordine quando il livello delle scorte è pari a 0 e che l'ordine venga consegnato istantaneamente. Esso quindi, consente di determinare la quantità da acquistare e il numero di rifornimenti da effettuare. In assenza di variabilità nei tassi di prelievo (*p*) e nei tempi di consegna (sia essa immediata o graduale), il magazzino assumerà il classico andamento 'a dente di sega' o 'a pettine'.

In realtà, il tempo intercorrente tra l'emissione e la consegna dell'ordine, o *lead time*, può essere non indifferente. I tassi di prelievo possono essere noti nella loro dimensione media ma assumere valori variabili ed imprevedibili, in relazione alla variabilità 'a valle', cioè nei ritmi di produzione e/o nella domanda di mercato. Se questi non sono così regolari da essere noti a priori, ma variabili casuali note, cioè variabili con assegnate distribuzioni di probabilità, può così accadere che il magazzino si esaurisca prima o dopo il previsto. La gestione delle scorte seguirà cioè un modello "a quantità fissa e a tempo variabile". L'andamento del magazzino sarà allora rappresentato da un 'pettine' irregolare, con denti ora più fitti (tassi di prelievo elevati) ora più radi (tassi di prelievo ridotti).

Se il fornitore ha la flessibilità necessaria a reagire prontamente alle richieste dell'acquirente, non ci saranno problemi per quest'ultimo. Spesso, però, il fornitore non ha la capacità di reagire immediatamente agli ordini dell'acquirente.

Egli può cioè aver bisogno di un periodo di tempo per 'preparare' il lotto di rifornimento per la successiva consegna (che potrà poi essere fatta in unica soluzione o gradualmente).

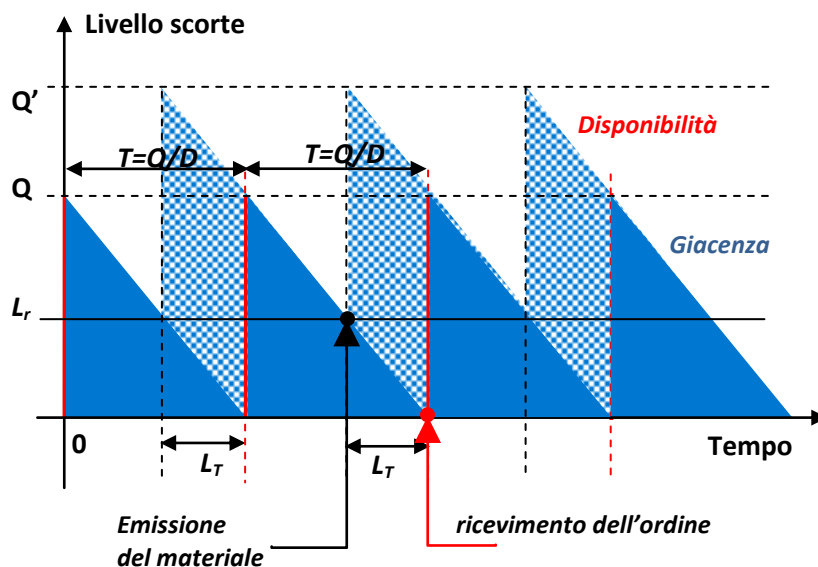


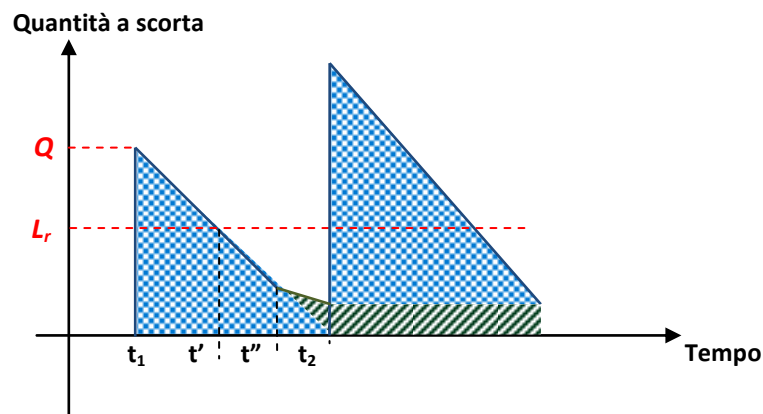
Figura 4.5 Livello di riordino nel Modello EOQ

Ogni ordine di acquisto va allora 'lanciato' con un anticipo pari al lead-time di rifornimento rispetto al momento in cui dovrà avvenire la consegna, cioè al momento dell'esaurimento previsto del magazzino.

All'istante  $t-L_T$  quando la scorta raggiunge il punto d'incontro tra la retta corrispondente ad un fissato livello di riordino  $L_R$  e quella che descrive l'andamento della scorta, viene lanciato un ordine di approvvigionamento, per cui virtualmente è come se la scorta incrementasse il suo livello fino ad arrivare in corrispondenza del punto  $Q'$ . In realtà, da  $t-L_T$  a  $t$ , l'impresa utilizza la scorta ancora in giacenza, e solo in  $t$  riceve il quantitativo di scorta ordinato ed è pronta per continuare ad alimentare i suoi processi di vendita e/o di produzione.

Una consegna ritardata comporterebbe una indesiderabile situazione di 'sottoscorta' (*stock-out*); una consegna anticipata comporterebbe invece un antieconomico esubero di materiali a scorta (*over-stock*).

L'*over-stock* si manifesta quando esiste per un determinato periodo una scorta eccessiva rispetto alle immediate necessità. Sovraproduzione, annullamento di ordinativi, cali inattesi delle vendite dovuti a fattori contingenti del mercato locale e internazionale: sono alcuni tra i principali motivi di generazione di giacenze di magazzino con bassa possibilità di vendita. La situazione di sovra scorta può essere descritta come nella figura 4.4 (Grando,1995). In  $t'$  viene emesso un ordine di approvvigionamento. In  $t''$  cambia l'inclinazione della retta del consumo della giacenza nel periodo che diventa più piatta, legata ad una diminuzione della domanda nel periodo. Quanto in  $t_2$  sopraggiunge la merce ordinata, è ancora presente della merce in magazzino, per cui il livello di scorte ottimale da detenere a magazzino,  $Q$ , viene oltrepassato. Si sostengono, in questo caso, costi aggiuntivi di mantenimento di sovra-scorta.



**Figura 4.6 Il caso dell'over-stock.**

Nel caso in cui un fornitore, in un certo periodo, effettua uno sconto sul prezzo di acquisto, indipendentemente dalla quantità acquistata, potrebbe però, risultare conveniente aumentare la quantità da ordinare quando all'interno del periodo di validità dello sconto è previsto di effettuare un ordine. Per valutare l'opportunità di approfittare dello sconto del fornitore occorre calcolare la differenza tra la funzione costo totale nel caso di emissione di un ordine di maggiore entità rispetto a quella normale e la funzione costo totale con quantità ordinate inalterate. Sia  $k$  lo sconto riconosciuto

dal fornitore sul prezzo di acquisto e sia  $Q'$  la quantità, maggiore di  $Q_{ott}$ , ordinata per approfittare dello sconto. La quantità  $Q'$  verrà consegnata nel tempo  $Q'/D$  che risulterà l'intervallo temporale all'interno del quale calcolare la differenza tra le due funzioni di costo totale.

A questo punto occorre massimizzare la differenza tra le due funzioni:

$$C_{totale} - C'_{totale} = (p - k)Q_{ott} + p(Q' - Q_{ott}) + \frac{Q'}{Q_{ott}}C_0 + \frac{Q_{ott}}{2}m(p - k)\frac{Q_{ott}}{D} + \frac{Q_{ott}}{2}mp\frac{Q' - Q_{ott}}{D} - \left[ (p - k)Q' + C_0 + \frac{Q'}{2}m(p - k)\frac{Q'}{D} \right]$$

Facendo la differenza, derivandola rispetto a  $Q_{ott}$  e ponendo la derivata uguale a zero, si ottiene:

$$Q'_{ott} = \left( \frac{2C_0}{Q_{ott}} + k \right) \cdot \frac{D}{m(p - k)}$$

e la differenza che corrisponde a quella scelta è:

$$(C_{totale} - C'_{totale})_{ott} = \frac{C_0(p - k)}{p} \cdot \left( \frac{Q'_{ott}}{Q_{ott}} - 1 \right)^2$$

che risulta essere sempre positivo e quindi sempre conveniente. Nel caso invece in cui all'interno dell'intervallo di validità dello sconto non vi sia alcun ordine che deve essere emesso, bisognerà emettere un ordine in anticipo quando il livello di scorta in mano è pari a  $q$ . In questo caso si ottiene:

$$Q'_{ott} = \frac{2DC_0}{Q_{ott}m(p - k)} + \frac{kD}{m(p - k)} - q$$

$$(C_{totale} - C'_{totale})_{ott} = C_0 \cdot \left( \left( \frac{Q'_{ott}}{Q_{ott} \sqrt{\frac{p}{p - k}}} \right)^2 - 1 \right)$$

per cui si ottiene un valore positivo di differenza solo quando si verifica:

$$Q'_{ott} > Q_{ott} \sqrt{\frac{p}{p - k}}$$

Analogo a questo caso è quello in cui si prevede che il prezzo di acquisto aumenti dopo un certo periodo.

Accanto alla situazione di *over-stock* esiste quella dello *stock-out*, che al contrario si manifesta quando l'impresa non è in grado di far fronte alla domanda di periodo a causa di un esaurimento della scorta in magazzino. Tale situazione è rappresentata nella figura 4.7.

In  $t'$  viene emesso un ordine di approvvigionamento. In  $t''$  l'aumento improvviso della domanda genera un cambiamento d'inclinazione della retta del consumo della giacenza nel periodo che diventa più ripida. La giacenza si esaurisce prima di raggiungere  $t_2$ , per cui per un intervallo di tempo l'impresa non riesce ad alimentare i suoi processi distributivi e produttivi, generando un ammanco.

In tale circostanza supponendo che i clienti siano disposti ad accettare dilazioni nella consegna dei beni rispetto alla data richiesta, si fa ricorso in taluni casi a fornitori esterni che richiedono maggiori prezzi per ridurre il *lead time*, in altri casi è necessario l'impiego di straordinari per la realizzazione dei prodotti.

Il modello EOQ viene ad essere quindi modificato per far sì che le richieste, prossime all'evento di arrivo di un lotto, vengano gestite in *backorder* ovvero esaudite solo dopo il ripristino della scorta. Nel momento in cui la quantità ordinata  $Q$  arriva, viene ripristinata la quantità massima presente in magazzino e pari a  $Q_{max}=Q-B$  poiché la quantità  $B$  (*ammancio* o *backorder*  $B$ ) verrà istantaneamente decumulata nel momento di arrivo del nuovo lotto.

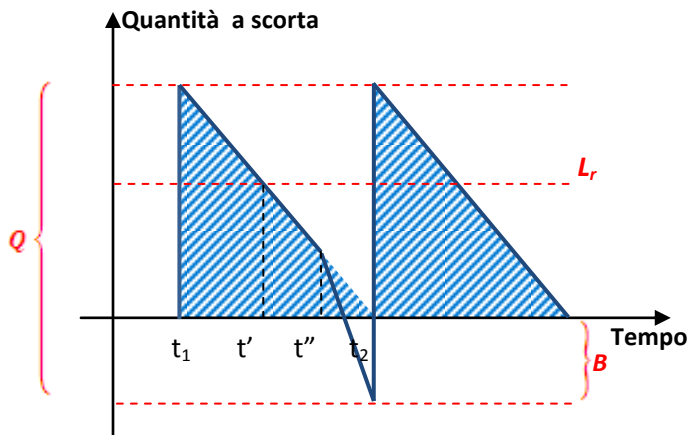


Figura 4.7 Il caso dello stock-out

La giacenza media, nel periodo in cui il livello di magazzino è positiva, può essere calcolata come:

$$\frac{Q-B}{2} \cdot \frac{Q-B}{Q} \text{ essendo } \frac{Q-B}{Q} \text{ la frazione di tempo in cui il livello del magazzino è positivo; e come } \frac{B}{2} \cdot \frac{B}{Q}$$

nel periodo in cui il livello del magazzino è negativo.

La quantità di  $Q-B$ , corrispondente all'ordine da evadere in ritardo, viene inviata, con maggiori costi, ai clienti. Il costo di *stockout* è comunque proporzionale al tempo di ritardo, quindi può essere valutato in modo del tutto analogo ai costi di stoccaggio.

Nella funzione costo totale, in un singolo periodo  $T$ , oltre al termine di costo di mantenimento a scorta nel periodo corrispondente ad un livello positivo del magazzino compare anche un termine relativo al costo di *stockout* o *backorder*:

$$C_{totale} = CD + C_0 \frac{D}{Q} + mp \frac{(Q-B)^2}{2Q} + c_{so} \frac{B^2}{2Q}$$

Dove con  $c_{so}$  indichiamo il costo di *stockout* di un singolo evento.

La funzione costo deve essere ottimizzata sia rispetto alla dimensione del lotto che al *backorder*:

$$\min_{Q,B}(C_{totale}) \Rightarrow \begin{cases} \frac{\delta}{\delta Q} \left[ pD + C_0 \frac{D}{Q} + mp \frac{(Q-B)^2}{2Q} + c_{so} \frac{B^2}{2Q} \right] = 0 \\ \frac{\delta}{\delta Q_{max}} \left[ pD + C_0 \frac{D}{Q} + mp \frac{(Q-B)^2}{2Q} + c_{so} \frac{B^2}{2Q} \right] = 0 \end{cases}$$

Si ottiene così:

$$\begin{cases} -C_0 \frac{D}{Q^2} - mp \frac{2(Q-B)2Q - (Q-B)^2 2}{4Q^2} + \frac{-2c_{so}B^2}{4Q^2} = 0 \\ mp \frac{Q-B}{Q} - \frac{c_{so}B}{Q} = \frac{(mp+c_{so})B}{Q} - mp = 0 \end{cases}$$

Da cui sostituendo il valore di  $B$  dalla seconda nella prima:

$$Q_{ott} = \sqrt{\frac{2DC_0}{mp}} \cdot \sqrt{\frac{mp + c_{so}}{c_{so}}} = Q_{EOQ} \sqrt{\frac{mp + c_{so}}{c_{so}}}$$

che rappresenta la dimensione del lotto economico di approvvigionamento nel caso in cui si ammetta *backorder*, imputando il costo  $c_{so}$  per ciascuna unità di materiale richiesta e consegnata in ritardo. Si può osservare che al crescere di  $c_{so}$  la dimensione del lotto tende ad EOQ, visto che in questo ultimo modello, non essendo ammesso *backorder*, il relativo costo unitario sarebbe appunto infinito. E' possibile andare a calcolare il valore massimo di tempo che un cliente deve attendere come rapporto tra  $(Q - Q_{max})$  e la domanda  $D$ , in questo modo è possibile valutare se tale ritardo è accettabile.

Tra le due problematiche, sicuramente quella dello *stockout* è più pericolosa da gestire, perché causa un mancato soddisfacimento della domanda che difficilmente può essere sanato, non solo in termini di minori introiti legati alla mancata vendita, ma anche perdita di immagine, mancata soddisfazione del cliente, perdita della fiducia, ecc...

L'impresa acquirente deve quindi, tenendo conto dei tassi di prelievo dal magazzino, stimare il momento in cui il magazzino si esaurirà, per essere così in grado di lanciare un ordine di acquisto con un anticipo pari al lead-time del fornitore.

In merito al quando ordinare, osserviamo quindi che normalmente si risponde a questa domanda non indicando un istante nel tempo ma un livello di scorta. Questo livello di scorta, al raggiungimento del quale è necessario avviare le operazioni di riordino, individua il momento del lancio dell'ordine e viene detto **punto d'ordine o livello di riordino**  $L_r$  (*reorder point, o reorder level ROP o ROL*).

Esso tiene in conto in sostanza la somma di tre tempi:

- il tempo necessario per spiccare l'ordine (avvio della procedura amministrativa, consultazione dei fornitori, autorizzazione all'acquisto, emissione dell'ordine);
- il tempo occorrente per l'arrivo della merce;
- il tempo necessario per la messa a disposizione della merce (ricezione, controllo, ecc.)

Nel modello EOQ, poiché si è supposto di non voler scorta in mano quando arriva un nuovo lotto, il punto d'ordine è esattamente uguale al consumo nel tempo di riordino. E si calcola nel seguente modo:

$$L_r = \bar{d}_{L_T} \quad (4.4)$$

dove:  $\bar{d}_{L_T}$  = domanda media durante il tempo di approvvigionamento pari a  $d \cdot L_T$ ; con  $d$  la domanda giornaliera pari al fabbisogno annuo diviso 365.

Si osservi che il tempo di riordino o di approvvigionamento  $L_T$ , ed il tempo di reintegro  $T_{EOQ}$ , sono grandezze indipendenti; la prima dipende sostanzialmente dalla volontà dei fornitori mentre la seconda è il risultato di una scelta di ottimizzazione aziendale.

### 4.3.3 La gestione delle scorte in regime di incertezza

Il modello del lotto economico, pur essendo ampiamente utilizzato nella prassi aziendale (adattato di volta in volta rispetto alle specifiche d'impresa rispetto alla versione originale), poiché fondato su

una serie di ipotesi e di limitazioni, non rispecchia la realtà operativa delle imprese, che devono far fronte con oscillazioni della domanda, ritardi negli approvvigionamenti, fermi macchina, scioperi dei fornitori, ecc...., tutti elementi che causano le problematiche introdotte precedentemente: *l'over-stock* e lo *stock-out*, con le quali è inevitabile dover fare i conti quando entra in gioco la componente incertezza. Una gestione delle scorte a livello di riordino non può eliminare del tutto il problema dell'incertezza; se durante l'intervallo di approvvigionamento la domanda aumenta rispetto al valore previsto, o se aumenta il tempo di approvvigionamento, la giacenza al momento dell'emissione dell'ordine non è più sufficiente per coprire il fabbisogno stimato. Il modo più comune per evitare il rischio di incorrere in una condizione di *stock out*, è quella di aumentare il livello di giacenze definendo una opportuna scorta di sicurezza *SS*. Nel caso in cui la previsione della domanda sia corretta e il fornitore rispetti il tempo di consegna pattuito, tale scorta non verrà intaccata, ma nel caso contrario rappresenta il "serbatoio" da cui attingere per poter soddisfare la domanda.

Questa politica, denominata  $(Q, L_r)$ , consiste nel riordinare la quantità costante  $Q$  ogni volta che la scorta scende sotto il punto d'ordine.

Questo tipo di gestione è detto anche *politica dei due magazzini* o *dei due contenitori* (*two bin policy*) perché si può pensare di realizzarla in questo modo. In un primo magazzino si conserva la quantità  $L_r$ , in un secondo l'eccedenza e da quest'ultimo si attinge regolarmente per i fabbisogni quotidiani. Quando il materiale in questo secondo magazzino è esaurito si emette l'ordinazione e si comincia a prelevare dal primo; non appena arriva il lotto si riempie il primo magazzino fino al livello  $L_r$  e la merce restante va nel secondo, dal quale si ricomincia a prelevare.

In questa tecnica, che può essere interpretata come una variante del metodo a punto di riordino, non sono tuttavia utilizzati dati previsionali e non è richiesto un monitoraggio continuo. Naturalmente è quasi impensabile da realizzare praticamente una procedura di questo tipo, specie nei magazzini che gestiscono migliaia di differenti articoli, tuttavia occorre riconoscere che essa consentirebbe al gestore di accorgersi con immediatezza di quando la scorta scende sotto il punto d'ordine, cosa che altrimenti si realizza agevolmente solo con opportuni sistemi d'allarme.

Come risulta dalla Figura 4.8 la scorta disponibile varia tra un minimo  $L_r$  subito prima dell'emissione di un ordine ed un massimo  $L_r+Q$  subito dopo. Invece i valori minimo e massimo della scorta in mano (giacenza in magazzino + scorta in transito) non sono precisabili a priori. Il minimo, subito prima dell'arrivo di un ordine, è dato dalla differenza tra il punto d'ordine ed il massimo livello di ammanco consentito (ossia la domanda prevista in  $L_T$ ) e sarà positivo, nullo o negativo a seconda che la domanda in  $L_T$  sia minore, uguale o maggiore di  $L_r$ .

Al valore di tale minimo si dà il nome di **scorta di sicurezza**.

La scorta di sicurezza è dunque, come il punto d'ordine, un livello di scorta; ma mentre il punto d'ordine è un livello di scorta disponibile la scorta di sicurezza è un livello di scorta in mano. Precisamente è quella scorta che mediamente si ha in mano quando arriva il lotto e che pertanto, se tutto funzionasse sempre secondo le previsioni, non dovrebbe essere toccata.

Ma lo stesso tempo di consegna (*lead-time*) è un valore spesso soltanto indicativo e suscettibile di cambiamenti (ritardi/anticipi) quando l'affidabilità logistica del fornitore non è totale. Dovendo anticipare l'ordine di acquisto l'impresa acquirente si trova infatti esposta al rischio di cambiamenti

improvvisi nei tassi di prelievo (prelievi maggiori, anticipazioni delle consegne alla clientela) e nei tempi di consegna (ritardi, minori quantità, maggiore percentuale di scarto).

Lo strumento del livello di riordino, da solo, quindi, non è sufficiente a garantire la corretta gestione delle scorte: per evitare l'esaurimento indesiderato ed anticipato, l'acquirente sarà allora costretto a detenere delle scorte in esubero.

Il livello di riordino  $L_r$  considerando la scorta di sicurezza  $SS$  (vedi Figura 4.8) è pari a:

$$L_r = \bar{d}_{T_r} + SS \quad (4.5)$$

dove  $SS$  = scorta di sicurezza.

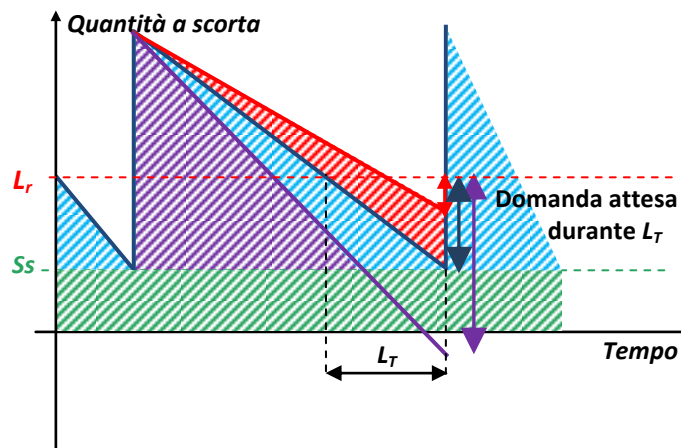


Figura 4.8 Livello di riordino in presenza di scorte di sicurezza.

La scorta di sicurezza  $SS$  serve per far fronte a variazioni impreviste sia della domanda durante il lead time che del tempo stesso di approvvigionamento.

La definizione di  $L_r$ , o se si vuole di  $SS$  è rilevante perché un elevato punto d'ordine dà tranquillità contro i rischi di non poter soddisfare i clienti durante il tempo di riordino, ma causa alti costi di giacenza; viceversa un basso punto d'ordine, che sembra economico, lo è solo in apparenza perché causa mancate vendite.

Il punto d'ordine può essere fissato in più modi alternativi varianti in funzione dell'obiettivo che si sceglie. Ne elenchiamo alcuni:

- fissare  $L_r$  in modo da assicurare un certo livello minimo di servizio;
- fissare  $L_r$  in modo da avere un certo coefficiente minimo di sicurezza;
- fissare  $L_r$  in modo da minimizzare i costi medi di giacenza e di penuria.

Descriviamo in particolare il criterio di determinazione di  $L_r$  in modo da assicurare alla clientela un certo *livello di servizio* dal momento che questo rappresenta un parametro di riferimento importante per la misura dell'efficienza nella gestione delle scorte, soprattutto in un ambiente produttivo sempre più orientato al cliente ed alla sua soddisfazione (*Customer Service Level*).

Il livello di servizio, concepito come “la probabilità che i prodotti saranno finiti e disponibili, nelle loro locazioni attese, per soddisfare la domanda dei consumatori” è misurata molto spesso con la seguente percentuale:

$$L_s = \frac{\text{Ordini evasi}}{\text{Ordini pervenuti}} \times 100$$

In altri casi si possono utilizzare equivalentemente altre formule. Generalmente si ritiene che una buona misura del livello di servizio sia data dalla probabilità di soddisfare le richieste che si presentano durante il tempo di riordino, cioè della cosiddetta *probabilità di copertura* contro l'eventualità che si verifichi uno *stock-out* durante il tempo di approvvigionamento  $L_T$ . In tal caso il Livello di servizio può essere espresso in termini di frequenza di stock out:

$$L_s = \frac{\text{Numero di periodi di stockout}}{\text{Numero totale di periodi}} \times 100$$

o incidenza di stock out:

$$L_s = \frac{\text{Numero di giorni di stockout}}{\text{Numero totale di giorni}} \times 100$$

Ma anche in termini di:

Percentuale media di domanda inevasa:

$$L_s = \frac{\text{Numero di unità inevasa}}{\text{Numero totale di unità}} \times 100$$

Ritardo medio di consegna:

$$L_s = \frac{\text{Giorni di ritardo accumulati nel mese}}{\text{Numero di ordini evasi al mese}} \times 100$$

Percentuale di ordini in ritardo:

$$L_s = \frac{\text{Numero di ordini evasi in ritardo}}{\text{Numero totale di ordini}} \times 100$$

L'introduzione di questo ulteriore indicatore di gestione relativo alle scorte parte proprio dalla consapevolezza che difficilmente è possibile garantire un livello di servizio del 100% perché le cause che generano over-stock e stock-out sono sempre presenti.

Fissare il livello di servizio per un certo prodotto al 90% significa volere che, ogni volta che si lancia un ordine, ci sia almeno il 90% di probabilità di soddisfare la domanda, il che indica che il tasso di evasione (*fill rate*), ossia la percentuale di ordini evasi utilizzando le scorte disponibili, è pari al 90%. La percentuale di ordini non evasi costituisce il livello di disservizio (i due valori sono complementari e insieme corrispondono ad un totale del 100%).

L'aleatorietà della domanda e del tempo di riordino porta alla necessità di impiegare delle scorte di sicurezza per ottenere un livello di servizio ( $L_s$ ) accettabile. E la loro entità è proporzionale al grado di incertezza insita nei tassi di prelievo e nella durata del *Lead time* e al grado di sicurezza voluto (livello di servizio).

Ipotizzando che la domanda  $\bar{d}_{L_T}$  durante il tempo di riordino si comporti come una variabile casuale che segue una distribuzione normale o Gaussiana, possiamo utilizzare le proprietà della distribuzione normale o Gaussiana per definire le scorte necessarie a garantire un determinato livello di servizio, da includere nel calcolo del livello di riordino.



Indichiamo con  $f(x)$  la densità di probabilità della domanda nel tempo di riordino, variabile casuale continua; è necessario allora determinare il minore valore della variabile casuale in corrispondenza del quale risulta:

$$\int_0^{L_T} f(x) \geq L_S$$

dove  $L_S$  è il livello di servizio desiderato. Questo valore rappresenta la probabilità che la domanda nel periodo di riferimento non superi il valore  $L_T$ . Solitamente si ritiene che la domanda in un periodo sia normalmente distribuita e che la domanda in un periodo non dipenda dalla domanda di un altro periodo. In queste condizioni la domanda di un periodo di una determinata durata può essere calcolata una volta nota la domanda di un periodo di durata diversa semplicemente applicando la legge dei grandi numeri. Per la determinazione del livello di scorta di sicurezza occorre quindi individuare il periodo di tempo di riferimento in cui deve essere definita la domanda in termini di funzione densità di probabilità. Tale periodo di riferimento deve essere individuato considerando il periodo di tempo in cui si è nell'impossibilità di controllare con azioni mirate una variazione della domanda. Per il modello di gestione a punto fisso la domanda da considerare è quella nel *lead time*. Per l'indipendenza della domanda in periodi differenti di tempo, la domanda nel periodo in esame sarà anch'essa normalmente distribuita con media e deviazione standard date.

La risoluzione dell'equazione può effettuarsi determinando l'ascissa in corrispondenza della quale l'area che sta al disotto della funzione di densità  $f(x)$ , e che risulta tratteggiata in figura 4.9, vale  $L_S$ .

Una volta fissato a priori il livello di servizio desiderato e determinato il valore della funzione Normale standardizzata che corrisponde al livello di servizio fissato, con riferimento ad un generico articolo, è possibile definire il quantitativo delle scorte di sicurezza distinguendo tre casi.

**1° caso:  $L_T$  noto deterministicamente e  $d$  distribuita gaussianamente**

Supponiamo che i valori della domanda nei singoli periodi possano essere considerati come estratti a caso da una distribuzione gaussiana, di cui sono note sia la *media* sia la *varianza*.

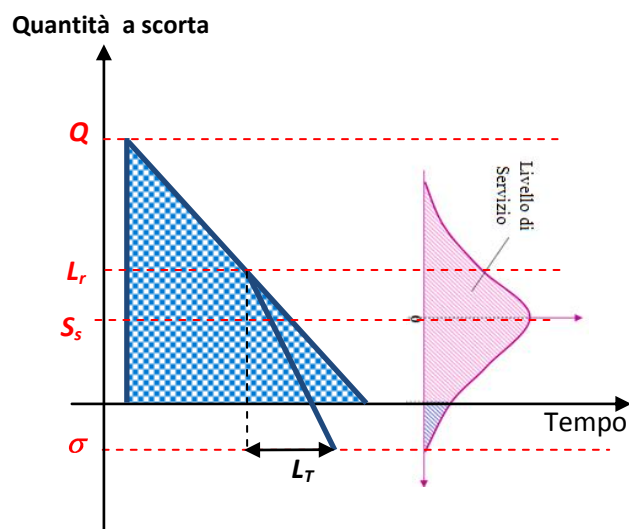


Figura 4.9 Andamento della giacenza in ipotesi di domanda gaussiana e  $L_T$  costante.

Nella figura 4.9 è riportato l'andamento della giacenza appunto in tali ipotesi: è indicato il punto di riordino  $Lr$ , l'intervallo di rifornimento  $L_T$ , la scorta di sicurezza  $SS$  in corrispondenza della media della distribuzione gaussiana, riportata ruotata a  $90^\circ$ , nonché l'eventuale *ammancio*  $\sigma$ .

L'area tratteggiata rappresenta la probabilità di andare in *stock out*.

Dunque il grafico mette in evidenza che la scorta di sicurezza è quel materiale in eccesso che permette di sopperire ad incrementi della domanda che vadano al di là del valore più probabile, che è rappresentato appunto dalla media. Se la tale scorta copre tutti i possibili valori della domanda, allora non è possibile lo *stockout*; viceversa se essa non copre una parte di questi valori (in particolare quelli presenti nella coda di probabilità, cui evidentemente è associata una frequenza di accadimento molto bassa), allora lo *stockout* è possibile, ma molto improbabile.

Se si indica con  $d_i$  la domanda istantanea, si può affermare che essa è distribuita, come detto, secondo una gaussiana avente media (in base al *Teorema della Media*):

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

E deviazione standard:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}}$$

La varianza di una distribuzione da cui sono state fatte  $n$  estrazioni è infine:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}$$

Se a questo punto normalizzando, la variabile normalizzata standard è:

$$k = \frac{d_i - \bar{d}}{\sigma}$$

Da cui si ricava:  $d_i - \bar{d} = k\sigma$  ossia la scorta di sicurezza istantanea. Considerando però che la variabilità della domanda si manifesta lungo tutto l'intervallo di tempo  $L_T$  conviene introdurre una nuova variabile

$d_{L_T} = L_T \cdot d_i$  anch'essa distribuita gaussianamente, la cui media e la cui varianza sono così esprimibili:

$$\bar{d}_{L_T} = L_T \cdot \bar{d} \quad \text{e} \quad \sigma_{L_T}^2 = L_T \cdot \sigma^2$$

Da cui normalizzando nuovamente:

$$d_{L_T} - \bar{d}_{L_T} = k\sigma_{L_T}$$

Dove  $k$  definito *fattore di sicurezza*, dipende dal livello di servizio che si vuole offrire (ovvero la quantità di domanda che si vuole soddisfare senza incorrere nel rischio di *stockout*) e  $\sigma_{L_T}$  è la deviazione standard della domanda durante il tempo di approvvigionamento.

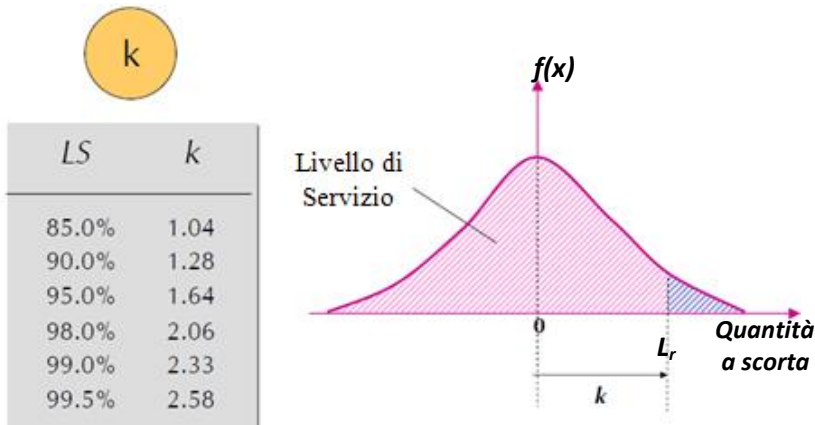


Figura 4.10 Livello di servizio

In definitiva, le formule per il calcolo del livello di riordino possono essere espresse come:

$$d_{L_T} = L_R = \bar{d}_{L_T} + k\sigma_{L_T}$$

$$SS = k\sigma_{L_T} = k\sigma\sqrt{L_T} \quad (4.8)$$

$$\text{Giacenza media} = SS + Q/2$$

**2° caso: d nota deterministicamente e  $L_T$  distribuito gaussianamente**

Se si considera costante la domanda e variabile gaussianamente il tempo di rifornimento, valgono considerazioni del tutto analoghe a quelle finora esposte.

Infatti in tali ipotesi la domanda  $d_{L_T} = L_T \cdot d_i$  continua ad essere distribuita gaussianamente, perché ancora una volta è data dal prodotto di una costante e di una variabile gaussiana.

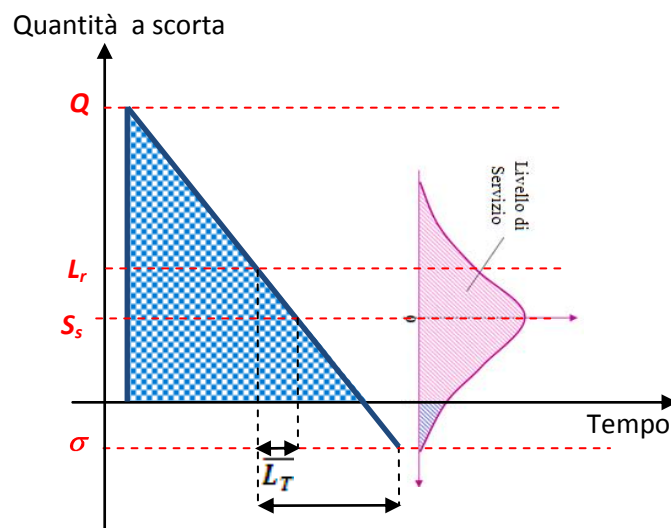


Figura 4.11 Andamento della giacenza in ipotesi di domanda costante e  $L_T$  distribuito gaussianamente.

In particolare nella figura 4.11 è evidenziato come oscillazione di  $L_T$  al di fuori di un determinato intervallo di copertura garantito dalla presenza di scorta di sicurezza, determinino stock out.

**3° caso: Variabilità congiunta di  $d$  e  $L_T$  secondo il modello gaussiano**

In queste ipotesi si può andare in stock out per differenti motivi: incremento improvviso della domanda, del tempo di riferimento oppure variabilità simultanea delle due variabili tale da determinare comunque l'esaurimento della scorta di sicurezza. Questa è la situazione più complessa ma anche quella che meglio approssima la situazione reale che può determinarsi nella gestione quotidiana di una *supply chain*.

Avendo ipotizzato di effettuare  $n$  rilevazioni per la domanda e  $m$  per il tempo di rifornimento possiamo determinare medie:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad \text{e} \quad \bar{L_T} = \frac{\sum_{i=1}^m L_{T_i}}{m}$$

E varianze:

$$\sigma_d^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n} \quad \text{e} \quad \sigma_{L_T}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (L_{T_i} - \bar{L_T})^2}{m}$$

In questo caso  $d_{L_T} = L_T \cdot d_i$  è una variabile aleatoria prodotto di due variabili aleatorie gaussiane, per questo motivo usando il *Teorema della Media del prodotto* :

$$\overline{d_{L_T}} = \bar{L_T} \cdot \bar{d}$$

mentre ricorrendo al *Teorema della Varianza del prodotto*:

$$\sigma_{L_T}^2 = \bar{d}^2 \cdot \sigma_{L_T}^2 + \bar{L_T}^2 \cdot \sigma_d^2 + \sigma_d^2 \cdot \sigma_{L_T}^2$$

Normalizzando, ancora una volta si ha:

$$d_{L_T} - \overline{d_{L_T}} = k \cdot \sigma_{L_T}$$

In definitiva, le formule per il calcolo del livello di riordino possono essere espresse come:

$$d_{L_T} = L_R = \bar{d} \cdot \bar{L_T} + k \sigma_{L_T}$$

$$SS = k \sigma_{L_T} \quad (4.9)$$

$$\text{Giaccenza media} = SS + Q/2$$

In assenza di scorta di sicurezza, l'impresa riuscirebbe a garantire un livello di servizio del 50%, (vedi Figura 4.12), perché durante il periodo di copertura del lotto – che si ricorda essere calcolato sulla domanda media – la domanda realmente registrata potrà essere nel 50% dei casi superiore e nel 50% di casi inferiore alla domanda media; di conseguenza al termine dei periodi di copertura del lotto ci si troverà nel 50% dei casi in condizione di *sovra-stock* e nel restante 50% in condizione di *stock-out*. Un livello di servizio del 50% non è tuttavia quasi mai accettabile; per questo motivo si prevede quindi di aggiungere la scorta di sicurezza; con  $SS > 0$  il livello di servizio aumenta di un valore proporzionale al valore di  $SS$  (Figura 4.13). E si pone quindi il problema di determinarne la dimensione opportuna volendo raggiungere un livello di servizio obiettivo. Una prima e veloce soluzione può trarsi dall'analisi dei dati storici: disponendo delle registrazioni degli ordini dei clienti, è possibile valutare in quanti casi la domanda (prodotti richiesti) ha assunto valori oltre una certa soglia in un periodo sufficientemente lungo per garantire una significatività statistica.

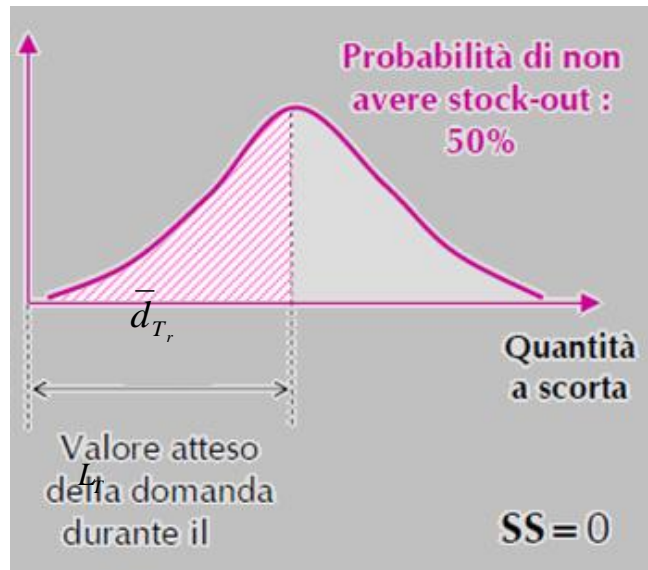


Figura 4.12 Livello di servizio senza scorta di sicurezza

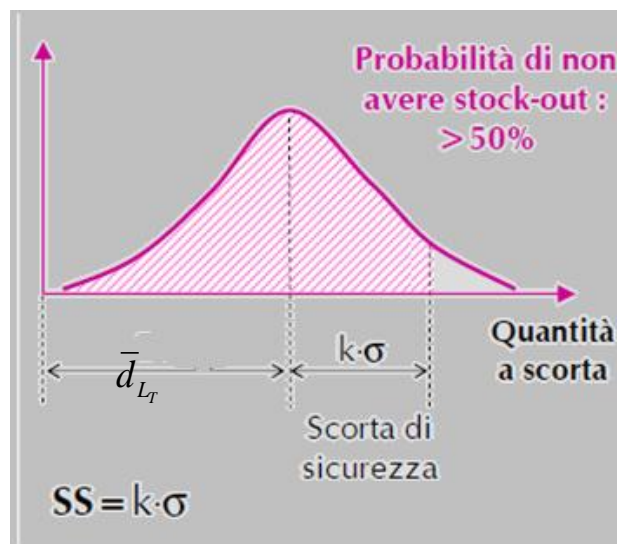


Figura 4.13 Livello di servizio con scorta di sicurezza

In definitiva, stabilendo la quantità delle scorte di sicurezza si definisce univocamente il grado di copertura delle scorte: una scorta pari alla deviazione standard della domanda durante il lead time equivale ad assicurare una copertura contro rischi di stock-out pari a 84.1%, una scorta pari a 2 volte la deviazione standard equivale ad una copertura del 97.7%, una scorta pari a 3 volte la deviazione standard equivale ad una copertura del 99.8% (figura 4.14).

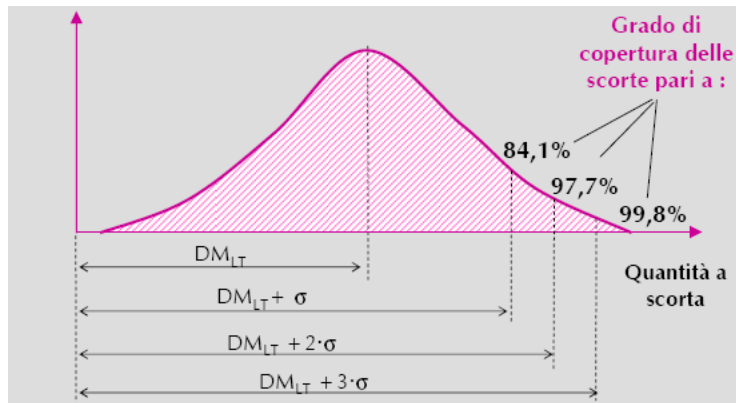


Figura 4.14 Livello di copertura della scorta di sicurezza.

### 4.3.2 La Politica a Periodo di Riordino Costante

Nel tentativo di ridurre i costi degli acquisti è possibile trovare maggiormente conveniente passare da modalità di rifornimento a quantità fissa a modalità di rifornimento a tempo fisso, stabilendo di comune accordo con il fornitore il momento della consegna dei materiali. Tale soluzione può comportare significative riduzioni di costi delle consegne, con vantaggi sia per il cliente che per il fornitore. E' inoltre una modalità più idonea quando ci si rifornisca dallo stesso fornitore di più prodotti con tempi di consumo variabili o che comunque generano fabbisogni di acquisto in momenti diversi. Nella politica a periodo di riordino costante il livello delle scorte viene tenuto sotto osservazione in modo periodico, gli ordini vengono emessi a intervalli regolari fissi e viene ordinato un quantitativo di merce tale da garantire un livello di disponibilità prefissato definito  $L_o$  livello obiettivo (o scorta massima) che consenta di coprire la domanda nell'intero periodo  $T + L_T$ .

I parametri da determinare sono il tempo di revisione  $T$  (Review Period), ossia il tempo che intercorre tra due controlli successivi, e  $L_o$ . Il valore ottimo di  $T$  viene determinato minimizzando i costi totali annui di ordinazione e di magazzinaggio. E così come determinato per il modello di Wilson esso è pari a:

$$T = \sqrt{\frac{2C_0}{mPd_T}} \quad (4.10)$$

dove:

$C_0$  = costo di emissione ordine;

$mP$  = costo unitario di mantenimento a scorta;

$d_T$  = domanda del prodotto in un periodo di lunghezza  $T$  (in genera pari ad un anno).

Il valore di  $T$  viene generalmente detto "intervallo economico" ed è espresso in frazioni d'anno; il suo reciproco  $(1/T)$  dà il numero economico di ordini all'anno. Il valore di  $T$ , a parità di costi unitari di ordinazione e di conservazione, risulta tanto più elevato quanto più esiguo è il valore della domanda annua, e viceversa. Dunque, anche supponendo costi unitari e di conservazione uguali per tutti i prodotti,  $T$  dovrebbe variare da articolo ad articolo. Per certi prodotti, che presentano un basso

valore di venduto, può accadere che esso risulti assai elevato e comporti perciò controlli giudicati troppo radi dal gestore di scorte che desidera assicurare un certo livello minimo di servizio alla clientela. Viceversa, per articoli ad elevatissimo valore di venduto, l'intervallo economico di ordinazione risulterà molto basso significando in pratica che la revisione deve avvenire in modo pressoché continuo. Può accadere allora che, in pratica, per superare questi inconvenienti, si determinino intervalli tipici di riordino (per esempio 1, 2, 3 settimane) e ogni articolo si faccia rientrare nella classe che presenta l'intervallo tipico più prossimo al proprio. Va osservato inoltre che, specialmente nelle imprese commerciali, i riordini sono difficilmente individuali ma avvengono per molti articoli congiuntamente (per esempio, si riordinano assieme tutti i prodotti che provengono da un medesimo fornitore). Questo fatto, anche se peggiora la gestione delle scorte perché obbliga ad adottare intervalli di riordino uguali per articoli che hanno esigenze diverse, può portare in definitiva dei vantaggi per i risparmi che si hanno sui costi di ordinazione. Va inoltre osservato che, intervalli di revisione molto ampi comportano un aumento delle scorte e di conseguenza un aumento dei costi di giacenza; intervalli di revisione più brevi comportano, invece, un aumento dei costi per il controllo dei livelli di giacenza, poiché si richiede un maggiore impiego di elaboratori elettronici e aggiunta di personale.

Per la determinazione del livello obiettivo si utilizzano i metodi adottati per il punto d'ordine. Infatti, come nel modello  $(Q, L_r)$ ,  $L_r$  serviva per far fronte ai consumi nel tempo di riordino, così il livello obiettivo  $L_o$  deve soddisfare la domanda del periodo di revisione e di riordino  $(T+L_r)$ , per tale ragione, nel caso di domanda stazionaria, il livello obiettivo  $L_o$ , o scorta massima o livello massimo, è pari a:

$$L_o = \bar{d}_{(L_r+T)} \quad (4.11)$$

dove:

$\bar{d}_{(L_r+T)}$ : domanda media tra due intervalli di riordino più il tempo di riordino.

In condizioni di incertezza è necessario introdurre delle scorte di sicurezza  $SS$  per cautelarsi da eventuali fenomeni di stock-out durante  $L_r+T$  e quindi il livello obiettivo  $L_o$  è pari a:

$$L_o = \bar{d}_{(L_r+T)} + SS \quad (4.12)$$

Un possibile andamento della scorta in questo tipo di politica è illustrato in figura 4.15.

La scorta disponibile raggiunge il suo livello massimo subito dopo l'arrivo di un ordine, dove mediamente vale  $L_o - d_{L_r}$ , raggiunge invece il suo minimo appena prima dell'arrivo dell'ordine successivo, dove vale  $L_o - d_{(L_r+T)}$ .

Le scorte di sicurezza in tal caso, dovranno far fronte alla variabilità della domanda durante il periodo pari a  $(L_r+T)$  ed alla variabilità del tempo di riordino  $L_r$  stesso.

Con riferimento ad un generico articolo, è possibile definire il quantitativo delle scorte di sicurezza da tenere a scorta mediante la seguente relazione:

$$SS = k \sigma_{d_{(L_r+T)}} \quad (4.13)$$

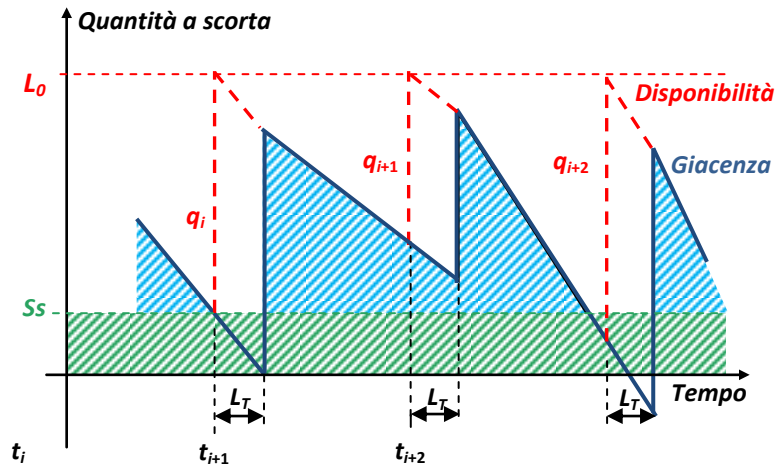


Figura 4.15 La politica  $(Q, L_o)$ : Livello obiettivo in presenza di scorte di sicurezza

Dove  $k$  è pari al valore dell'inversa della normale standard corrispondente al valore del livello di servizio  $L_s$  che vogliamo ottenere; e  $\sigma_{d_{(T+L_T)}}$  è la deviazione standard delle domanda durante l'arco temporale  $(T+L_T)$ .

Nell'ipotesi che la domanda ed il tempo di riordino  $L_T$  siano due variabili aleatorie distribuite

secondo una normale:

$$\sigma_{d_{(T+L_T)}} = \sqrt{\sigma_T^2 + T \sigma_d^2 + \sigma_{L_T}^2 \bar{d}^2} \quad (4.14)$$

Il lotto di rifornimento che verrà ordinato al tempo  $t$  è quindi variabile e pari alla differenza tra la scorta massima  $L_o$  e la scorta disponibile al tempo  $t$ :

$$Q = L_o - L(t) \quad (4.15)$$

Dove  $L(t)$  è il valore in giacenza presente all'istante  $i$ -esimo. Si noti che in questo modello si suppone che l'istante di revisione e di approvvigionamento coincidano; supponiamo cioè che si controllino i livelli di scorta solo a dati istanti ed in questi stessi istanti si emette l'ordine che riporta la scorta disponibile al livello obiettivo  $L_o$ .

Si comprende facilmente che nella pratica i sistemi saranno di solito più complessi: ad esempio, si può decidere di controllare le giacenze ogni settimana, e si riordina solo se esse sono inferiori al livello di riordino  $L_r$  per riportarle al livello  $L_o$ , oppure, si controlla e riordina ad intervalli fissi, ma con un sistema d'allarme che consenta di sapere quando la scorta scende sotto il valore minimo riordinando eventualmente anche al di fuori dei tempi prefissati ecc.

Questo metodo consente una buona pianificazione delle attività di rifornimento e ricezione, la possibilità di accorpare ordini di rifornimento di più articoli ed un controllo del livello di disponibilità semplificato. Ogni verifica comporterà il lancio di un ordine pari alla differenza fra il livello ottimale del magazzino e la giacenza. Tale evento, poiché dipende da un tempo prefissato non deriva direttamente dalla domanda dell'articolo considerato, pertanto le giacenze non devono essere monitorate assiduamente. È un sistema di revisione dell'inventario ad intervalli, che esige l'aggiornamento degli archivi dopo ogni periodo di controllo. Questo particolare modello viene normalmente impiegato per i materiali di classe B e C, cioè quei materiali di valore inferiore che in



base all'analisi ABC sono pari a circa il 20% del valore di acquisto e a circa il 90% in numero. Naturalmente per i prodotti di classe C i periodi di revisione sono più ampi rispetto ai prodotti di classe B. Comporta comunque, lotti di riordino non ottimali dal punto di vista economico; ed un livello medio delle scorte più elevato, poiché la scorta di sicurezza deve anche cautelare dal pericolo di sottoscorta durante l'intervallo di reintegro  $T$ .

#### 4.3.3 Intervallo di reintegro con scorta massima e scorta minima

La politica di gestione a scorta massima e scorta minima ( $s, S$ ) può essere interpretata come una variante dei metodi  $ROP$  e  $ROC$ . Un ordine è emesso soltanto se la differenza tra il livello massimo consentito  $S$  delle scorte e il livello netto delle scorte supera una quantità  $s$  prestabilita (figura 4.16).

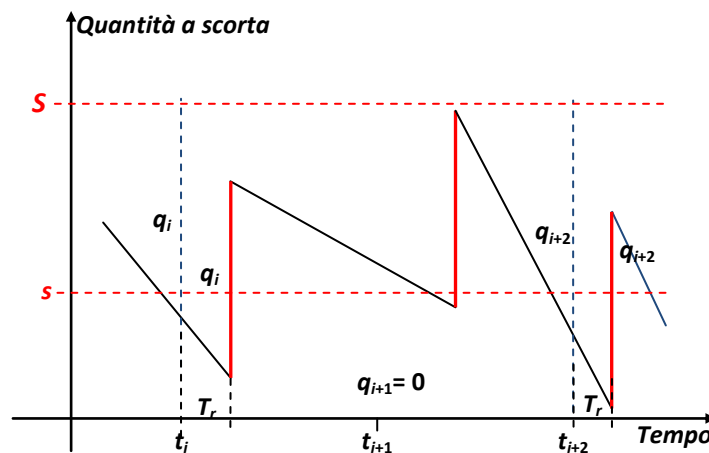


Figura 4.16 Politica di gestione con scorta minima e scorta massima

Se il parametro  $s$  è scelto sufficientemente grande (al limite, uguale a  $S$ ), la politica ( $s, S$ ) tende a comportarsi come il metodo a periodo di riordino costante. Se, invece,  $s$  è abbastanza piccolo, l'emissione degli ordini dipende più da  $s$  che da  $T$ . In tal caso, la politica ( $s, S$ ) ha caratteristiche simili al metodo a punto di riordino costante con livello di riordino pari proprio a  $s$ .

Tale politica, prevede che ad intervalli regolari pari all'intervallo di reintegro (IR) vengano emessi ordini di acquisto di un quantitativo variabile pari alla differenza tra  $S$  e  $s$ .

La scorta minima dipende linearmente dalle variabilità della domanda unitaria e del *Lead time* di acquisto ma anche esponenzialmente dal livello di servizio richiesto:

$$s = d_{(LT+T)} \cdot (LT+T) + SS$$

Mentre per la scorta massima si attribuisce un valore pari alla scorta minima più la scorta media:

$$S = s + Q_{EOQ}/2$$

In generale il quantitativo da ordinare è prossimo al Lotto Economico. Il livello di scorte di sicurezza è lo stesso della politica  $ROC$ .

La politica ( $s, S$ ) può essere interpretata come una soluzione di compromesso tra i metodi a punto di riordino costante e a periodo di riordino costante. E' pertanto prevedibile che, con una adeguata scelta dei tre parametri di controllo  $T, S$  e  $s$ , essa possa essere più efficiente degli altri due metodi.

Purtroppo, la determinazione delle grandezze in gioco utilizzando un procedimento analitico è una operazione complessa. Pertanto si preferisce spesso adottare un metodo *what-if* basato su un modello di simulazione.

#### **4.3.4. Tecniche “a ciclo di riordino” e “a quantità fissa”: un confronto**

Nelle pagine precedenti sono stati analizzati i principi essenziali di questi due metodi di gestione delle scorte. Per comprendere i punti di forza dell'uno rispetto all'altro se ne analizzano limiti e vantaggi relativamente alle tre classificazioni di seguito riportate:

*Stagionalità*: la logica del punto di riordino presume una domanda nota e stabile. Ciò significa che si può calcolare il valore minimo del costo totale di gestione delle scorte solo se, nell'ambito dell'orizzonte temporale su cui si calcola la domanda complessiva, quest'ultima non solo non muta, ma conserva anche ritmi omogenei. Non è quindi corretto, a fronte di mercati con forti stagionalità, calcolare il Lotto Economico (EOQ) con riferimento alla domanda annua. In teoria si potrebbe calcolare un EOQ per ogni periodo stagionale, ma in quel caso è probabilmente più semplice ricorrere alla gestione “a tempo fisso”.

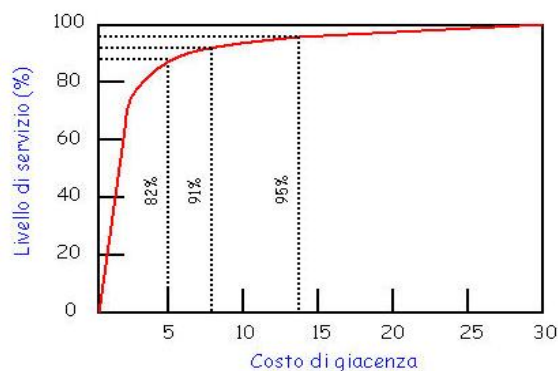
*Facilità di controllo*: la logica dell'EOQ richiede controlli costanti e se ciò è impossibile o costoso il metodo a quantità fissa è poco interessante.

*Politiche di acquisto*: la possibilità di fare buoni affari con acquisti “spot”, cioè distribuiti irregolarmente durante l'anno in funzione degli sconti che in ciascun periodo sono disponibili, mette in crisi sia il sistema a punto di riordino sia quello a punto fisso. Decidere se acquistare o meno ciò che viene offerto richiede il veloce controllo di quanto giace a magazzino e una previsione di ciò che potrà essere esitato nell'arco dell'anno.

Generalizzando, si deve asserire che il metodo a tempo fisso è preferibile quando i costi di mantenimento sono contenuti o si può risparmiare perché non si rendono necessarie informazioni troppo dettagliate, e quindi costose, in materia di stagionalità, programmazione della produzione, politiche degli sconti o tariffe differenziali dei trasporti. Se però questi risparmi sono modesti, bisogna ricordare che l'EOQ rende minimo il *costo totale di gestione delle scorte*. Bassi oneri di controllo fanno quindi preferire il metodo a quantità fissa, purché i costi di mantenimento siano di un certo rilievo. Peraltro, i calcoli appena suggeriti possono essere eseguiti con un certo margine di approssimazione senza per questo perderne i vantaggi essenziali, in termini di economicità. Questo perché la funzione di *costo totale di gestione delle scorte* non muta in modo notevole al cambiare dell'entità dell'ordine, ma ha un andamento piuttosto piatto.

Questi modelli presentano comunque dei limiti applicativi, che risiedono nella difficoltà di conoscere la distribuzione della variabilità richiesta e del periodo di approvvigionamento e nel fatto che il livello di servizio viene determinato in base all'esperienza passata, nella convinzione che le condizioni trascorse permangano immutate anche in futuro. Tali limiti, pur non compromettendo la validità di fondo del metodo, inducono spesso i responsabili della gestione dei magazzini a preferire *soluzioni empiriche*, tese alla determinazione positiva del livello di servizio ottimale e della connessa scorta di sicurezza. Si deve comunque considerare che il grado di accuratezza e di precisione delle

analisi considerate va comunque confrontato con il costo del sistema di gestione delle scorte che le accoglie, secondo il principio generale di ottimizzazione del rapporto costi/benefici. Infatti la scorta di sicurezza è correlata al livello di servizio desiderato, per cui all'aumentare di quest'ultimo necessariamente aumenta il livello della giacenza cautelativa ed il correlato costo di mantenimento, il cui andamento in funzione del livello di servizio è riportato in Figura 4.17:



**Figura 4.17** Relazione tra Costo di giacenza e Livello di servizio

Al diminuire del livello di servizio, viceversa, cresce la probabilità di incorrere in situazioni di rottura di stock, con i conseguenti costi da sostenere. Si può dunque concludere che dal punto di vista concettuale, esiste un livello di scorta di sicurezza conveniente, pari a quel quantitativo che rende minimo il costo cumulato di mantenimento e di stockout.

In merito alla scelta dei parametri che definiscono la politica di gestione dei materiali, si può notare che adottare un sistema a livello di riordino significa adottare un sistema di controllo continuo della giacenza disponibile; tale operazione risulta essere possibile solo attraverso l'implementazione di un sistema informativo che fornisca in tempo reale dati sul livello di magazzino. Questa onerosità di controllo continuo deve quindi essere associata a:

- un elevato costo di mancanza, anche in relazione alle politiche aziendali;
- una riduzione dei costi di stoccaggio (per immobilizzo ed obsolescenza) dovuta alla riduzione dei livelli di scorta. Generalmente, i prodotti classificati di categoria A da un'analisi ABC, sono quelli che hanno le caratteristiche tali da essere gestiti a livello di riordino. Un esempio riguarda i prodotti alimentari freschi che non potendo essere conservati per lunghi periodi, dovranno essere ordinati obbligatoriamente con una tecnica ROL.

Una gestione a ciclo di riordino è sicuramente preferita per prodotti con:

- costo di stoccaggio limitato;
- costi di lancio ordine elevato;
- incertezza su quantità e tempi di approvvigionamento del fornitore.

Decidere di utilizzare una tecnica di gestione, piuttosto che un'altra, non è una scelta banale ed, in molti casi, un approccio approssimativo può condurre a valutazioni errate. Un prodotto può essere utilizzato come materiale di consumo e conducendo un'analisi ABC classificato come C, propendendo per una gestione di tipo ROC. Ma se il prodotto andasse in *stock-out* e l'intera produzione si interromperebbe si mostrerebbe necessario condurre un'analisi di produzione sui

relativi costi di mancanza del prodotto, che potrebbe rivalutare il prodotto come fondamentale (classe A), conducendo quindi a una gestione di tipo ROL.

Alla luce di quanto appena affermato, un prodotto che potrebbe essere valutato di valore basso per una certa impresa può essere di fondamentale importanza per un'altra e quindi presentare due gestioni totalmente diverse.

Non va trascurato poi, che la scelta della tecnica di riordino può essere fortemente condizionata dalle politiche di gestione proprie dei fornitori. Questi, molto spesso, garantiscono forniture solamente in alcuni intervalli temporali, imponendo di fatto una gestione del magazzino di tipo ROC. Ad esempio, un fornitore che serve diversi clienti, per minimizzare i costi di distribuzione, può decidere di servire con frequenza prefissata tutti quelli localizzati in una determinata zona.

In definitiva, non esiste una regola di scelta dei criteri legata solamente alla natura del prodotto, ma è l'interazione tra il prodotto stesso, le tecnologie e i processi di produzione dell'azienda, le richieste del mercato e le condizioni di fornitura che determinano le differenti modalità di gestione.

#### **4.3.5. Limiti del Modello EOQ**

Il modello del lotto economico così presentato ha dei limiti costituiti dalle ipotesi stesse su cui è basato. Questi limiti vengono superati o quanto meno tenuti in considerazione, come discusso nei paragrafi precedenti, dalle varie evoluzioni di questo modello: introducendo la domanda variabile; il modello a punto di riordino o intervallo di riordino fisso; considerando l'effetto degli sconti di quantità sulla quantità ottima; introducendo il concetto di scorta di sicurezza per proteggersi dalle varie incertezze (anche se non ci si può proteggere da tutti gli elementi esogeni di rischio).

Risulta evidente, quindi, come il diagramma a dente di sega rappresenti solo un andamento teorico del livello di giacenza. Né d'altra parte i diagrammi successivi presentati, corrispondenti alle varianti apportate al modello base (alimentazione del magazzino o della linea di produzione, continua nel tempo piuttosto che istantanea, prelievo a lotti piuttosto che prelievo continuo) risultano realistici. Un'evoluzione di magazzino più realistica potrebbe presentare un decumulo non costante e un accumulo non effettuato regolarmente. Questo implica che, l'andamento teorico delle giacenze anche se incrementato di un certo quantitativo di scorta di sicurezza, (che consente di soddisfare la domanda nel periodo successivo al primo approvvigionamento) non assicura in assoluto contro il rischio di stock-out anche nei periodi seguenti.

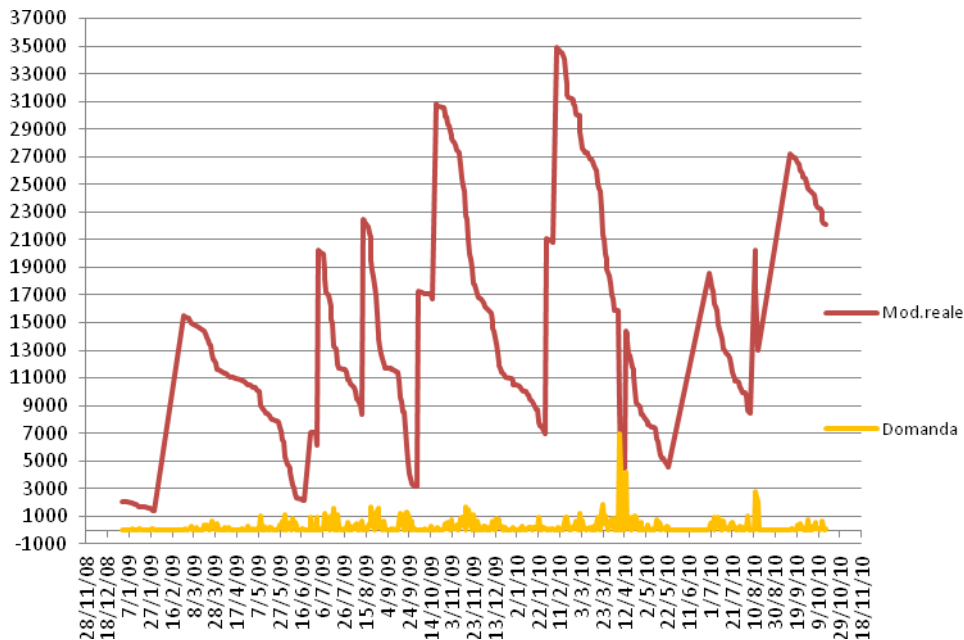
##### **4.3.5.1 Un caso studio**

Vogliamo a questo punto soffermarci sull'analisi di un caso concreto di gestione delle scorte e sulle relative decisioni prese in termini operativi dal CE.DI.

Il centro di distribuzione Perrone s.r.l. opera nel settore del commercio e della distribuzione commerciale di prodotti alimentari e generi di largo consumo. Il prodotto sul quale concentreremo la nostra attenzione è il prodotto "Acqua San Benedetto lt.2". Per questo prodotto calcoleremo i costi associati alla sua gestione, basandoci sul modello realmente adottato dal CE.DI. e proveremo ad

applicare il modello a punto di riordino andando a valutare i miglioramenti in termini di costi di gestione delle scorte e in termini di situazioni di stock-out.

In figura 4.18 è mostrato l'andamento reale della domanda e delle scorte in magazzino dal 2008 al 2010.



**Figura 4.18 Andamento della domanda e delle scorte nel periodo 2008-10**

Nella tabella successiva sono specificati oltre ai costi di gestione anche il numero di ordini che si effettuano annualmente nonché le situazioni di stock-out; quest'ultime sono espresse nel numero di giorni che il magazzino deve attendere prima che l'arrivo del nuovo ordine ripristini le sue scorte e quindi il numero di giorni che il cliente deve attendere prima di ricevere gli articoli ordinati.

Acqua S.benedetto	2009		2010	
	Modello Reale	Modello ROP K=1,56	Modello Reale	Modello ROP K=1,56
Costo Stoccaggio	573,21	342,73	578,30	313,95
Costo Ordinazione	1083,33	1081,42	1169,29	1027,57
Costo Acquisto	15.476,19	15.448,92	16.704,13	14.679,53
<b>Costo Totale</b>	<b>17.132,74</b>	<b>16.873,07</b>	<b>18.451,72</b>	<b>16.021,05</b>
N° Ordini	6	9	6	7
Stock-out [gg]	0	2	0	8
Scorta media	11.350	6786	14.834	8053
Ind. Rotazione	6	10	5	9
Ind. Durata	61	36	59	32

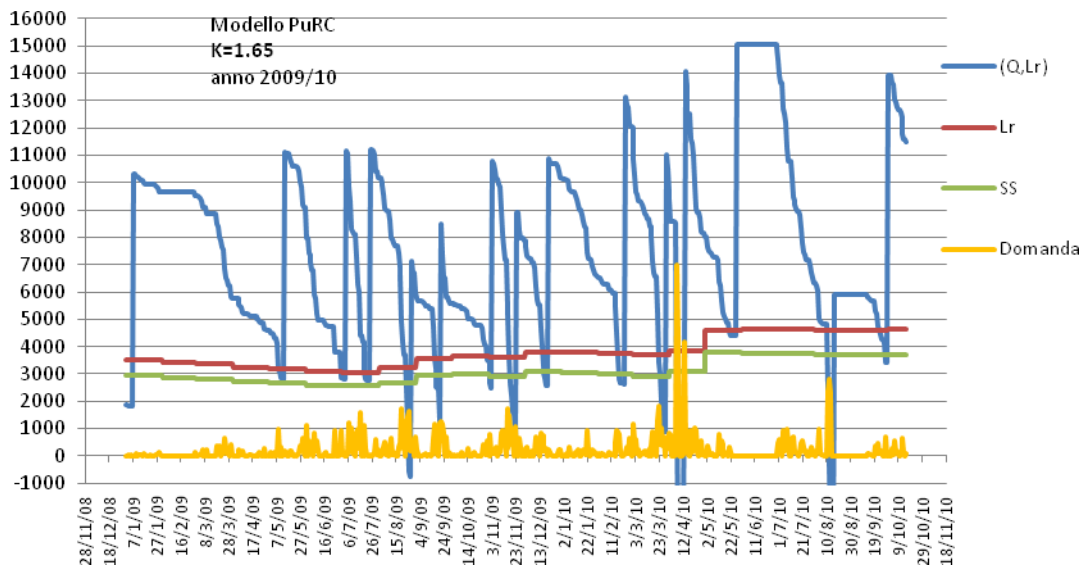
**Tabella 4.2**

In tabella 4.2 è riportato anche lo studio relativo all'applicazione della politica "a punto di riordino costante", con i relativi costi.

Rispetto al modello reale, la politica "a punto di riordino costante", mostra una riduzione del costo di gestione delle scorte; il numero di ordini che si effettuano annualmente aumenta, come possiamo notare dal grafico che segue, l'intervallo temporale tra un ordine ed il successivo tende a diminuire; anche le situazioni di sottoscorta aumentano, ma si mantengono comunque in un intervallo temporale molto ridotto dell'ordine della settimana.

In figura 4.19 viene rappresentato oltre all'andamento delle scorte in magazzino, anche il livello di riordino  $L_r$  e il livello di scorte di sicurezze  $SS$  che sono stati calcolati in base al modello. Dal grafico è possibile notare come ogni qual volta la scorta scenda al di sotto del  $L_r$ , si emette immediatamente un ordine che giungerà dopo breve, garantendo il ripristino della scorta in magazzino. Una variazione drastica della domanda può determinare un abbassamento delle scorte al di sotto del livello di sicurezza. Se il momento per riordinare è ancora molto lontano, sulla base dei valori di domanda media che si dovrebbero manifestare in quel periodo, si valuta se la scorta disponibile è sufficiente a garantire il soddisfacimento delle richieste fino al giorno in cui è previsto l'arrivo della merce ordinata nel tempo  $T$  prestabilito. Se le scorte sono tali da garantire questo allora si attende il periodo  $T$  prestabilito altrimenti si emette l'ordine, e a partire da quell'istante si calcola il nuovo periodo di revisione.

Le situazioni di sottoscorta che si verificano sono comunque limitate e si risolvono in intervalli temporali molto brevi.



**Figura 4.19** Andamento delle scorte in magazzino calcolato con il modello a punto di riordino costante.

Ogni periodo T si emette un ordine di acquisto. In base alla formula di Wilson il periodo di riordino è pari a 75 giorni nel 2009 e 57 giorni nel 2010; il lotto che si ordina è pari alla differenza tra il livello obiettivo relativo al mese in cui ci troviamo e il livello di scorte disponibili in quell'istante. Naturalmente se il livello delle scorte presenti in quell'istante in magazzino supera il livello obiettivo non si emette alcun ordine e si attende il periodo T successivo.

Il modello nel 2009 in corrispondenza del livello di servizio pari al 94% raggiunge il più basso costo di gestione delle scorte, garantendo un risparmio modico di circa 300 euro e nel 2010 un risparmio più corposo di oltre 4.000 euro, rispetto al modello realmente applicato nel CE.DI.

La tabella 4.2 contiene, inoltre, i valori di scorta media, indice di rotazione e indice di durata calcolati in ciascun anno per il modello matematico considerato, e confrontato con i valori ottenuti dal modello realmente applicato dal CE.DI. Anche questi valori rispecchiano il fatto che le scorte, gestite attraverso il "modello a punto di riordino", garantiscono una rotazione maggiore, permanendo dunque all'interno del magazzino un tempo minore e evitando rischi quali il deterioramento del prodotto.

#### 4.3.5 Gestione delle scorte in ipotesi di assorbimento variabile

L'ipotesi di tasso di assorbimento costante nel tempo, presente nei modelli più frequentemente usati nella gestione delle scorte, in alcuni casi, ad esempio risorse deperibili, obsolescenza etc., può risultare troppo semplicistica. Consideriamo ad esempio la produzione in un'industria conserviera: la quantità di prodotto necessaria per ottenere un'unità di prodotto finito è funzione crescente del tempo trascorso a partire dall'istante di acquisto della materia prima fresca. In altre parole il tasso di assorbimento della scorta risulta  $a=a(t)$ , detta  $Q_0$  la scorta di prodotto fresco acquistato all'istante  $t_0=0$ , a t ore di distanza il livello di scorta sarà:

$$Q(t) = Q_0 - \int_0^t a(\tau) d\tau$$

In genere il tasso di deterioramento di un prodotto ha un andamento esponenziale, quindi ponendo  $a(t) = \alpha_0 e^{\lambda t}$  con  $\lambda > 0$  ed  $\alpha_0$  tasso di assorbimento iniziale, ed integrando si ha:

$$Q(t) = Q_0 - \frac{\alpha_0}{\lambda} (e^{\lambda t} - 1)$$

Per evitare inutili giacenze il rifornimento  $Q_0$  va scelto in modo che la scorta residua durante il periodo di rifornimento  $\Delta t$  sia pari alla scorta di sicurezza  $SS$ , quindi:

$$Q(t) = SS + \frac{\alpha_0}{\lambda} (e^{\lambda \Delta t} - e^{\lambda t})$$

La giacenza media nell'intervallo  $[0, \Delta t]$ , corrisponde all'area sottesa alla funzione  $Q(t)$  quindi per esprimerla calcoliamo l'integrale:

$$\int_0^{\Delta t} \left( SS + \frac{\alpha_0}{\lambda} e^{\lambda \Delta t} \right) d\tau - \frac{\alpha_0}{\lambda} \int_0^{\Delta t} e^{\lambda \tau} d\tau = b_2 \Delta t + \frac{\alpha_0}{\lambda} \Delta t e^{\lambda \Delta t} - \frac{\alpha_0}{\lambda^2} (e^{\lambda \Delta t} - 1)$$

In un orizzonte temporale T allora il costo di giacenza si esprime come il prodotto tra il costo unitario di giacenza nell'intervallo T per la giacenza media:

$$C_g(\Delta t) = g_0 T \left[ SS + \frac{\alpha_0}{\lambda} e^{\lambda \Delta t} - \frac{\alpha_0}{\lambda^2 \Delta t} (e^{\lambda \Delta t} - 1) \right]$$

Dove  $g_0$  è il valore della merce conservata a scorta e  $T$  il tempo di conservazione.

Il costo totale si ottiene sommando al costo di giacenza ed al costo di ordinazione, il costo dovuto alle perdite per deterioramento proporzionale, secondo il valore  $v_0$  del prodotto, alla quantità deterioratasi nell'intervallo  $\Delta t$  data da:  $Q_0 - \alpha_0 \Delta t - SS$ .

Quindi:

$$C(\Delta t) = g_0 T \left[ SS + \frac{\alpha_0}{\lambda} e^{\lambda \Delta t} - \frac{\alpha_0}{\lambda^2 \Delta t} (e^{\lambda \Delta t} - 1) + \frac{C_0}{g_0 \Delta t} \right] + \frac{v_0 \alpha_0}{\lambda} (e^{\lambda \Delta t} - \lambda \Delta t - 1)$$

Come nel caso di assorbimento costante il periodo ottimo di rifornimento si ricava annullando la derivata di  $C(\Delta t)$ :

$$0 = \alpha_0 \left[ e^{\lambda \Delta t} - \frac{1}{\lambda^2 \Delta t^2} - \frac{1}{\lambda \Delta t} e^{\lambda \Delta t} + \frac{1}{\lambda^2 \Delta t^2} e^{\lambda \Delta t} - \frac{C_0}{\alpha_0 g_0 \Delta t^2} + \frac{v_0}{g_0 T} (e^{\lambda \Delta t} - 1) \right]$$

Da cui:

$$\left[ 1 - \frac{1}{\lambda \Delta t} + \frac{1}{\lambda^2 \Delta t^2} + \frac{v_0}{g_0 T} \right] e^{\lambda \Delta t} = \frac{1 + \lambda^2 C_0 / \alpha_0 g_0}{\lambda^2 \Delta t^2} - \frac{v_0}{g_0 T}$$

Il punto d'intersezione tra i due rami di curva rappresenterà il minimo richiesto.

#### 4.4 La Ricezione delle merci

La ricezione precede tutte le altre attività operative di un centro di distribuzione: sistemazione, stoccaggio, prelievo e spedizione delle merci.

In funzione degli ordini trasmessi ai fornitori dagli addetti all'approvvigionamento, ordini che contengono oltre alle informazioni relative ai prodotti, date e quantità anche le destinazioni a cui consegnare, le merci, indipendentemente dai sistemi di trasporto utilizzati (nave, container, cassa mobile, camion), arrivano presso il centro di distribuzione generalmente a mezzo di autocarro.

La ricezione delle merci si compone di alcune fasi:

1. *Fase di Accettazione*: L'autocarro inviato dal fornitore, arriva presso il centro di distribuzione. L'addetto al trasporto si reca all'ufficio di magazzino e consegna il Documento Fiscale di Trasporto del fornitore. Il documento di trasporto (d.d.t.), che ha sostituito dal 1996 la bolla di accompagnamento, è emesso obbligatoriamente dalla ditta fornitrice nel solo caso in cui sia effettuata una "fatturazione differita", ossia l'emissione della fattura sia rimandata al termine del mese successivo a quello di consegna del bene. Diversamente, ove il fornitore provveda ad una emissione immediata della fattura, il documento di trasporto non sarà più obbligatorio. In tal caso il vettore potrà avere con sé copia della fattura d'acquisto.
2. *Fase di Verifica*: nell'ufficio di magazzino il responsabile dell'accettazione della merce verifica che la data di consegna dei prodotti sia corretta e allega al d.d.t la copia dell'ordine d'acquisto, in cui sono riportati tutti i dati relativi a quell'ordine, ed in particolare: i dati relativi al fornitore, il numero dell'ordine, il buyer che ha emesso l'ordine, la data in cui è stato emesso l'ordine e la data di consegna dell'ordine.



Inoltre, per ogni riga sono indicati i dati relativi ai singoli prodotti che compongono l'ordine, e quindi:

- la descrizione di ogni articolo presente nell'ordine;
- il codice EAN dell'articolo;
- il TMC ( Tempo Minimo di Consegna) dell'articolo;
- l'ubicazione (padiglione, corridoio, campata, posizione di *picking*);
- la classe d'altezza;
- le misure dei cartoni con cui viene imballata la merce;
- il peso lordo e il peso dell'unità di carico;
- il B&T deposito (che rappresenta il numero di colli per strato che compongono il pallet);
- il numero di colli ordinati per ogni articolo;
- il numero di pezzi per collo;
- il numero di pezzi totali;
- i colli ricevuti con la relativa scadenza.

Successivamente vengono stampate le etichette, che sono utilizzate per la rintracciabilità dei documenti, vengono applicate sul d.d.t. e sulla copia d'ordine di ricezione, inoltre viene assegnato, in ordine crescente un numero, al trasportatore che attende il proprio turno nel parcheggio antistante al centro di distribuzione.

3. *Fase di Scarico e Controllo*: l'addetto al controllo della merce in entrata del centro di distribuzione, seguendo l'ordine numerico, prende il d.d.t. e la copia d'ordine d'acquisto presso l'ufficio di magazzino e invia il trasportatore a recarsi al punto d'attracco disponibile, identificato tramite un valore numerico.

La merce viene quindi scaricata utilizzando generalmente i carrelli transpallet elettrici e viene effettuato il controllo visivo della merce e della data di scadenza, inoltre vengono controllati e contati i pallet su cui è arrivata. Se vengono riscontrate delle variazioni rispetto a ciò che è stato ordinato, l'addetto al controllo della merce in entrata procede con la modifica dei dati riportati sulla copia dell'ordine d'acquisto.

Se è stato ordinato un prodotto il cui stato è N (nuovo), in questa fase si procederà, inoltre, con la pesatura e la misurazione di un singolo collo. Questi dati verranno caricati sul sistema informativo. Una volta effettuate tali verifiche l'addetto al controllo della merce in ingresso, appone una firma e/o un timbro per attestare la ricezione dei materiali. Al fine di evitare di congestionare le fasi di scarico delle merci (anche quelle relative ad altri mezzi in arrivo), il più delle volte viene inserita una clausola alla suddetta accettazione che prevede ulteriori controlli successivamente, per cui viene scritto (generalmente sul timbro) una frase del tipo "...l'accettazione viene effettuata con riserva...". Poiché l'attestazione di carico o, in questo caso, di scarico della merce da un mezzo di trasporto ha una rilevanza economica, al fine di responsabilizzare maggiormente gli addetti allo scarico e nello stesso tempo permettere di accelerare eventuali verifiche a posteriori, generalmente vengono assegnati ai magazzinieri addetti allo scarico ed alla accettazione delle merci timbri personalizzati (ad esempio con numeri progressivi che identificano i vari addetti). A questo punto viene effettuato il carico contabile del magazzino, attività che ha a tutti gli effetti una valenza fiscale.

Successivamente alla fase di scarico e controllo quantità, effettuata dall'addetto al controllo della merce in ingresso, generalmente sono previsti controlli qualità in accettazione (il più delle volte sono controlli statistici "a campione"), effettuati da addetti al controllo merce in ingresso. Tali controlli, che possono essere più o meno rilevanti a seconda del livello di autocertificazione del fornitore (o delle specifiche forniture) in questione, hanno comunque un impatto sul *Lead time* e, pertanto, devono essere fatte nel minor tempo possibile, compatibilmente con l'organizzazione a disposizione.

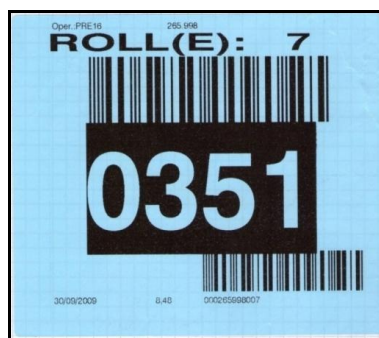
4. *Fase di Registrazione Merce.* Una volta terminato il controllo, l'addetto consegna la copia dell'ordine d'acquisto e il d.d.t. all'ufficio di magazzino che procede con la registrazione dell'ordine sul sistema informativo del centro di distribuzione. Vengono registrati a sistema il reale quantitativo della merce consegnata dal fornitore, e per ogni articolo viene indicata la reale scadenza. Inoltre viene indicato il nome dell'addetto al controllo che si è occupato di quello scarico e il numero e il tipo di pallet su cui è stata consegnata la merce (Epal, Chep, ecc.). Può capitare che un prodotto arrivi scaduto o che abbia una scadenza a breve termine, in tal caso la merce non viene accettata e rimandata indietro al fornitore. Il sistema provvederà in automatico ad inviare una contestazione al fornitore che ha inviato quella merce.

Tutti i d.d.t. insieme alle copie dell'ordine di acquisto vengono raccolti dall'ufficio di magazzino e consegnati in amministrazione al termine di ogni giornata lavorativa per varie verifiche.

#### 4.5 La preparazione dell'ordine

Le fasi che compongono la procedura di evasione di un ordine sono:

1. *Fase di Assegnazione della Preparazione o Commessa.* In questa fase si provvede a stampare le etichette identificative della commessa (che si svolge per un massimo di tre unità di carico) contenenti le informazioni necessarie all'identificazione e gestione della commessa.



**Figura 4.20** Etichetta applicata sui roll container

2. Le etichette variano a seconda del tipo di preparazione; se la preparazione è effettuata su *roll container* viene applicata l'etichetta (vedi Figura 4.20), dove sono indicati:
  - Il codice cliente a cui deve essere consegnata la merce;
  - Il codice del preparatore;

- Il numero della preparazione;
- La data e l'ora in cui è stata effettuata la preparazione;

Inoltre il cliente può ordinare uno o più pallet dello stesso prodotto, in tal caso su ogni pallet viene applicata una etichetta, tipo quella riportata in figura 4.21, su cui sono indicati:

- Il codice e il nome del cliente a cui deve essere consegnata la merce,
- Il codice e la descrizione del prodotto,
- Il numero di colli di prodotto presenti sul pallet,
- La data e l'ora,
- Numero totale di pallet ordinati dal cliente,
- Il codice EAN identificativo della preparazione.

Le etichette, contenenti sia informazioni di tipo testuale che codificate sotto forma di *bar code* sono attaccate ai due lati contrapposti del *roll container* o del pallet in modo tale da favorire la lettura dei bar code tramite appositi lettori a disposizione degli operatori;

1. *Fase di prelievo.* Le informazioni relative agli ordini di prelievo vengono trasmesse sotto forma di una distinta di prelievo o tramite un video-terminale installato a bordo del sistema di movimentazione, mediante un terminale portatile o con l'ausilio di un sistema di "Voice Picking" (vedi oltre). La sequenza dei prelievi dai vari vani deve rendere minimo il percorso complessivo del preparatore, il che equivale ad emettere la distinta di prelievo secondo un ordine prefissato ed a selezionare in maniera oculata la logica di movimentazione (vedi oltre).



**Figura 4.21 Etichetta applicata sui pallet**

2. *Fase di controllo.* Una volta terminato il prelievo di tutti i colli, il preparatore si reca presso la postazione di controllo. Qui i *roll container* o i pallet vengono pesati, se c'è una differenza rispetto al peso previsto dal sistema, il preparatore effettuerà il controllo visivo di tutti i colli che ha prelevato. Una volta effettuato il controllo, e su ogni *roll container/pallet* viene applicata un'etichetta in cui è indicato il peso lordo, il peso dei *roll container* vuoti, e il peso netto. Quindi viene stampato un documento di fine preparazione, che viene consegnato all'ufficio di magazzino insieme al ticket di inizio preparazione al fine di verificare e confermare che la commessa di quel cliente è stata completata in maniera corretta. Nel documento di fine preparazione vengono riportati:

- ✓ il cliente a cui è destinata la merce preparata;
- ✓ la data e l'ora in cui è terminata la preparazione;
- ✓ il numero di pallet /roll container preparati;
- ✓ il codice della preparazione;
- ✓ il preparatore che ha effettuato la preparazione.

Infine, al *roll container* viene allegata la “carta di prelievo” con la descrizione di tutti gli articoli presenti sullo stesso.

L'operatore addetto al controllo, può eseguire un'operazione cosiddetta “di smonta”, se verifica che il contenuto di un *roll container* può essere accorpato a quello di un altro *roll container* non totalmente pieno, per ottenere così un'ottimizzazione degli spazi. Tale operazione può essere registrata tramite il lettore ottico di codice a barre di cui è provvisto l'addetto al controllo.

3. *Fase di carico e spedizione delle merci.* Una volta che la merce viene preparata e controllata per un cliente, il sistema invia al punto di vendita una e-mail in cui viene indicato la quantità esatta di merce che riceverà, poiché può capitare che un articolo non sia disponibile e quindi non può essere incluso nella commessa. Infine, al cliente, viene assegnata una porta di attracco nell'area spedizione. L'addetto al controllo alla merce in uscita sempre tramite lettore ottico, registra l'uscita della merce e identifica i *roll container* ed i pallet dei clienti che vengono trasportati dallo specifico vettore. Si procede quindi al carico del vettore da parte degli addetti, utilizzando i trans pallet elettrici, secondo la logica LIFO.

#### 4.5.1 Il Prelievo della merce

L'attività di prelievo trasforma l'unità di carico con la quale un prodotto viene conservato al centro di distribuzione in una più adatta alle esigenze del cliente, secondo il livello di servizio richiesto e al minimo costo. Tra tutti i processi di magazzino, il processo di prelievo dei prodotti è quello sul quale si focalizza la maggiore attenzione: l'attività di prelievo infatti occupa circa il 60% dell'attività di lavoro di un centro di distribuzione (Brynzer and Jhoansson, 1996) con un costo stimato pari al 55% del costo totale di gestione (Tompkins et al., 2003).

In letteratura vari lavori hanno evidenziato sostanzialmente 3 fattori che contribuiscono al tempo di prelievo (Dekker et al., 2004; De Koster et al., 1999a, Caron et al., 2000): un tempo di sosta al punto di ingresso/uscita per controlli amministrativi (*administrative time*); un tempo speso nell'estrazione dell'articolo e nella documentazione dell'attività di prelievo (*processing time*); ed un tempo di tragitto (*travel time*) da una postazione di prelievo ad un'altra. Il tempo di tragitto rappresenta la componente dominante, per questa ragione esso rappresenta un obiettivo primario nei processi di ottimizzazione e design del magazzino. Esso risulta una funzione crescente della distanza percorsa per effettuare il prelievo (o l'immissione), di conseguenza è usata come un indicatore significativo di un generico sistema di prelievo. Due sono i tipi di grandezze analizzate in letteratura: il tragitto medio (*average tour length*) ed il tragitto totale. Chiaramente minimizzare il tragitto medio (o equivalentemente il tragitto totale) è solo una delle possibilità. Altri obiettivi potrebbero essere: minimizzare il costo totale, minimizzare il tempo necessario al completamento di un ordine o un set

di ordini, massimizzare l'utilizzo dello spazio o dell'attrezzature, massimizzare l'accessibilità agli articoli.

Infatti, sebbene l'attività di prelievo possa sembrare, nella pratica, abbastanza semplice, in realtà è il frutto di numerose scelte organizzative ed è implementata in maniera estremamente varia nei diversi contesti aziendali. Le alternative comportamentali su cui costruire l'attività di prelievo sono molteplici, così come lo sono anche gli aspetti da tenere in considerazione. Il prelievo è, infatti, un'attività che si riflette direttamente sul livello di soddisfazione del cliente, il quale desidera avere la consegna dell'ordinato velocemente e senza errori. La capacità quindi, di preparare l'ordine del cliente in modo veloce e accurato è diventata un elemento essenziale per assicurare un'efficace funzionalità di un impianto industriale in genere. Caratteristiche come la tipologia del prodotto che deve essere manipolato, il numero totale delle operazioni compiute, il numero di prelievi per ordine, la quantità prelevata in una locazione, il numero totale di locazioni da cui prelevare, l'unità prelevata per volta, sono tutti elementi che influenzano il modello di prelievo che può essere adottato dal magazzino. In alcuni casi si rende necessaria una combinazione di metodi di prelievo per riuscire a gestire diversi prodotti e ordini con diverse caratteristiche.

Riassumendo possiamo indicare come parametri per la scelta del sistema di prelievo i seguenti:

- unità di vendita o di consegna ai clienti (pallet completo, imballo completo, singola unità di prodotto, ecc.);
- quantità da prelevare (se movimentabile manualmente o con mezzi meccanici idonei);
- tipologia di prodotto (in particolare dal punto di vista dimensionale e di peso, e, ad esempio, la sua eventuale fragilità, ecc.);
- dimensioni delle confezioni e degli imballi;
- tipologia di sistema distributivo;
- layout del centro di distribuzione.

L'analisi di tali parametri può portare ad optare per un sistema di prelievo piuttosto che un altro. Ogni sistema di prelievo deve comunque, garantire alcune condizioni per l'eseguibilità delle operazioni di prelievo: facile maneggiabilità dei colli o materiali, che devono essere rigidi; materiali conteggiabili; colli o materiali (ad esclusione delle minuterie) singolarmente individuabili e rintracciabili lungo il percorso in caso di anomalie del sistema; peso e dimensioni dei colli o dei materiali entro i limiti della movimentabilità prescritti dalle norme sull'ergonomia. Infine il prelievo non deve essere sottoposto a eccessive operazioni di sconfezionamento o riconfezionamento per la presenza di imballi a strati successivi che comporterebbe un dispendio di tempo.

L'operazione di prelievo può consistere in un prelievo di udc intere oppure in un prelievo frazionato. Anche se in alcune realtà gli ordini vengano evasi unicamente attraverso il prelievo di udc intere (si pensi ad esempio a magazzini di fine produzione) non originando, in questo modo, nessun *picking-tour*, tuttavia l'operazione di "rottura" delle udc (*picking*), al fine di eseguire un prelievo parziale dei materiali presenti in una udc di origine, e di ripartire il materiale prelevato in una o più *unità di destinazione*, o *uds*, destinate a soddisfare ordini di lavorazione o di spedizione, è una scelta tattica molto frequente. La destinazione può essere interna allo stabilimento per ordini di lavorazione, o esterna per ordini destinati alla spedizione a clienti, si pensi al *picking* per prodotto finiti.

Da notare che il prelievo per unità di carico risulta il sistema maggiormente esemplificativo ed il più produttivo per i tempi operativi necessari all'allestimento, oltre a presentare la possibilità più bassa di errori di prelievo; mentre gli altri sistemi possono offrire vantaggi e svantaggi sia per la tempistica che per la precisione dei prelievi stessi.

Il problema della minimizzazione dei costi associati al prelievo frazionato risulta quindi, uno di quelli maggiormente trattati in letteratura, poiché tali costi sono spesso assai ingenti. L'obiettivo che ci si pone è quello di ottenere un considerevole risparmio in termini di costi di gestione attraverso l'ottimizzazione dei *picking-tour* e quindi un implicito aumento della produttività (*throughput*) del magazzino stesso.

La modalità di **picking manuale** è senz'altro quella più semplice. In tal caso in linea generale, quando si deve prelevare dal magazzino un certo numero di colli, scatole, pezzi, ecc. le alternative progettuali sono due: il picking può essere effettuato fuori dagli scaffali in cui le udc sono stoccate, in apposite postazioni in cui i materiali da prelevare sono temporaneamente depositati. Oppure il picking può essere eseguito presso le stesse locazioni in cui i materiali da prelevare sono immagazzinati.

Nella prima alternativa le udc contenenti i materiali da prelevare vengono trasferite presso stazioni di picking dedicate. Al termine del prelievo, le udc che non sono state esaurite, vengono riportate a magazzino

Nella seconda alternativa di modalità di picking i materiali che compongono gli ordini sono prelevati dal picker direttamente dalle postazioni del magazzino in cui sono dislocati, questo quando ad esempio abbiamo necessità di effettuare ripetute operazioni di picking dalla udc prima di svuotarla e quindi non è conveniente movimentarla molte volte. In funzione delle dimensioni dei materiali, dei percorsi da eseguire e dai relativi tempi di esecuzione, le movimentazioni per il picking con operatore possono essere eseguite mediante: carrelli manuali, transpallet, carrelli elevatori, carrelli commissionatori, elevatori meccanizzati.

Qualora i prelievi siano affidati ad un operatore, sono in genere possibili due diverse situazioni: l'operatore dispone di un elenco degli articoli da prelevare che perviene all'operatore, via radio, direttamente dal computer centrale; oppure l'operatore può essere guidato da un elaboratore che gestisce i prelievi e gli indica, mediante un terminale video, gli articoli da prelevare e le relative quantità. Ciò consente di ottimizzare i percorsi.

Quando il prelievo è affidato ad un operatore, anche l'identificazione del materiale può essere automatizzata.

L'operatore può disporre inoltre di ulteriori dispositivi, quali terminale interattivo e stampante per etichettare il materiale prelevato.

In un secondo caso, il picker riceve le istruzioni circa i prelievi da eseguire, direttamente da unità di segnalazione e display posti in corrispondenza delle posizioni in cui si trovano i prodotti richiesti. Se l'entità dei prelievi è tale da richiedere un reintegro frequente dei prodotti prelevati direttamente senza spostare l'udc (detto anche metodo alla spina), si può prevedere una corsia per le operazioni di picking ed una adiacente per quelle di alimentazione dei contenitori pieni (in sostituzione di quelli vuoti). In questo caso, si possono impiegare carrelli commissionatori per il picking e carrelli

trilaterali per lo stoccaggio delle unità di carico. Un'ulteriore modalità di reintegro, prevede la predisposizione di un magazzino di accumulo retrostante, mentre le udc soggette a picking sono disposte su una o più file anteriori di fronte all'operatore. Fra gli scaffali destinati al picking per udc di piccole dimensioni, esiste una diffusa tendenza a realizzare scaffali a gravità in grado di assicurare una adeguata scorta di materiale per ogni articolo soggetto a prelievo, soddisfacendo contemporaneamente il criterio del first-in, first out. L'alimentazione dei colli prelevati dagli scaffali e destinati alle stazioni di confezionamento, può essere realizzata ricorrendo a trasportatori a nastro, tapparelle, rulli o rotelle. L'operatore dopo aver prelevato i colli li colloca su un trasportatore oppure dentro scatole, cestelli o vassoi, disposti a loro volta su un trasportatore che li trasferisce alla stazione richiedente.

La modalità di **picking automatizzato** può essere eseguita mediante l'utilizzo di magazzini rotanti orizzontali oppure verticali. L'operatore rimane fermo in corrispondenza della stazione di picking e l'impianto rotante orizzontale gli presenta via via i materiali da prelevare. Quindi in questo caso non è l'operatore che si muove verso i materiali come nella movimentazione manuale, ma sono i materiali che si muovono verso l'operatore. Anche l'operazione di reintegro dei materiali può essere effettuato dalla stessa stazione di prelievo oppure da un'altra stazione ausiliare.

Nel caso di magazzini rotanti verticali il prelievo e il reintegro dei materiali può avvenire anche su livelli sovrapposti. I magazzini verticali, asserviti da elevatori automatici o *miniload*, consentono l'immagazzinamento dei materiali (disposti all'interno di contenitori) su più ripiani fissi, in corrispondenza dei quali vengono portati mediante un elevatore scorrevole verticalmente. I ripiani possono essere a semplice o a doppia profondità.

In alcuni ambiti, ad esempio quello farmaceutico, nei quali è richiesta una elevata cadenza di movimentazione con colli di piccole dimensioni, è possibile utilizzare impianti automatici quali i *sorter*. In tali impianti, gli operatori disfano gli imballi primari e caricano con le singole confezioni delle rastrelliere per lo stoccaggio temporaneo. Al momento dell'ordine, l'impianto provoca la caduta delle confezioni dalle rastrelliere verso un nastro di trasporto centrale, che le indirizza verso l'operatore.

#### **4.5.2 Informazioni per il prelievo**

Nelle fasi di prelievo un'attenzione particolare deve essere data al controllo delle quantità prelevate e da consegnare alla produzione o ai vettori per l'inoltro ai clienti.

Per ridurre gli errori si possono adottare differenti sistemi come i codici a barre che implicano una codifica di tutti i materiali presenti nel centro di distribuzione. L'introduzione della codifica e l'uso di sistemi informatici per la lettura dei codici a barre aumenta notevolmente la produttività dei singoli operatori e tende ad azzerare la presenza di errori nei prelievi.

Un'altra possibile soluzione per ridurre gli errori è l'etichettatura differenziata (ad esempio dei colori differenti a parità di funzioni e dimensione ma con particolari non facilmente individuabili) in modo da richiamare l'attenzione dell'operatore al prelievo.

La struttura della lista di prelievo deve essere tale da facilitare i tempi di prelievo elencando i prodotti da prelevare in sequenza secondo il percorso ottimale che deve seguire l'operatore.

Le informazioni necessarie al preparatore per svolgere il proprio lavoro sono:

- la locazione del prodotto da prelevare;
- la quantità da prelevare di ogni prodotto;
- la destinazione dei prodotti prelevati;
- l'indicazione del prossimo vano di prelievo.

Il modo con cui si elaborano e si trasmettono al preparatore le informazioni relative agli ordini influisce sull'efficienza del prelievo. Le informazioni devono essere facili da leggere e da capire, sia se vengono trasmesse sotto forma di una distinta di prelievo o tramite un video-terminale installato a bordo del carrello commissionatore, mediante un terminale portatile o con l'ausilio di un sistema di "Voice Picking".

La sequenza dei prelievi dai vari vani deve rendere minimo il percorso complessivo del preparatore, il che equivale ad emettere la distinta di prelievo secondo un ordine prefissato diverso dalla sequenza con la quale i prodotti sono elencati sull'ordine del cliente. I codici di locazione devono essere comprensibili e visibili. Il lavoro di trascrizione del preparatore deve essere ridotto al minimo, se non eliminato del tutto, ad esempio con l'impiego dei terminali portatili.

Indispensabili per la riduzione degli errori sono i controlli, la cui frequenza deve essere proporzionata nelle varie fasi operative che si svolgono nel centro di distribuzione in relazione al valore economico e strategico dei materiali che vengono movimentati ed al costo dei controlli stessi correlato con il valore degli eventuali errori.

#### 4.5.3 Il Sistema Voice Picking

Il Voice Picking è una soluzione tecnologica altamente innovativa, che ha permesso di aumentare considerevolmente l'efficienza e la qualità del processo di picking.

Tale sistema consente agli operatori di operare ad occhi e mani libere, permettendogli di interagire vocalmente con il sistema e nello stesso tempo di effettuare altre operazioni.

Una volta che l'operatore effettua il login e si rende disponibile per eseguire un'operazione di picking, gli viene assegnato un lavoro. Il sistema indica la posizione di picking (corridoio, campata, posizione di picking) dove deve recarsi per il prelievo.



**Figura 4.22** Etichetta che evidenzia la posizione di picking, in alto a sinistra su sfondo nero presente il CheckSum Code



Una volta giunto nella posizione indicata, l'operatore conferma al sistema la sua posizione leggendo il CheckSum Code presente sull'etichetta che identifica la posizione di *picking* (figura 4.22).

Verificata la posizione corretta, il sistema comunica il numero di colli da prelevare. L'operatore, prelevati i colli, conferma l'operazione. Può accadere che la quantità di colli presenti nella posizione di *picking* sia nulla o minore della quantità da prelevare, in tal caso l'operatore preleva e conferma il numero colli al momento disponibili. Il sistema verifica se sono presenti scorte di quell'articolo e invia al carrellista una richiesta di "abbassamento al *picking*". Il carrellista visualizza la richiesta sullo schermo posizionato sul carrello elevatore, con le coordinate della posizione di riserva in cui prelevare il pallet e la posizione di *picking* da rifornire. Ricevuta conferma dal sistema potrà quindi, completare la missione.

Il sistema indicherà inoltre quando bisognerà passare al carico del *roll container* successivo se sono stati raggiunti i limiti di peso del *roll container* che si sta preparando.

Quando la preparazione di tutti i contenitori è stata completata, il preparatore riceve la comunicazione di recarsi presso l'area di controllo.

Il sistema di Voice Picking garantisce numerosi vantaggi in termini di:

- Maggiore produttività ed efficienza dell'operatore che opera sempre ad occhi e mani libere (si è passati da una media di 140 colli orari preparati a circa 160 colli orari).
- Riduzione degli errori legati alla difficoltà di lettura di una lista cartacea o di un terminale ed alle operazioni di immissione manuale dei dati.

Avere gli occhi per nulla occupati nel controllare liste cartacee o osservare i comandi video durante il tragitto verso il punto di prelievo (*eyes free*) permette una maggiore attenzione al contesto ambientale e quindi una maggiore sicurezza. Inoltre l'operatore non avendo la vista impegnata può monitorare le disponibilità di magazzino e segnalare eventuali criticità o anomalie.

Il sistema di Voice Picking garantisce grandi vantaggi ad esempio, nelle celle per lo stoccaggio di prodotti della categoria fresco. Qui esistono anche fattori fisici che rendono difficoltose le attività: la dotazione di dispositivi individuali di protezione degli operatori (che comprende guanti, giacca termica, ecc.) è tale da impedire l'uso delle tastiere normali dei terminali, introducendo pertanto la possibilità di commettere errori e compromettendo la produttività degli operatori.

Il sistema di Voice Picking presenta una funzione di controllo che permette all'addetto nell'ufficio di magazzino, di monitorare in tempo reale attraverso una schermata il lavoro di tutti gli operatori addetti al *picking*. Per ogni operatore viene visualizzato in tempo reale:

- Il codice del cliente di cui si sta preparando la commessa,
- Il posto *picking* in cui sta effettuando il prelievo,
- Il numero di colli prelevati,
- Il numero di colli da prelevare,
- La percentuale di completamento della preparazione,
- La velocità di preparazione in termini di numero di colli orari,
- Il dialogo con il sistema di voice picking.

Inoltre vengono visualizzate le stime di produttività totali, sempre aggiornate in tempo reale, in termini di numero di colli totali prelevati, numero di colli orari prelevati, ore lavorate, previsione del tempo necessario per terminare tutte le operazioni di prelievo e quindi tutte le commesse.

Avere a disposizione questi dati non in differita, ma in tempo reale è un enorme vantaggio per la gestione delle operazioni.

Mensilmente viene effettuato il rilievo e l'analisi delle prestazioni in maniera tale da tenere sotto controllo i livelli produttivi, per la ridefinizione periodica dell'organico e per l'incentivazione del personale. I dati raccolti vengono monitorati dal responsabile di magazzino. Le statistiche per ogni preparatore riguardano :

- numero di movimentazioni effettuate,
- numero di colli prelevati,
- ore e minuti totali impiegati per la preparazione,
- tempi standard,
- errori,
- media colli orari,
- differenza tra i tempi standard e il tempo impiegato per eseguire le attività,
- percentuale di errori,
- numero totale di unità di carico. movimentate in preparazione,
- numero di articoli totali prelevati,
- colli /unità di carico,
- colli / articolo.

I tempi standard (in secondi) sono stati calcolati per le operazioni di spostamento tra i vari corridoi dell'area di stoccaggio, per l'operazione di prelievo di un singolo collo, per la consegna e l'allestimento del pallet.

Vengono anche calcolate le statistiche mensili per ogni addetto, in termini di:

- Numero di movimentazioni,
- Numero di colli movimentati,
- Ore lavorate effettive, al netto di assenze e soste,
- Tempi Standard totali per ogni operatore,
- Il numero di errori,
- Numero di colli/ora movimentati,
- Bonus TS, dato dalla differenza tra i tempi standard e ore effettive di lavorazione,
- Percentuale di errore.

In passato veniva utilizzato un sistema di incentivazione basato sulla produttività. Se un operatore era abile e il tempo era minore dei tempi standard, a fine mese gli veniva corrisposto un premio sotto forma di bonus economico. Non venivano solo considerati i tempi, in quanto nel calcolo del bonus venivano conteggiati anche gli errori: ogni errore commesso andava a decurtare il bonus di tempo guadagnato. Tale meccanismo di incentivazione è stato accantonato poiché non sono stati riscontrati in fase di sperimentazione miglioramenti soddisfacenti in termini di produttività totale.

#### 4.5.4 Modelli di Picking

L'obiettivo del modello di picking attuato è realizzare un incremento della *produttività*, mediante la riduzione del *tempo di ciclo*, nonché un miglioramento dell'*accuratezza* dell'ordine.

La *Produttività*, è misurata come il numero di prelievi fatti nell'unità di tempo (velocità di prelievo). Se il tempo di prelievo fisico del prodotto è piuttosto ridotta, ciò che conta valutare nel caso di singole unità prelevate è il percorso effettuato per portare a termine la preparazione dell'ordine.

Il *Tempo di ciclo (Cycle Time)* rappresenta l'ammontare del tempo complessivo necessario al prelievo, dal momento in cui l'ordine viene confermato al momento in cui la merce è pronta per essere spedita. Si distinguono le seguenti componenti temporali:

- tempo di viaggio necessario per la raccolta dei prodotti di un ordine corrispondente alla lunghezza di un *tour* nel magazzino. Il tempo di viaggio può essere visto come la somma del tempo di viaggio “dentro il corridoio”, vale a dire il tempo impiegato per gli spostamenti all'interno di corsie di stoccaggio, e il tempo di viaggio “attraverso i corridoi trasversali”, cioè il tempo trascorso per spostarsi da un corridoio di stoccaggio a un altro;
- tempo di elaborazione presso i punti di stoccaggio, ossia il tempo necessario per eseguire operazioni quali la ricerca delle *location* da scegliere, estrarre gli elementi, documentare l'attività di *picking*;
- tempo “amministrativo” sostenuto all'inizio e alla fine di un giro di prelievo, cioè il tempo speso per compiti amministrativi e di *start-up* della commessa: si pensi a tal proposito alla ricerca o al deposito di un dispositivo di prelievo (carrello, *roll bar*, ecc), alla stampa di un elenco, ecc;
- un ulteriore componente del tempo totale del *picking* è il tempo di attesa per l'operazione successiva nel caso in cui non sia immediata la disponibilità delle risorse necessarie.

L'*Accuratezza* cioè la perfetta corrispondenza tra ciò che è stato ordinato e quanto è stato spedito, rappresenta uno dei principali obiettivi da raggiungere nell'ottica di migliorare il servizio al cliente. Un parametro di misura potrebbe essere rappresentato dal numero di ordini esatti sul numero totale di ordini; oppure dal numero di ordini che devono essere rimaniolati sul numero di ordini totali.

Va tenuto però in considerazione, che alcuni degli obiettivi ricercati possono essere tra di loro in contrasto. Per esempio, la velocità e l'accuratezza possono essere inversamente proporzionali: un picking accurato può avere bisogno di un tempo più lungo oppure una riduzione del tempo di ciclo può ridurre anche l'accuratezza con cui viene preparato l'ordine stesso.

Una accurata analisi tra le alternative possibili va quindi effettuata.

Le operazioni di prelievo possono essere classificate in 4 tipologie fondamentali a seconda del numero di ordini che costituiscono la commessa di prelievo e della composizione di ogni ordine.

- ***Prelievo base (Basic Picking o order Picking)***  
L'operatore addetto al prelievo realizza una “missione” per ogni ordine da soddisfare. Questo modello viene usato per preparare le spedizioni nella distribuzione per catalogo o quando si organizza la distribuzione di pezzi di ricambio. Con il Basic Picking, in genere il prodotto è stoccato in locazioni fisse su scaffalature statiche o in pallet. Un addetto prelievo elabora un ordine per volta, seguendo un percorso all'interno di un magazzino tra gli scaffali fino a che l'ordine è completo.

L'addetto utilizza un documento cartaceo o un sistema informativo (ad es. un dispositivo palmare) che gli comunica il cosa e quanti pezzi da prelevare. Il picker in alcune situazioni utilizza un carrello commissionatore per girare all'interno del magazzino. L'ottimizzazione del processo deve prevedere la minimizzazione del percorso da fare, eliminando la possibilità di duplicare percorsi o di dovere ritornare su locazioni già visitate. Il documento di prelievo deve quindi considerare il posizionamento della merce lungo i corridoi. Il sistema di base funziona bene nei casi in cui si hanno pochi ordini da gestire e un elevato numero di prodotti per ordine da prelevare. Nel caso di un numero elevato di ordini e di operatori destinati al prelievo, si potrebbe creare la situazione in cui il corridoio è congestionato dai picker, evento che va a rallentare le operazioni e l'accuratezza dell'ordine stesso.

- ***Prelievo multi ordine (Batch Picking)***

Il prelievo multi ordine è indicato nel caso in cui l'ordine sia composto da pochi elementi, ma si devono gestire numerosi ordini al giorno.

E' una metodologia di raggruppamento degli ordini assegnati ad ogni picker formando un'unica picking-list di dimensioni maggiori, da suddividere in un secondo momento, incentrando il processo di ottimizzazione sulla diminuzione dei tempi morti e delle distanze percorse.

Analizzando la letteratura inerente questa problematica ci si accorge che esistono molteplici approcci di tipo euristico [Berg, J.P. Van den (1999); Pan C.H. and Liu, S.Y. (1995)] che conducono unicamente ad ottimizzazioni parziali del problema fornendo tuttavia buone approssimazioni della soluzione ottima.

Tipicamente l'approccio euristico parte da un ordine-seme, selezionato o in modo casuale o seguendo logiche più complesse come ad esempio la scelta dell'ordine con il più lungo picking-tour necessario all'evasione, per poi unire a questo ordini via via "simili" al seme scelto con il vincolo di non eccedere mai la capienza del mezzo utilizzato. Ciò che differenzia i diversi approcci è proprio il calcolo della "similarità" tra i diversi ordini. In relazione ai differenti criteri di calcolo è possibile identificare differenti approcci al problema del Batching sostanzialmente riconducibili a due grandi famiglie:

- ✓ ***Proximity Batching.*** Il primo approccio basa il calcolo della similarità tra gli ordini attraverso le distanze relative tra i vani contenenti i prodotti appartenenti alle picking-list [Gibson and Sharp (1992), Rosenwein (1994), Koster, Poort and Wolters (1999), Ruben and Jacobs (1999)]. In questo modo vengono composti set di ordini, ossia dei *batch*, in modo tale da minimizzare le distanze medie percorse dagli addetti o il tempo medio impiegato per completare il prelievo di ogni batch. Una volta identificato l'ordine-seme secondo il criterio ritenuto più opportuno, il calcolo delle distanze, effettuato per stabilire se accorpate o meno l'ordine considerato al seme scelto, può seguire logiche diversificate basando il calcolo della "similarità" sul numero di corridoi aggiuntivi che dovrebbero essere visitati qualora si aggiungesse l'ordine preso in considerazione all'ordine-seme; oppure sulla differenza tra il baricentro dell'ordine-seme e di quello eventualmente inserito nel batch.
- ✓ ***Time Window Batching.*** Il secondo approccio citato basa il calcolo della similarità tra gli ordini su criteri non di tipo spaziale ma di tipo temporale. Infatti gli ordini arrivati all'interno dello stesso

intervallo di tempo, sia questo fisso o variabile, sono raggruppati insieme nello stesso batch appartenendo perciò alla stessa picking-list [Elsayed et al, (1993), Chew and Tang (1997), (1999), Duc and De Koster (2003), (2007)]. Il fine di questa metodologia è quello di identificare l'ampiezza ideale per la finestra temporale che genera l'accorpamento degli ordini in una unica picking-list di tale intervallo temporale (intervallo temporale di lunghezza fissa) o, alternativamente il numero fisso di ordini che andranno a formare un batch (intervallo temporale di lunghezza variabile) in modo da minimizzare le distanze medie percorse o il tempo medio necessario al compimento del prelievo. L'obiettivo comunque, è quello di non fare tornare mai indietro il picker durante i prelievi.

Qualunque sia l'approccio al problema, risulta chiaro come a fronte di una diminuzione legata ai *labor time costs*, si debba tenere in considerazione che la perdita di integrità degli ordini processati implica una serie di operazioni aggiuntive legate alla selezione e consolidamento delle merci che in assenza di Batching non sarebbero state necessarie, nonché un incremento degli spazi necessari.

Non è da sottovalutare inoltre, che il picker, per ottimizzare il percorso, a ogni giro del magazzino cercherà di completare più ordini alla volta. Aumentare il numero di ordini per giro potrebbe influire sul livello di accuratezza (possibilità di compiere errori in fase di prelievo). Per evitare ciò il sistema informativo dovrà generare un documento di prelievo tale da aggregare gli stessi elementi da prelevare evitando che un articolo destinato a un cliente venga inavvertitamente posto nel contenitore sbagliato.

Per ridurre le probabilità di errore si suggerisce di non forzare il modello con più di 12 ordini per volta, e di controllare l'esattezza del prelievo dotando ogni contenitore con un codice a barre che identifica il cliente. Queste ultime considerazioni necessitano, in fase di progettazione del sistema di prelievo, di una analisi costi-benefici per valutare se valga o meno la pena intraprendere questa strada.

- ***Picking a zone (Zone Picking)***

La logica utilizzata è simile a quella della linea di assemblaggio. L'area di stoccaggio è suddivisa in zone ed la responsabilità del prelievo dei prodotti è affidata ad addetti diversi zona per zona. In questo modo la *picking-list* generata in seguito ad un ordine entrante viene suddivisa in *picking-list* minori da assegnare ai diversi addetti e contenenti solamente i prodotti allocati nella zona di competenza. Rispetto alle altre strategie organizzative qui esposte lo *Zoning Problem* ha ricevuto minor attenzione malgrado sia stato provato un impatto importante sulle performance del sistema di picking. Tali miglioramenti derivano principalmente dalle minori dimensioni dell'area di magazzino che ogni addetto ai prelievi si trova a dover attraversare per completare il prelievo delle referenze a lui assegnate, riducendo di conseguenza anche il traffico tra i diversi corridoi di prelievo. Inoltre avendo una propria area assegnata sarà possibile un livello prestazionale maggiore da parte degli stessi addetti poiché potranno prendere confidenza con le diverse collocazioni delle referenze e quindi ritrovarle con maggior celerità. I prodotti prelevati vengono depositati in una cassa o in una scatola che attraverso convogliatori viene spostata da zona a zona. E' importante bilanciare i prelievi fatti nelle varie zone per non dare origine a fenomeni di collo di bottiglia e quindi a un rallentamento del flusso. Questo sistema è adatto in realtà in cui sono stoccate grandi quantità di articoli differenti,

in cui ci sia un alto numero di ordini da processare e in cui il numero di prelievi per area sia moderato. Questo tipo di prelievo costituisce una realtà nell'ambito della distribuzione del farmaco. In alcuni casi si affiancano aree in cui il prelievo viene fatto automaticamente a aree in cui il prelievo viene fatto manualmente.

Analizzando ciò che è presente in letteratura possono essere individuati due approcci alternativi.

- ✓ **Progressive Assembly.** Il primo [De Koster (2004), Jewkes and Vickson (2004)] suggerisce che, una volta suddiviso l'ordine in aree di competenza, il primo addetto deve iniziare il prelievo a magazzino e, una volta terminato il suo lavoro dovrà passare ciò che avrà prelevato fino a quel momento all'addetto della zona a lui più vicina per continuare con il completamento dell'ordine. Tale azione dovrà essere ripetuta fino a quando l'ordine non sarà completamente evaso. Questo approccio è anche chiamato *Pick-And-Pass* proprio perché si passa continuamente il materiale prelevato fino a quando si raggiunge l'ultimo addetto interessato e l'ordine viene consegnato al reparto spedizioni. In questo caso non è necessario alcun consolidamento finale poiché l'ordine viaggia compatto attraverso il magazzino completandosi a mano a mano che passa da un addetto all'altro, senza mai essere spezzato realmente.

Nell'immagine sottostante (figura 4.23) è mostrata una possibile schematizzazione della situazione citata.

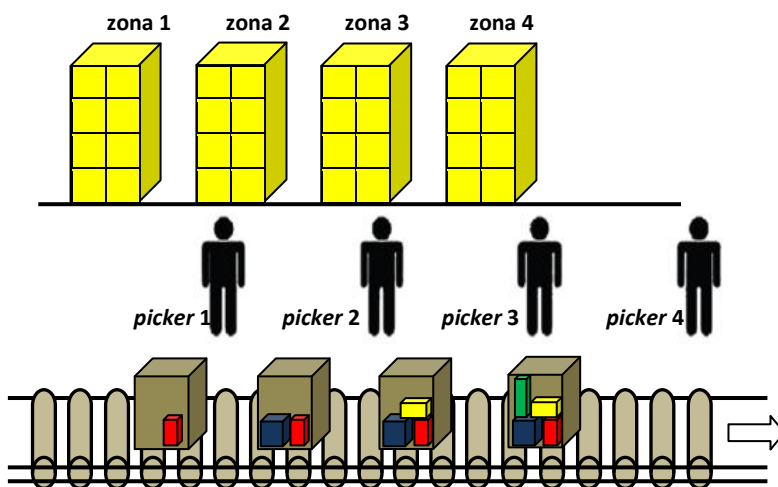
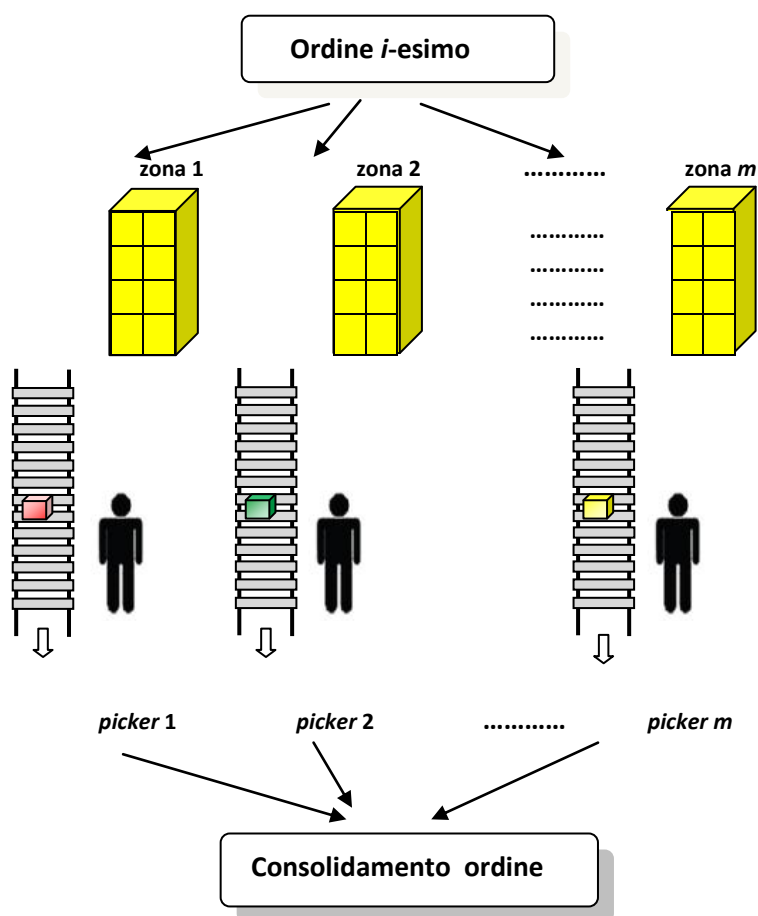


Figura 4.23 Strategia di prelievo *Sequential-Progressive*.

- ✓ **Parallel Assembly.** Il secondo approccio [Jane (2000), Jane and Lai (2005), Duc and De Koster (2005)] è anche detto *Synchronised Picking*: l'ordine viene diviso per zone come in precedenza, ma il prelievo da parte degli addetti ha inizio contemporaneamente in tutte le aree. In questo modo non c'è un passaggio di consegne tra gli addetti ma l'ordine viene evaso operando simultaneamente in tutte le aree del magazzino. Al termine delle operazioni di prelievo sarà quindi necessario un consolidamento finale che permetta di formare le udc relative all'ordine ricevuto.



**Figura 4.24** *Strategia di prelievo Simultaneous-Parallel.*

L'ottimizzazione di una strategia di questo tipo risiede poi in una valutazione corretta del numero di zone in cui suddividere l'area di stoccaggio, nonché del dimensionamento delle stesse. Inoltre, così come accade per le linee di produzione, è necessario un bilanciamento ottimo del carico di lavoro assegnato ad ogni addetto per evitare un carico di lavoro sovradimensionato per alcuni addetti che risulteranno quindi in ritardo rispetto agli altri inoperosi in attesa che si completi il prelievo in tutte le aree del magazzino.

Emerge pertanto, in letteratura la predisposizione ad abbinare questa politica a prelievi in batch poiché spesso, con una suddivisione del prelievo in aree di competenza, risulta conveniente aggregare più ordini per raggiungere un carico di lavoro adeguato per ogni addetto.

Nell'immagine sovrastante (figura 4.24) è mostrata una possibile schematizzazione della situazione citata.

Esiste una variante importante al *Progressive Assembly* chiamato *Bucket-Brigades* [Bartholdi and Eisenstein (1996), (2005); Bartholdi, et al (2001), Bartholdi and Hackman (2002)]. In questo caso fatta un'assegnazione iniziale delle aree ai diversi addetti si assisterà ad una variazione della dimensione delle stesse per venire incontro ad un eventuale bilanciamento errato del sistema. Data

una picking-list iniziale la politica del *Bucket-Brigades* ricalca quella del *Progressive Assembly* se non fosse per il modo in cui viene calcolato il momento in cui avviene il passaggio di consegne tra due addetti. Supposto che in un certo momento tutti gli operatori stiano prelevando referenze a magazzino, quando l'ultimo addetto ha terminato il suo lavoro consegnando l'ordine completo, questo ripercorrerà il magazzino nel verso opposto e quando troverà un addetto ancora impegnato nel suo lavoro prenderà il suo posto consentendogli di fare lo stesso con un altro addetto posto ancora più a monte. Ciò continuerà fino a quando il primo addetto verrà liberato e sarà in grado di prendere una nuova *picking-list* e iniziare i prelievi relativi ad un nuovo ordine. E' evidente, dopo quanto detto, che la determinazione delle aree è dinamica e non statica come in precedenza. Inoltre un sistema così strutturato tende a raggiungere naturalmente un equilibrio per quanto riguarda il carico di lavoro tra gli addetti evitando tra l'altro inutili tempi morti come nel *Parallel Assembly* visto in precedenza. In particolare è dimostrato che se ogni addetto è strettamente più veloce del suo predecessore si ottiene una convergenza del sistema che porta agli addetti ad avere una zona di competenza grosso modo stabile nel tempo e che una linea di questo tipo è in grado di garantire la miglior configurazione possibile e quindi il livello maggior di *throughput* tra tutte le scelte possibili.

- ***Picking massivo (Wave Picking)***

Questo tipo di prelievo rappresenta una variazione del picking a zone e del picking multiplo. In pratica più ordini vengono raccolti in un unico documento di prelievo. Il picker carica su un contenitore tutti i prodotti da prelevare non curandosi dell'associazione con il relativo ordine. Lo smistamento verrà fatto solo alla fine del processo da un sistema generalmente automatizzato di smistamento (*sorting*). Questo modello rispetto ai precedenti risulta avere il tempo di ciclo minore ed è quindi più veloce. Tuttavia, questa rapidità potrebbe risultare non conveniente se di contro il sistema di smistamento non sia efficace. Il Wave Picking potrebbe essere adatto nel caso in cui un numero di ordini fosse destinato a un magazzino periferico per il rifornimento di una determinata area geografica. In questo caso lo smistamento verrebbe effettuato nel magazzino periferico.

La tabella seguente presenta la sintesi dei modelli di picking utilizzati. I parametri di confronto sono il numero di ordini gestibili e il numero di articoli da prelevare per ordine. Il sistema più semplice è il *Basic Picking*, facilmente implementabile il quale non richiede l'adozione di sistemi di controllo particolari (ad es. la doppia lettura di un codice a barre). Il sistema ad alte prestazioni può essere il *Wave Picking*, in cui è necessario un efficiente sistema di smistamento a fine prelievo.

Modello di picking	Numero ordini gestibili	Numero prelievi per ordine
<b>Basic Picking</b>	Basso	Medio Basso
<b>Batch Picking</b>	Medio	Basso
<b>Zone Picking</b>	Medio Alto	Medio Basso
<b>Wave Picking</b>	Alto	Alto

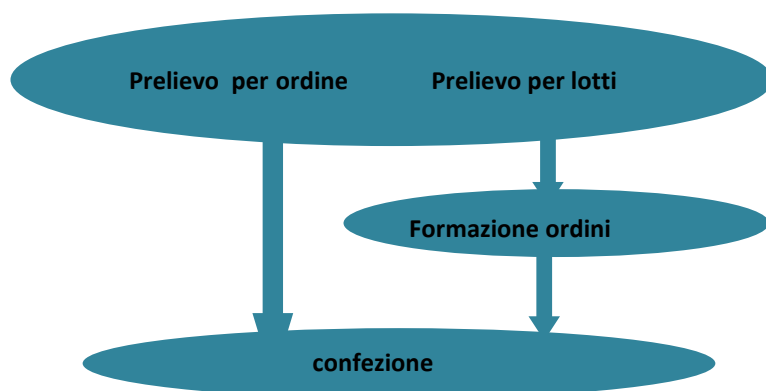
**Tabella 4.1: Sintesi delle caratteristiche dei modelli di picking**



Quindi alla fine delle operazioni di *picking* se il prelievo è eseguito per singolo ordine, è sufficiente inoltrare i materiali che compongono i vari ordini alla confezione finale. Se il prelievo è effettuato per lotti di ordini, occorre prevedere a valle del picking una operazione di formazione dei singoli ordini, con una procedura che prende il nome di *sventagliamento* (o *sorting*), attrezzando una specifica area di ricomposizione per lotti omogenei per singolo cliente (vedi fig. 4.25).

A parità di centro di distribuzione possono essere adottati contemporaneamente uno o più sistemi di prelievo, ma ogni sistema deve essere controllato nei suoi tempi operativi per verificarne l'efficacia sia in termini di tempo che di precisione nei prelievi.

- *Combinazione 1: zona – lotto.* In ciascuna zona vengono prelevate le righe (articoli) di un lotto di ordini.
- *Combinazione 2: zona – onda.* In ciascuna zona vengono prelevate le righe (articoli) di un ordine per volta più volte per turno.
- *Combinazione 3: zona - lotto – onda.* In ciascuna zona vengono prelevate le righe (articoli) di un lotto di ordini più volte per turno.



**Figura 4.25** La sequenza delle operazioni di picking

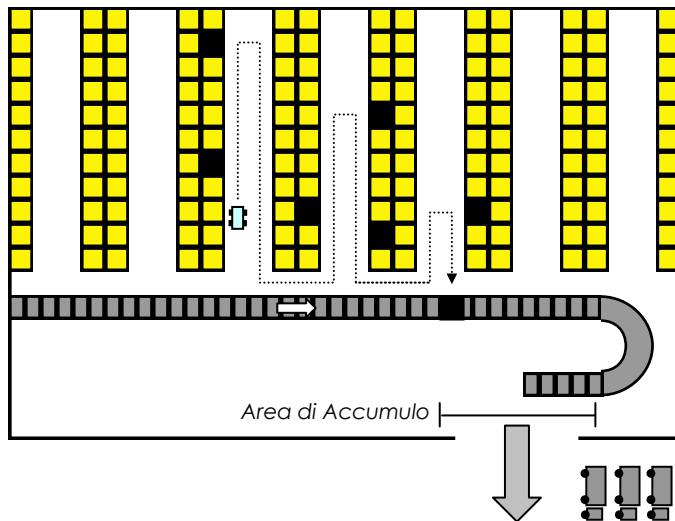
### 3.5.5 Dimensionamento dei lotti

Nei sistemi a prelievo di lotti, l'aggregazione degli ordini in lotti per il prelievo dal magazzino deve minimizzare il carico di lavoro complessivo, dato dalla somma dei tempi di movimentazione e di ordinamento, nel rispetto dei tempi di spedizione al cliente dei prodotti (*order batching*). A causa dell'estrema variabilità e della difficile prevedibilità dei tempi di prelievo, il problema deve essere risolto dinamicamente e pertanto rientra tra le decisioni di breve periodo. A livello tattico è possibile orientare le scelte operative valutando, con un semplice procedimento analitico, la dimensione media del lotto, ovvero il numero medio di ordini componenti un lotto (*order batch sizing*). Questo approccio viene di seguito illustrato facendo riferimento alla configurazione in figura 4.26, nella quale le partite sono prelevate da uno o più operatori e successivamente movimentate da un nastro trasportatore fino all'area di approntamento delle spedizioni.

Si indichi con:  $o$  il numero medio di ordini al giorno;  $u$  il numero medio di prodotti contenuti in un ordine;  $t_1$  la durata del circuito, percorso con uno dei veicoli utilizzati per la movimentazione, che

tocchi tutti i punti di stoccaggio;  $t_2$  il tempo di attraversamento a piedi dell'area di accumulo, dove le merci sono depositate per la formazione delle partite di spedizione.

Sia inoltre  $d$  una variabile decisionale rappresentativa del numero medio di ordini in un lotto.



**Figura 4.26** Sistema di prelievo a lotti in magazzino con nastro trasportatore

Nelle ipotesi che i prodotti siano distribuiti uniformemente e che i lotti si compongano di numerosi prodotti, il tempo speso per il prelievo di un lotto vale approssimativamente  $t_l$ . Essendo  $\frac{o}{d}$  il numero medio di lotti giornalieri, il tempo dedicato quotidianamente alle operazioni di prelievo è  $\frac{o t_l}{d}$ . Si può peraltro supporre che il tempo speso per la movimentazione dei prodotti nell'area di accumulo e per le operazioni di ordinamento valga  $\alpha o t_2 d$ , dove  $\alpha \in (0,1)$  è un opportuno fattore di scala determinato empiricamente oppure impiegando un modello di simulazione.

Si tratta quindi di risolvere il seguente problema:

$$\text{Min } \frac{o t_l}{d} + \alpha o t_2 d \quad (4.16)$$

s.v.

$$d \geq 0, \text{ intero}, \quad (4.17)$$

dove la funzione obiettivo (4.16) esprime il carico di lavoro quotidiano in funzione di  $d$ . La soluzione ottima del problema (4.16)-(4.17) si ottiene utilizzando la seguente procedura.

**PASSO 1** Si determina il minimo della funzione  $c(d) = \frac{o t_l}{d} + \alpha o t_2 d$ , ottenuto in corrispondenza del valore di  $d'$  che annulla la derivata prima di (4.16)

**PASSO 2**

Si pone  $d^* = \lfloor d' \rfloor$ , se  $c(\lfloor d' \rfloor) < c(\lceil d' \rceil)$ , altrimenti  $d^* = \lceil d' \rceil$ .

Ciò significa che  $d^*$  cresce all'aumentare dell'ampiezza dell'area di stoccaggio e decresce all'aumentare del numero medio di prodotti in un ordine.

La formazione dei lotti consiste nell'aggregazione di attività di prelievo e inserimento in "lotti" che possano essere eseguiti senza soluzione di continuità da un unico addetto. Nel caso più semplice, i

lotti possono essere creati aggregando  $d^*$  carichi consecutivi, dove  $d^*$  è la dimensione ottimale dei lotti determinata al passo 2 (politica del “primo arrivato-primo servito”, *first come-first served*).

### 3.6 Instradamento degli Addetti

La determinazione delle rotte di attraversamento del magazzino durante la fase di prelievo della merce rientra nell’ambito dei problemi di instradamento (*routing*),

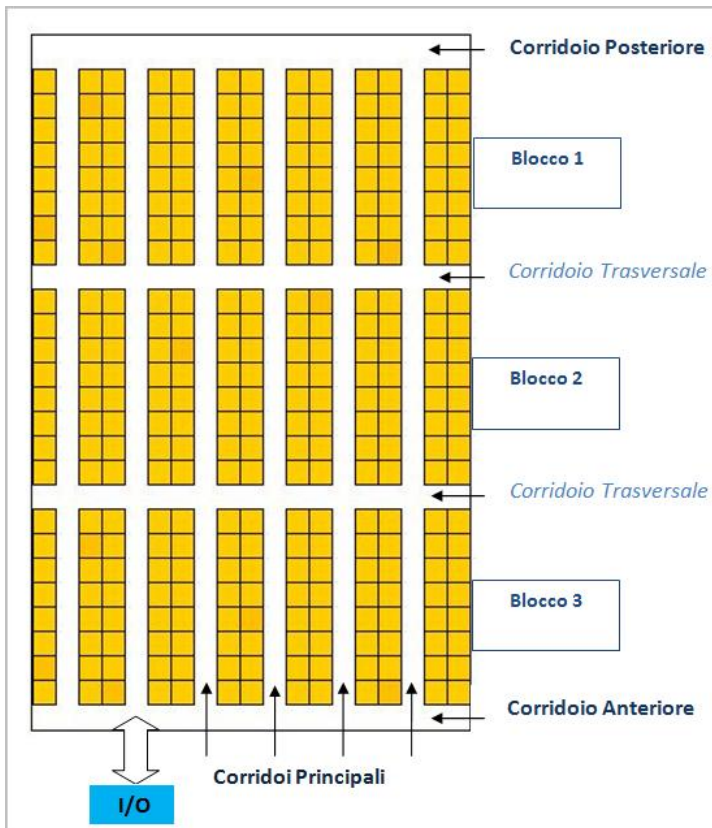
Se si vogliono ridurre i costi di *material handling*, come già detto in precedenza, si dovranno ridurre al minimo le distanze percorse per svolgere tali attività e scegliere il *routing* più adatto alla propria situazione. Ci sono infatti diverse strategie attuabili ma non tutte sono adatte ad ogni situazione. In particolare quello che qui si intende definire è la sequenza in cui verranno prelevate le merci da magazzino data una picking-list relativa a un ordine (o un batch) da evadere utilizzando possibilmente il percorso totale minore. Poiché il prelievo viene effettuato con movimentazione consecutiva di prodotti in quantità minori di una udc, il problema che qui si pone è in che ordine visitare i diversi *slot* al fine di formare l’udc richiesta dal cliente.

Se ogni singolo prelievo da magazzino interessasse udc intere si farebbe riferimento a diverse tecniche risolutive. In questo caso non ci sarebbe alcun tour ma, al contrario, l’addetto al prelievo effettuerebbe dei percorsi di tipo punto-punto, dovendo ogni volta spostarsi tra la zona di I/O e lo slot interessato al prelievo e viceversa. Dato che questo secondo contesto mette l’addetto nella situazione di dover visitare ogni slot partendo dallo stesso punto di partenza, è possibile perseguire l’ottimizzazione dei tempi di prelievo collocando i prodotti maggiormente richiesti il più vicino possibile al punto di I/O seguendo le politiche di posizionamento dei prodotti a magazzino esposte in precedenza. Detto ciò, si capisce come tale situazione non risulta influenzata dalle scelte fatte in tema di *routing*; pertanto l’attenzione sarà centrata sulla prima delle due situazioni citate.

Innanzitutto bisogna sottolineare che un tale problema di ottimizzazione dipende fortemente dalla caratteristica strutturale del centro di distribuzione (o magazzino) in esame. Un *layout* di base (figura 4.27) può essere considerato composto dai seguenti elementi:

- *insieme di blocchi*, da 1 a  $n$  (con la convenzione che il blocco 1 è quello più distante dal punto di I/O mentre il blocco  $n$  è quello più vicino);
- *corridoi principali*: sono le vie che collegano tra loro due diversi blocchi (le celle di stoccaggio sono situati su entrambi i lati di ogni corridoio di *picking*);
- *corridoi trasversali*: sono le vie presenti tra ogni coppia di blocchi usate per andare da un corridoio principale ad un altro oppure da un blocco al successivo;
- *corridoio posteriore*: è il corridoio trasversale in corrispondenza del blocco 1;
- *corridoio anteriore*: è il corridoio trasversale in corrispondenza del blocco  $n$ .

In letteratura la maggior parte degli autori [Roodenberg and Koster (2001)] basa la propria analisi su un magazzino formato da un solo blocco (*Basic Warehouse Layout (BWL)*). E’ comunque presente qualche tentativo di estendere le analisi e le strategie a layout diversi.



**Figura 4.27: Layout di magazzino multi blocco**

Questa scelta risulta essere per molti aspetti la più vantaggiosa ma, poiché l'implementazione delle diverse strategie di *routing* risulta essere più complessa rispetto al caso che non prevede tale corridoio (pur mantenendo le stesse logiche di fondo, la possibilità di cambiare direzione imboccando il corridoio trasversale aggiuntivo apporta non poche complicazioni agli algoritmi utilizzati: in questo caso lo spostamento trasversale comprende ovviamente anche questo corridoio), la trattazione successiva si baserà sulla configurazione *BWL*.

Nel caso in cui le operazioni di movimentazione siano eseguibili da un unico addetto, il problema è schematizzabile come una particolare istanza del problema del Commesso Viaggiatore (*travelling salesman problem*, TSP) [Lawler et al (1995)]. Il TSP è notoriamente un problema *NP*-difficile, appartiene cioè ad una classe di problemi per i quali non è mai stato ottenuto un algoritmo in grado di fornire la soluzione ottima in tempi di calcolo polinomiali. Ma, nel caso dei centri di distribuzione, è spesso risolvibile in tempo polinomiale grazie alla particolare sequenza di "visita" dei nodi che costituisce il circuito di collegamenti nella zona di stoccaggio.

Nel caso considerato l'addetto parte dal punto I/O dove riceve la sua *picking-list*, deve in seguito visitare tutti gli slot contenenti le merci indicate dalla lista e tornare al punto di partenza. Ci sono però, rispetto a classico TSP, alcune differenze. Innanzi tutto ci saranno nodi che non necessariamente dovranno essere visitati e, in secondo luogo, sarà permesso all'addetto di visitare lo stesso nodo più di una volta cosa invece che non è ammessa nel TSP. Malgrado le difficoltà crescenti dovute a questi due aspetti, la problematica sopra esposta, è risolta in letteratura attraverso

due strategie differenti. La prima prevede l'utilizzo di procedure di tipo euristico [Petersen II (1995), (1997), (1999), Petersen II and Schmenner (1999), Hall (1993)], che portano a un risultato sub-ottimo ma più semplice da gestire una volta messo in pratica. La seconda prevede invece l'utilizzo di un algoritmo che, sotto determinate condizioni, genera il miglior percorso possibile anche se più complesso dal punto di vista dell'implementazione [Ratliff and Rosenthal (1983), Roodenberg and Koster (2001)]. Questi metodi basandosi sulla distanza percorsa e non sul tempo per completare la *picking-list* forniscono una soluzione indipendente dal tipo di mezzo utilizzato. Qualora si ragionasse in termini di tempo il gap tra una soluzione e l'altra varierebbe infatti al variare della natura del mezzo di movimentazione impiegato.

Inoltre come detto in precedenza il *picking-time* non comprende solamente il tempo necessario agli spostamenti ma anche il tempo necessario alla ricerca delle merci, al prelievo fisico della quantità corretta dalla scaffalatura e, ad esempio, il tempo necessario per posizionare in modo sicuro i prodotti sul mezzo. Le diverse strategie, messe a confronto in contesti diversi, permettono di evidenziare come il risparmio ottenibile dalla scelta della politica di *routing* più idonea alla situazione esaminata sia notevole. Nonostante ciò la maggior parte delle aziende continua a non dedicare grande attenzione a questa problematica preferendo lasciare al buon senso dell'addetto la scelta da fare di volta in volta o attuando una strategia più semplice (di solito *S-shape* o metodo trasversale).

Risulta evidente, dalle considerazioni appena esposte, come vi sia una certa discrepanza tra ciò che viene realmente messo in pratica all'interno di numerose realtà aziendali e quello che emerge in letteratura. Questo scollamento può essere ricondotto a diversi motivi. In primo luogo l'algoritmo ottimo non è disponibile per ogni tipo di layout ma è applicabile solo sotto specifiche condizioni. Secondariamente è bene sottolineare che spesso la sequenza di prelievo che scaturisce può sembrare illogica e di difficile comprensione da parte degli addetti, i quali tendono dopo un po' a discostarsi da quanto prescritto dall'algoritmo ottimo e a muoversi in maniera autonoma. Infine vi è un aspetto a dir la verità poco considerato in letteratura ma che pone un vincolo reale non trascurabile: l'algoritmo ottimo non tiene per nulla in considerazione la possibile congestione dei corridoi di prelievo, cioè l'incremento del traffico all'interno dei corridoi che va ad intaccare l'efficienza degli addetti. Al contrario questo problema può essere considerato attraverso l'utilizzo dei metodi euristici ed è possibile quantomeno limitarne gli effetti dannosi.

Per questo motivo la comunità scientifica ha dedicato negli ultimi quattro decenni (e continua tuttora a dedicare) un rilevante sforzo al fine di definire procedure euristiche in grado di fornire soluzioni di buona qualità con tempi di calcolo contenuti.

#### **4.6.1 Approcci risolutivi**

Il problema di instradamento, introdotto nella sezione precedente, può essere formulato attraverso uno specifico modello di ottimizzazione risolvibile tramite un algoritmo di programmazione dinamica. All'aumentare, però, del numero di punti di stoccaggio da visitare, il tempo richiesto da un tale algoritmo aumenta considerevolmente e la ricerca della soluzione esatta diventa impraticabile.

Per tale ragione, si ricorre all'utilizzo di apposite procedure euristiche in grado di determinare soluzioni sub-ottime in tempi di calcolo accettabili.

In generale, una procedura euristica è caratterizzata da:

- tempi di esecuzione che non crescono troppo rapidamente rispetto alla dimensione del problema (polinomiali con esponente non troppo elevato e non esponenziali);
- raggiungimento di soluzioni vicine a quelle ottime.

Essendo le due proprietà tra loro in conflitto, la progettazione di una procedura euristica è il risultato di un compromesso tra due esigenze contrastanti che riguardano la qualità della soluzione ottenuta e la rapidità di convergenza dell'algoritmo.

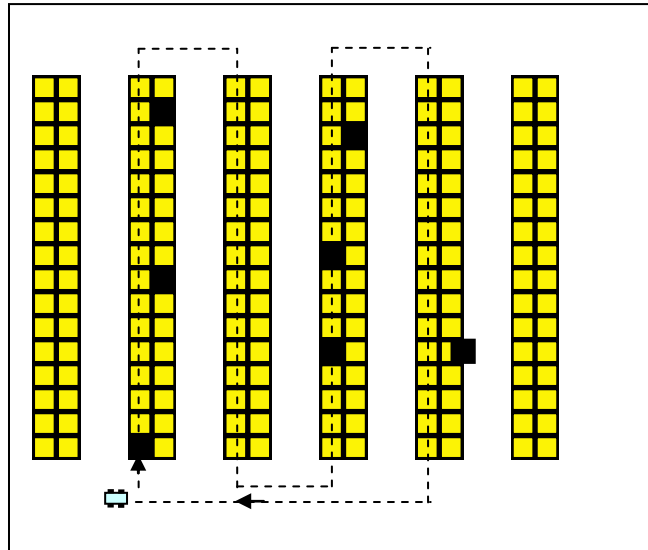
#### ✓ **Metodi euristici**

Per semplicità di esposizione, l'approccio verrà illustrato nel seguito facendo riferimento ad una zona di stoccaggio dove ciascun corridoio laterale possiede un'apertura inferiore ed una superiore.

Di seguito si analizzeranno le euristiche per il problema di *Order Picking*, che trovano riscontro sia nella letteratura scientifica sia in numerosi casi di studio.

- 1) L'euristica *S-Shape o Traversal* [Petersen II, C.G., (1997), (1999), Petersen II and Schmenner (1999), Hall (1993)], denominata anche strategia di attraversamento trasversale, si basa sull'idea generale che la visita delle posizioni di stoccaggio interessate da prelievi/immissioni deve avvenire blocco per blocco, iniziando dal blocco iniziale (o dal primo blocco contenente posizioni di stoccaggio da visitare), avvicinandosi verso il blocco finale (il blocco più vicino alla posizione di I/O). La visita delle posizioni di stoccaggio di ciascun blocco avviene secondo una rotta a forma di "S" (da cui il nome del metodo), ad iniziare dal corridoio principale più a sinistra o più a destra contenente posizioni di stoccaggio da visitare. L'adozione di questa strategia porta ad un tragitto in cui i corridoi di prelievo, sono percorsi in tutta la loro interezza, iniziando dal primo blocco contenente posizioni di stoccaggio da visitare, ed avvicinandosi mano a mano verso il blocco più vicino alla posizione I/O. Al contrario i corridoi dove non è allocato nessun prodotto facente parte della picking-list oggetto dei prelievi non vengono affrontati dagli addetti, che passano direttamente a quelli successivi. In questo modo il percorso viene ad assumere la caratteristica forma a "S" da cui il nome S-Shape. L'addetto al prelievo si incammina in un corridoio di prelievo entrando dal corridoio di testa o da quello di coda e ne esce dalla parte opposta senza mai invertire la direzione. All'interno di ogni corridoio di prelievo attraversato, l'addetto preleva i prodotti facenti parte della picking-list che si trovano sia alla sua destra che alla sua sinistra. Dopo aver prelevato l'ultimo prodotto inserito nella lista di prelievo l'addetto si dirige verso il punto di I/O da cui era partito e solo in questa fase gli è consentito di invertire il senso di marcia all'interno di un corridoio. Come pare evidente questa strategia è estremamente semplice da attuare e questo fa di lei quella che riscuote, all'interno delle diverse realtà, il maggior successo. Nella figura seguente (figura 4.28) è mostrato come vengono selezionati i corridoi da visitare in accordo con la strategia appena descritta (le posizioni di stoccaggio di colore scuro corrispondono ai punti di prelievo e/o inserimento).

La politica di *routing S-shape* risulta inoltre particolarmente indicata qualora il magazzino considerato sia caratterizzato da un traffico elevato e dal rischio di congestione dei corridoi di prelievo più visitati.

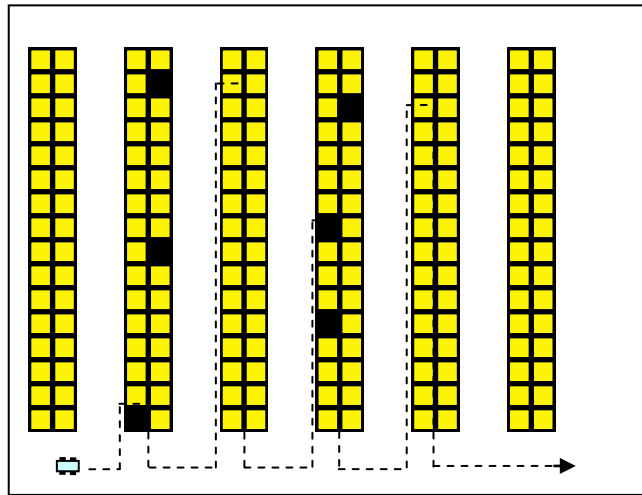


**Figura 4.28** Instradamento di un addetto secondo la *S-shape strategy* in un'area di stoccaggio con corridoi laterali aventi due punti di accesso.

Infatti la prescrizione che impone di attraversare interamente i corridoi visitati permette di evitare ingombranti manovre di inversione del senso di marcia, che potrebbero intralciare altri addetti. Ovviamente la larghezza dei corridoi deve essere comunque tale da permettere la circolazione in entrambi i sensi di marcia poiché nel caso in cui un addetto sia costretto a percorrere per intero tutti i corridoi mentre un altro, in mancanza di prodotti da prelevare su uno di essi, ne salti uno, questi si troverebbero a percorrere almeno un corridoio in senso inverso. Questa strategia risulta inoltre essere tanto più performante quanto maggiore è la densità di prelievo per ogni corridoio. In altre parole più ampia è la *picking-list*, maggiore sarà il numero di prodotti allocati in ciascun corridoio e quindi anche la densità di prelievo per corridoio. Ciò fa sì che la probabilità di dover percorrere il corridoio per intero o quasi, sia, indipendentemente dalla strategia utilizzata, molto elevata e quindi saranno minori le differenze con le altre strategie. A questo punto la sua semplicità d'implementazione la farebbe preferire alle altre.

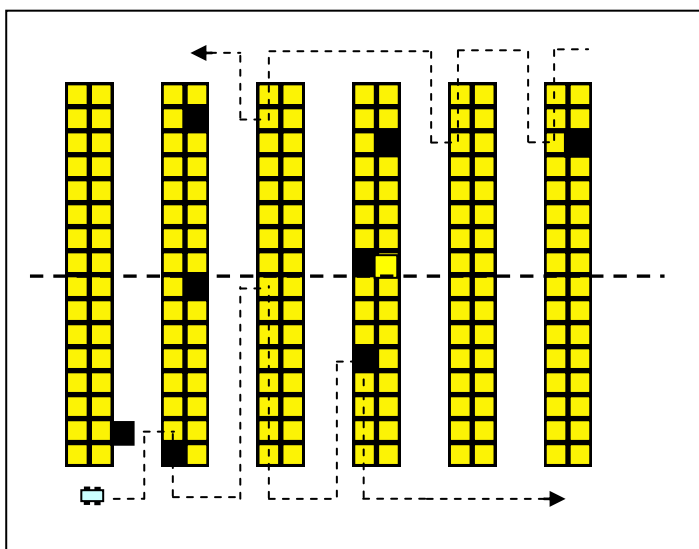
- 2) Euristiche *Return* [Petersen II (1999), Petersen II and Schmenner (1999), Hall (1993)]: anche l'implementazione di questa strategia è estremamente semplice e trova un riscontro concreto nelle realtà aziendali. Come è possibile intuire questa soluzione prende il suo nome dal comportamento imposto agli addetti all'interno di ogni corridoio una volta prelevato l'ultimo prodotto in esso allocato. Gli addetti infatti, come nel caso precedente, partendo dal punto di I/O, una volta recatisi all'estrema sinistra del magazzino, devono addentrarsi nel primo corridoio contenente prodotti presenti all'interno della *picking-list*, percorrerlo in profondità fino a quando non raggiungono l'ultimo prodotto in esso allocato, presente sulla lista di prelievo a loro affidata e, una volta prelevatolo, invertire la marcia e ritornare dalla direzione da dove sono venuti. Una volta fatto ciò ripetono il procedimento facendo attenzione, come nel caso precedente, ad evitare quei corridoi che non contengono alcun prodotto di loro interesse. Questo tipo di comportamento è rappresentato nella figura 4.29.

E' bene sottolineare che, così come la strategia precedente fosse probabilmente la più adatta in caso di possibile traffico lungo i corridoi, questa strategia al contrario è sconsigliabile poiché impone una manovra per ogni addetto in ogni corridoio imboccato rischiando di rallentare pesantemente il flusso dei prelievi.



**Figura 4.29** Instradamento di un addetto secondo la *Return strategy*.

3) Euristicia *Mid-point* [Petersen II (1997), Petersen II and Schmenner (1999), Hall (1993)]: questa strategia, pur non risultando in fase di implementazione particolarmente difficile, risulta tuttavia più complicata di quelle finora descritte. In questo caso è richiesto all'addetto di valutare la sua posizione al termine di ogni prelievo e, nel caso in cui il prodotto successivo da prelevare allocato nel corridoio appena imboccato si trovi oltre la linea immaginaria che divide a metà i corridoi e quindi l'intera area di stoccaggio, dovrà invertire il senso di marcia e tornare all'inizio del corridoio.



**Figura 4.30** Instradamento di un addetto secondo la *Midpoint strategy*.



Ovviamente come nei casi precedenti il tour inizierà sempre dal punto I/O, ci si dovrà portare all'estrema sinistra del magazzino prima di entrare nel primo corridoio e dovranno essere imboccati solamente quei corridoi contenenti prodotti facenti parte della *picking-list*. Una volta terminato il corridoio di testa (a cui si ritorna sempre invertendo il senso di marcia prima della metà del corridoio) o quanto meno una volta giunti fino all'ultimo corridoio di prelievo contenente prodotti da prelevare, si dovrà attraversare il magazzino longitudinalmente fino al corridoio di coda posto dalla parte opposta. Qui andrà ripetuta la strategia messa in atto sino a questo momento e fintanto che vi saranno prodotti da prelevare, dopodiché ci si riporterà al punto di I/O (figura 4.30).

Come nel caso precedente, o forse ancora più marcatamente, lo scorrere fluente dei mezzi non è favorito dalle continue inversioni imposte agli addetti per seguire le istruzioni sopra citate.

4) Euristiche *Largest Gap* [Petersen II (1997), (1999), Petersen II and Schmenner (1999), Hall (1993)]: questa strategia presenta una difficoltà di implementazione superiore rispetto a quelle finora esposte e necessita solitamente, per essere posta in essere, di un adeguato supporto informatico.

La differenza, rispetto all'*S-Shape*, consiste nel fatto che, i sottocorridoi principali di ciascun blocco sono visitati fino ad un certo punto (corrispondente ad un punto di stoccaggio da visitare) per poi fare ritorno al punto di ingresso. Per determinare il punto di ritorno della rotta da seguire in ciascun sottocorridoio principale, è necessario, per ciascuno di essi, determinare la distanza massima (*largest gap*) tra due punti adiacenti di stoccaggio da visitare, oppure tra il corridoio laterale e un punto di stoccaggio da visitare. Tale distanza massima corrisponde alla porzione di sottocorridoio principale che non sarà visitato.

Inoltre il primo e l'ultimo corridoio di prelievo saranno percorsi per intero poiché sarà necessario portarsi da una parte all'altra del magazzino. Infatti, come nella politica precedente, è prevista un'inversione di marcia in ogni corridoio. Questo fa sì che la politica in esame sia adatta soprattutto nei casi in cui i corridoi sono caratterizzati da una bassa densità di prelievi e quindi l'entità del *Largest Gap* può essere importante. Valgono inoltre le stesse regole dei casi precedenti cioè l'inizio del percorso e la fine dello stesso sono nel punto di I/O, ci si porta all'estrema sinistra del magazzino prima di partire con il tour e i corridoi senza prodotti interessati dalla *picking-list* vanno saltati.

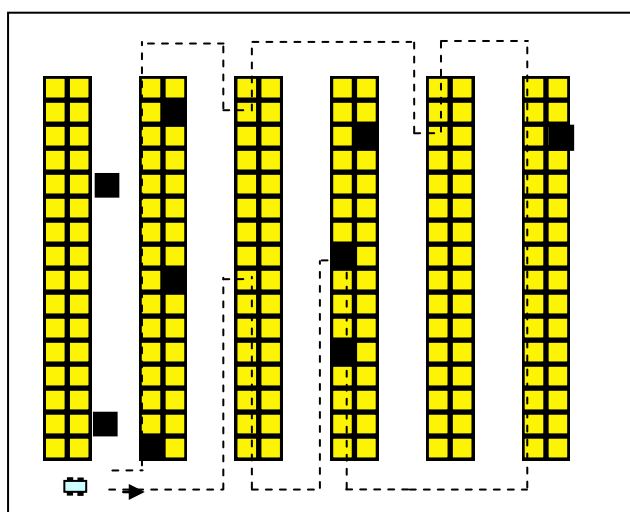


Figura 4.31 Instradamento di un addetto secondo la *Largest Gap* strategy.

Vi sono infine i soliti problemi legati al traffico interno ai corridoi.

In figura 4.31 è mostrato che percorso seguirebbe un addetto se attenga alle direttive appena esposte. Tra le strategie esposte finora questa è sicuramente quella che ottiene i migliori risultati, soprattutto in presenza di una bassa densità di prelievo per ogni corridoio. Tuttavia è bene sottolineare che non esiste una strategia migliore delle altre in assoluto poiché l'interazione di questa con altre scelte organizzative (ad esempio diverse *storage policies* o *batch-size*) o diversi *layout* (ad esempio un diverso numero di corridoi o fattore di forma) può portare a risultati differenti da quelli presentati in letteratura.

5) Euristica ibrida o *Composit Strategy* [Petersen II (1995), (1997), (1999), Petersen II and Schmenner (1999)]: questa soluzione può essere considerata un ibrido tra le strategie *Return* e *S-Shape*. L'obiettivo della Strategia Combinata è quello di minimizzare la distanza percorsa tra i prelievi più distanti all'interno di due corridoi adiacenti. I corridoi di ciascun blocco sono visitati in maniera sequenziale, procedendo o da sinistra verso destra o da destra verso sinistra.

In maniera del tutto analoga all'euristica *S-Shape* e a quella *Largest Gap*, la rotta inizia dal punto di I/O e procede verso il corridoio principale più vicino che contiene almeno una posizione di *picking*. La traiettoria percorsa dall'addetto, in ciascun blocco, è determinata in maniera esatta risolvendo un problema di programmazione dinamica *ad hoc*.

La rotta complessiva che l'addetto percorrerà sarà quindi la "composizione" delle singole sotto-rotte individuate e determinate dai sotto-problemi di programmazione dinamica risolti.

Le singole sotto-rotte sono fra loro collegate in maniera tale da minimizzare la distanza percorsa nei corridoi trasversali.

Partendo per semplicità d'esposizione dal primo corridoio a sinistra, una volta prelevati (qualora ci siano) tutti gli *items* qui allocati, si dovrà valutare la convenienza a proseguire lungo tale corridoio e dirigersi verso il secondo imboccando il corridoio di coda, o invertire il senso di percorrenza, tornare al corridoio di testa, e da lì imboccare il secondo corridoio.

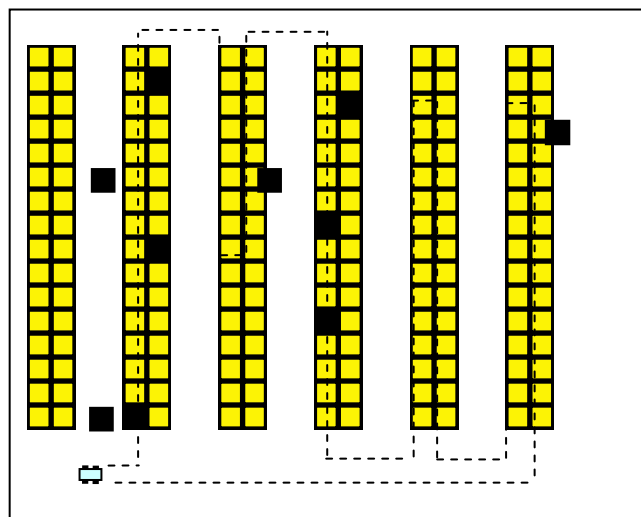


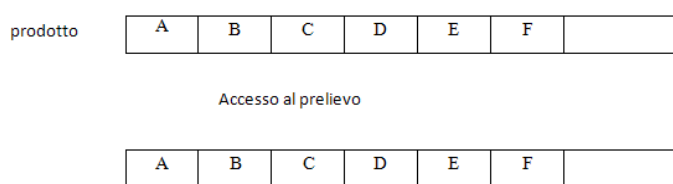
Figura 4.32 Instradamento di un addetto secondo la *Composit strategy*.

Tale ragionamento andrà applicato per ogni coppia di corridoi, valutando, ogni qual volta si è raggiunto l'ultimo prodotto contenuto in un corridoio e facente parte la *picking-list*, le due diverse possibilità di volta in volta: continuare lungo il corridoio o invertire il senso di percorrenza. Una volta prelevato l'ultimo prodotto della *picking-list* si deve raggiungere il corridoio di testa (continuando nella stessa direzione o invertendo il senso di marcia se ci si sta dirigendo verso il corridoio di coda) e raggiungere il punto di I/O da cui si era partiti. Facendo riferimento alla figura 4.32, è possibile vedere come lungo la prima corsia il prelievo più distante dal corridoio di testa sia posto nell'undicesimo vano, esattamente come accade per il secondo, sempre con riferimento al corridoio di testa. Qui andrà valutata la scelta esposta in precedenza e, in questo caso, è stato preferibile mantenere la direzione, accostandosi quindi ad una strategia di tipo trasversale. Tale scelta ha comportato un risparmio di percorso pari a 8 slot: seguendo tale strategia si è passati vicino a 25 slot (più un cambio di corridoio) contro i 33 del caso *Return* (sempre con un cambio di corridoio).

Come il caso precedente anche questa situazione risulta di difficile attuazione da parte degli addetti se non sostenuti da un supporto informatico che generi la sequenza di prodotti corretta. Questa strategia infatti viene ad assumere i tratti di una programmazione dinamica.

Per quanto riguarda i rischi di intasamento legati al traffico si può dire che vengono in qualche modo mitigati poiché non è obbligatorio effettuare manovre all'interno del corridoio per invertire la direzione ma, in ogni caso, tali problemi sussistono.

La congestione di traffico che può verificarsi quando più addetti stanno effettuando contemporaneamente le operazioni di prelievo, può essere ridotta assicurando sul fronte dello scaffale un numero adeguato di vani di prelievo, possibilmente più numerosi per gli articoli con maggiore frequenza di prelievo. Il traffico può essere ulteriormente ridotto mantenendo separati questi vani, ossia, sistemandoli in posizioni non adiacenti oppure disponendo un doppio fronte di prelievo (figura 4.33).



**Figura 4.33 Scaffalatura con doppio fronte di prelievo**

Le difficoltà di traffico si determina quando una corsia contiene prodotti a rotazione veloce, quindi con un'elevata frequenza di prelievo e un elevato tasso di ripristino. La separazione fra la zona di prelievo e quella di stoccaggio consente di ridurre il traffico, in particolare quando si tratta dei prodotti a maggiore richiesta. Per raggiungere questo risultato si può allestire l'area di stoccaggio con file di scaffali semplici, alternando corsie di prelievo e corsie di ripristino.

Si tratta di un compromesso fra l'esigenza di ridurre il traffico e quella di ottenere una buona utilizzazione delle superfici, compromesso che va applicato soltanto ai prodotti che ruotano velocemente, ma che non può essere esteso a tutto l'assortimento.

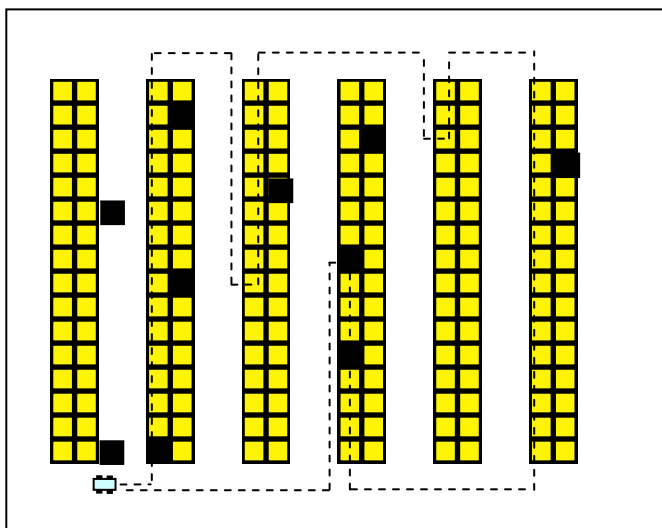
Un altro modo per mantenere separata la zona di prelievo da quella di ripristino, applicabile sempre ai prodotti a rotazione veloce, consiste nell'impiego degli scaffali dinamici. Quando si preleva un pallet o un collo, il successivo avanza per gravità e lo rimpiazza. Questo sistema deve sempre prevedere una modalità per rimuovere i pallet o i colli vuoti.

La separazione più o meno netta tra l'attività di prelievo e quella di ripristino può essere quella ottenuta istituendo turni di lavoro distinti, o sovrapposti, per gli addetti al ripristino e i preparatori.

✓ **Metodo basato su algoritmo ottimo.**

Questa strategia, altrimenti detta *Metodo di Ratliff e Rosenthal* [Ratliff and Rosenthal (1983)], suggerisce un algoritmo basato su una programmazione dinamica polinomiale che porta, sotto certe condizioni, alla soluzione ottima, e quindi al minor percorso possibile. Tali condizioni sono: corridoi posti perpendicolarmente rispetto ai corridoi di testa e coda, di larghezza tale da permettere il prelievo in entrambe le scaffalature affacciate senza movimenti accessori (non estremamente largo ma tale comunque da permettere l'inversione di marcia qualora si decidesse di non percorrere per intero il corridoio) e di lunghezza identica, una sola postazione di I/O (centrale o laterale al magazzino, non ha importanza) e allocazione delle merci a magazzino data come dato iniziale. Questo algoritmo è in grado di calcolare il percorso più breve indipendentemente dal layout e dalla collocazione dei prodotti. In generale si può affermare che la sequenza ottima assume un aspetto intermedio tra una strategia *S-Shape* e un *Largest Gap*.

Qui di seguito (figura 4.34) è mostrato un esempio di quale sarebbe il percorso seguito applicando l'algoritmo ottimo.



**Figura 4.34** Instradamento di un addetto secondo il Metodo di Ratliff e Rosenthal.

Come possiamo notare il percorso ottimo all'inizio segue le logiche *S-Shape* attraversando per interno il primo corridoio, la logica *Return* per il secondo corridoio, poi viene evitato il terzo seguendo le logiche *Largest Gap* (infatti la distanza maggior è quella che va dal corridoio di coda fino al prodotto allocato e quindi tale tratto non viene percorso). Tornato poi verso la corsia di testa attraverso l'ultimo corridoio vengono prelevati i prodotti rimanenti prima di tornare definitivamente al punto di I/O. Analizzando il percorso ottimo risultante si può notare che i corridoi non vengono percorsi in ordine (l'ordine di percorrenza è infatti 1, 2, 4, 5, 3) e questo può generare confusione negli addetti. Quest'ultimo aspetto non era presente in nessuna delle strategie euristiche esaminate fino ad ora dove, come si può notare, i corridoi sono percorsi in sequenza. Adottando tali strategie quindi non si otterrà l'ottimo assoluto ma le inefficienze verranno ridotte e diminuirà anche il rischio di errori.

Infine è bene sottolineare di nuovo come vi sia una grande interdipendenza tra le strategie qui esposte e una eventuale variazione delle scelte strategico-organizzative fatte a monte di questa. Vi sono a questo proposito numerosi lavori che trattano, ad esempio, le relazioni esistenti tra una suddivisione del prelievo in zone (aumentando o diminuendo la loro dimensione), valutando l'eventualità di suddividere l'intera area in *Forward-Reserve Areas* e considerando variazioni nelle dimensione delle *picking-list* (batch di dimensioni maggiori), nelle politiche di prelievo, nelle scelte di *Routing* e nella configurazione del magazzino [Caron et al (2000), Petersen II (1997), (1999), (2002), Petersen II and Schmenner (1999), Hall (1993), Petersen et al (2004), Petersen and Aase (2004), Duc and De Koster (2007), Hsieh and Tsai (2006)]. Se ne deduce che vi sono abbinamenti particolari che possono portare vantaggi e riduzioni notevoli del percorso medio necessario al completamento dell'ordine. E' da dire, inoltre, che l'adozione di uno di essi non esclude la possibilità di utilizzarne anche altri. Ciò significa che nelle aziende è opportuno valutare anche il loro mix, dedicando per alcune tipologie di prodotti o per un magazzino in particolare (materie prime, semilavorati o prodotti finiti) un modello e per il resto dei magazzini in azienda un altro modello, scegliendo sulla base delle loro caratteristiche quello più appropriato.

### **3.7 Problemi di *scheduling***

La teoria dello *scheduling* è un grosso capitolo della ricerca operativa, estremamente ampio ed articolato, con risultati consolidati relativamente a modelli, algoritmi e complessità, e al tempo stesso in continua evoluzione a causa dei numerosi problemi aperti che stimolano tuttora la ricerca.

Un problema di *scheduling* può essere definito come "l'allocazione, soggetta a vincoli, di alcune risorse ad un insieme di attività nello spazio-tempo, in modo da minimizzare un dato costo", [Petrovic, 2002].

I problemi di *scheduling* costituiscono una vasta classe di problemi di ottimizzazione, spesso molto complessi di classe *NP-hard* (cioè risolvibili in tempo polinomiale *non deterministicamente*), e di utilità in svariati campi applicativi. Gli elementi essenziali sono: le risorse, i lavori e gli obiettivi. Le risorse sono caratterizzate tipicamente in termini delle loro capacità sia qualitative che quantitative;

ogni lavoro è invece descritto da informazioni che riguardano i tempi di esecuzione, di inizio e di consegna.

Obiettivo generale di un problema di *scheduling*, è migliorare l'efficienza del sistema operativo valutando le seguenti caratteristiche del sistema: equità nella distribuzione della CPU (coda dei processi pronti), controllo delle politiche messe in atto, bilanciamento nel carico di lavoro del sistema, utilizzo costante della CPU.

Più in dettaglio alcuni degli obiettivi più comuni dello *scheduling* riguardano il miglioramento di una determinata quantità, che può essere:

- massimo utilizzo di CPU;
- massimo *throughput*, inteso come il numero di processi che completano la loro esecuzione nell'unità di tempo;
- minimo tempo di completamento, ossia il tempo medio di esecuzione di un processo (comprese le attese);
- minimo tempo di attesa, ossia il tempo speso dal processo in attesa nella *ready queue*.
- minimo tempo di risposta, ossia il tempo che intercorre tra la sottomissione di una richiesta e la prima risposta prodotta.

In questa sezione, saranno classificati i vari problemi di *scheduling*, seguendo la notazione utilizzata da Graham, Lawler, Lenstra, e Rinnooy Kan (1979).

Supponiamo che  $m$  macchine  $M_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ), debbano processare  $n$  lavori  $J_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ). Un'allocazione di uno o più intervalli di tempo su una o più macchine, per ogni lavoro, (ossia una soluzione di un problema di *scheduling*), è comunemente detto *schedule*. Uno *schedule* si dice:

- *ammissibile (feasible)*: se rispetta tutti i vincoli del problema. Ad esempio: una stessa macchina non può eseguire due job contemporaneamente, uno stesso job non può essere eseguito da due macchine contemporaneamente, un job non può essere interrotto (tranne che nei problemi *preemptive*), eventuali precedenze devono essere rispettate.
- *attivo*: se la sequenza di elaborazione dei job è tale che, se una qualsiasi operazione fosse anticipata, andrebbe a ritardare una qualche altra operazione o a violare i vincoli.
- *non-delay*: nessuna macchina è lasciata inattiva quando potrebbe iniziare una qualche operazione.
- *ottimale se minimizza (o massimizza) un dato criterio*.

In dettaglio, per ogni lavoro  $J_j$  possiamo definire le seguenti caratteristiche:

- *Tempo di processamento*  $p_{ij}$ : rappresenta il tempo necessario al completamento del job  $i$ -esimo sulla  $j$ -esima macchina.
- *Tempo di rilascio ("release date" o "ready time")*  $r_j$ : indica l'istante di tempo (rispetto a un tempo iniziale) prima del quale non è possibile iniziare l'esecuzione del job  $j$ -esimo.
- *funzione costo* reale non decrescente  $f_j$ , che misura il costo  $f(t)_j$  dovuto al completamento del lavoro  $J_j$  all'istante  $t$ ;
- *Tempo di consegna ("due date")*  $d_j$ : indica l'istante di tempo (rispetto a un tempo iniziale) entro il quale l'esecuzione del  $j$ -esimo job dovrebbe essere terminata. In genere, la violazione di un tempo di consegna comporta dei costi.

- *Peso*  $w_j$ : è un valore associato ad ogni job e rappresenta l'importanza relativa di un job rispetto agli altri; ad esempio, può rappresentare il costo di tenere il job nel sistema.

Oltre alle caratteristiche relative ai jobs, è necessario considerare anche quelle relative al sistema nel quale essi si trovano ad interagire. A tal proposito è utile ricordare che esiste una grande varietà di architetture di sistemi, che differiscono per numero di macchine e per l'ordine con cui i job vengono eseguiti.

In letteratura, per distinguere e classificare le varie tipologie di problemi di scheduling si usa la classica notazione a tre campi  $\alpha | \beta | \gamma$ , dove  $\alpha$  rappresenta il numero di macchine,  $\beta$  descrive le caratteristiche dei lavori, e  $\gamma$  il criterio da ottimizzare o funzione obiettivo.

Il primo campo  $\alpha = \alpha_1 \alpha_2$  specifica le caratteristiche delle macchine. Sia  $o$  il simbolo vuoto. Se  $\alpha_1 \in \{o, P, Q, R\}$  ogni lavoro  $J_j$  è composto da una singola operazione, che può essere processata su ogni macchina  $M_i$ , e più precisamente:

$\alpha_1 = o$  : *singola macchina*; questo è evidentemente il caso più semplice, in cui i job richiedono tutti la stessa risorsa per essere eseguiti.

$\alpha_1 = P$  : *macchine parallele identiche*;

$\alpha_1 = Q$  : *macchine uniformi*;

$\alpha_1 = R$  : *macchine indipendenti*.

Se  $\alpha_1 \in \{J, F, O\}$  ogni lavoro  $J_j$  è composto da un insieme di operazioni e più precisamente:

$\alpha_1 = J$  : *job shop*; le operazioni di ogni lavoro  $J_j$  formano una sequenza che deve essere processata in questo preciso ordine, ed ogni operazione deve essere processata su una data macchina, con un dato tempo;

$\alpha_1 = F$  : *flow shop*; in questo caso il sistema consiste di  $m$  macchine e ciascun job deve essere eseguito da ciascuna delle macchine successivamente, ossia l'ordine in cui i job visitano le macchine è lo stesso per tutti i job.

$\alpha_1 = O$  : *open shop o Randomly routed job shop*; simile al *flow shop*, eccetto che le operazioni di ogni lavoro  $J_j$  possono essere processate in un ordine qualsiasi.

Se  $\alpha_2$  è un intero positivo, allora il numero di macchine è costante ed uguale a  $\alpha_2$ .

Se  $\alpha_2 = o$ , allora  $m$  è una variabile. Notare che  $\alpha_1 = o$  se e solo se  $\alpha_2 = 1$ .

Oltre alle caratteristiche dei job e delle macchine, vi sono ulteriori specifiche che contribuiscono a definire esattamente un problema di *scheduling*.

Il secondo campo  $\beta \in \{pmtn, r_j, \beta prec\}$  quindi, indica rispettivamente le seguenti caratteristiche dei lavori:

- se *pmtn* è presente, è consentita l'interruzione (*preemption*) dell'esecuzione dei lavori. Questo vuol dire che, una volta interrotta, l'esecuzione può riprendere in seguito. In caso contrario, cioè se l'interruzione non è consentita, una volta iniziata l'esecuzione di un lavoro su una macchina, essa deve essere necessariamente completata. La *preemption* consente di ottenere una sorta di rilassamento lineare di un problema intero e la sua introduzione tra i vincoli del problema può essere molto utile per semplificarne la soluzione.
- *Tempi di set-up*: questa caratteristica è presente soprattutto nei problemi su singola macchina, e indica il tempo necessario a riconfigurare la macchina per eseguire un job dopo che se ne è

completato un altro. Il tempo di set-up può essere indipendente o meno dalla sequenza con cui i job vengono assegnati alla macchina.

- *Relazioni di precedenza*: in questo caso i jobs non sono indipendenti tra loro, ma esistono delle relazioni di precedenza che impediscono il processamento del generico job  $k$  se non sono completati tutti i jobs suoi predecessori (e quindi definiscono implicitamente dei “*ready times*”). cioè se  $J_j \prec J_k$ , allora  $J_j$  deve essere completato prima che inizi l’esecuzione del lavoro  $J_k$ . Se  $\beta_{prec} = chain$ , la relazione di precedenza forma una catena. Se  $\beta_{prec} = tree$ , la relazione  $\prec$  forma un albero. Se  $\beta_{prec} = prec$ , allora  $\prec$  è un ordinamento parziale arbitrario. Se  $\beta_{prec}$  non è presente, i lavori possono essere processati in un ordine qualsiasi.

Il terzo campo  $\gamma$  specifica il valore da ottimizzare o funzione obiettivo. Dato uno *schedule* ammissibile, possiamo calcolare per ogni lavoro  $J_j$  i seguenti valori:

- *Tempo di completamento*  $c_j$ : indica il tempo in cui il  $j$ -esimo job termina. Se non sono ammesse interruzioni e intervalli vuoti tra i jobs,  $c_j$  è dato dalla somma dell’istante di inizio del job  $j$ -esimo più il tempo di processamento  $p_j$  dello stesso job.
- *flow time*  $F_j = C_j - r_j$ , cioè l’intervallo di tempo nel quale il lavoro  $J_j$  rimane nel sistema;
- *Lateness*  $L_j$ : rappresenta la differenza tra il tempo di completamento e la data di consegna del job  $j$ . Si noti che se è positiva, la “*lateness*” indica un ritardo, se negativa un anticipo rispetto al tempo di consegna. Si può quindi definir per il job  $j$  la rispettiva *lateness* come:  $L_j = c_j - d_j$ .
- la *unit penalty*, rappresenta un’unità che penalizza i lavori in ritardo rispetto alla *due date*,

definita come: 
$$U_j = \begin{cases} 0 & \text{se } C_j < d_j \\ 1 & \text{altrimenti} \end{cases} .$$

Il costo  $f_j$  per ogni lavoro  $J_j$  di solito è calcolato considerando una delle variabili descritte in precedenza, oppure il prodotto fra il *peso*  $w_j$  ed una di esse. La funzione obiettivo può essere una qualunque funzione dei costi  $f_j, j = 1, \dots, n$ .

Esempi di comuni criteri sono:

- *Somma pesata dei tempi di completamento*, (*total weighted completion time*) definita come:  $\sum_j c_j w_j$ . Nel caso in cui i pesi siano tutti uguali tra loro, è il tempo complessivamente trascorso nel sistema dai job (dall’istante 0 al loro completamento), ovvero una misura del livello di servizio offerto dal sistema. I pesi introducono inoltre un elemento di priorità.
- *Massimo tempo di completamento o makespan* ( $C_{max}$ ): è pari al tempo in cui l’ultimo job lascia il sistema di macchine; rappresenta, quindi, la misura del tempo necessario a completare tutte le attività,  $C_{max} = \max_j C_j$
- *Massima lateness* ( $L_{max}$ ): individua la violazione massima consentita delle date di consegna, cioè lo scarto maggiore tra il tempo in cui si finisce di lavorare un job e quello in cui il job dovrebbe essere già consegnato. Si noti che potrebbe anche essere negativo, e in tal caso rappresenta un anticipo del job che termina prima della data di consegna prevista,  $L_{max} = \max_j L_j$ .
- *Massima tardiness*: definita come  $T_{max} = \max[0, L_{max}]$ .
- *Numero totale dei job in ritardo (tardy)*:  $n_T = \sum_j U_j w_j$ .

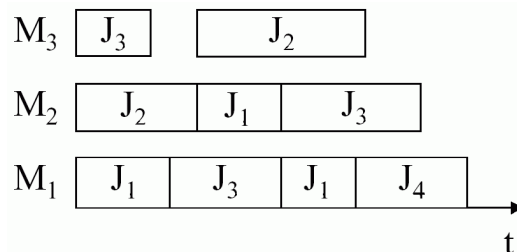
Ad esempio, usando la notazione a tre campi descritta, nel problema



$R2 | pmtn, prec | C_{max}$  si vuole minimizzare il *makespan*, su due macchine indipendenti, con vincoli di precedenza generici fra i lavori, ed interruzione consentita.

Il processamento di job su macchine parallele è importante dal punto di vista pratico in quanto l'esistenza di risorse parallele e in comune si verifica molto spesso nella realtà. Nel caso di scheduling su  $m$  macchine parallele, si dispone di un set di  $n$  jobs, con un tempo di processamento  $p_j$  per ciascuno di essi. Ogni job può essere lavorato su al più una macchina per volta ed ogni macchina può processare al più un job alla volta. La macchina  $i$  processa il job  $j$  con velocità  $v_{ij}$  (ad es.:  $v_{ij} =$  numero di operazioni di  $j$  nell'unità di tempo). Perciò, se il job  $j$  è svolto interamente sulla macchina  $i$ , il tempo necessario per il suo processamento è  $p_j/v_{ij}$ .

Quando si studiano problemi di scheduling è spesso utile visualizzare la sequenza dei job assegnati alle macchine con un diagramma di Gantt: in tale diagramma vengono tracciati tanti assi orizzontali quante sono le macchine. Gli assi rappresentano il tempo (che scorre da destra a sinistra) e i rettangoli disegnati lungo gli assi indicano quali job vengono processati da una macchina, quando e per quanto tempo. Si veda ad esempio la figura seguente:



**Figura 4.35 Esempio di diagramma di Gantt con tre macchine**

Quello in figura 4.35 è un diagramma di Gantt orientato alle macchine; è anche possibile tracciare un diagramma orientato ai job (ovvero in cui vengono tracciati tanti assi quanti sono i job, e in cui nei rettangoli sono indicate le macchine che processano ogni job in un dato intervallo di tempo), anche se è molto meno frequente.

#### 4.7.1 Approcci ai problemi di scheduling

Negli ultimi trent'anni sono stati sviluppati numerosi algoritmi per risolvere problemi di scheduling. Prima di affrontare la classificazione degli algoritmi, è necessario introdurre il concetto di *complessità* [Garey e Johnson (1979)].

L'*efficienza di un algoritmo* nella risoluzione di un determinato problema è solitamente misurata valutando la *funzione di complessità temporale*  $f(\mathbf{v})$ , definita come il massimo numero di passi computazionali necessari per ottenere una soluzione ottima in funzione delle dimensioni  $\mathbf{v}$  dell'istanza del problema. Poiché si studia il valore massimo, tale valutazione è chiamata anche *analisi del caso peggiore (worst case analysis)*.

Il valore  $v$ , che indica le dimensioni dell'istanza, dipende ovviamente dal tipo di problema considerato, ma solitamente è direttamente proporzionale al numero  $n$  di job coinvolti. Tale valore viene definito più in dettaglio in [French, 1982] e [Blazewicz et al. 1996].

Valutare  $f(v)$  può essere molto difficile: per questo motivo, in genere ci si limita a studiarne l'ordine di grandezza. Si dice che  $f(v)$  è  $O(g(v))$  se le due funzioni  $f(v)$  e  $g(v)$  hanno lo stesso ordine di grandezza, ovvero il loro rapporto tende ad una costante quando  $v$  tende all'infinito.

È utile, a questo proposito, dividere i problemi in due classi, **P** (*polinomiali*) ed **NP** (*non-deterministici polinomiali*): tale classificazione è in genere adottata nell'ambito dei problemi decisionali o di decidibilità, ovvero problemi in cui viene posta una domanda a cui bisogna dare risposta affermativa o negativa. In teoria i problemi di scheduling non dovrebbero ricadere in questa categoria, si tratta di problemi di ottimizzazione, tuttavia si può dimostrare che per ogni problema di ottimizzazione è possibile definire un problema decisionale corrispondente.

- Un problema è detto di *classe P* se esiste un algoritmo in grado di trovarne la soluzione ottima in tempi polinomiali, ovvero se  $f(v)$  è  $O(v^k)$  con  $k$  costante.
- Un problema è detto di *classe NP* se non esiste un algoritmo in grado di trovare la soluzione ottima in tempo polinomiale. Solitamente per i problemi NP si ha che  $f(v)$  è  $O(k^v)$ , ovvero la funzione di complessità temporale cresce esponenzialmente al crescere delle dimensioni del problema.

In particolare, un problema decisionale  $\Pi$  (di classe NP) si dice **NP-completo** se qualsiasi altro problema di classe NP è riconducibile a  $\Pi$  in tempo polinomiale. Un problema di ottimizzazione (quindi anche di scheduling) si dice **NP-hard** quando il problema decisionale corrispondente è NP-completo.

Purtroppo, moltissimi problemi di scheduling sono NP-hard: per questo motivo, a differenza di quanto accade per altre aree dell'ottimizzazione combinatoria, a tutt'oggi per i problemi di scheduling più difficili non è possibile indicare un unico approccio nettamente preferibile per la loro soluzione, ma di volta in volta può essere più appropriato utilizzare tecniche diverse. Nel seguito sono elencate le tecniche di risoluzione di problemi NP-hard più utilizzate, divise tradizionalmente in tre categorie: tecniche *costruttive*, *enumerative*, *euristiche*.

Un *algoritmo costruttivo* genera la soluzione ottima a partire dai dati del problema, seguendo un insieme di regole che determinano esattamente la sequenza delle operazioni. Molti problemi a singola macchina (e un numero molto basso di problemi coinvolgenti più macchine) possono essere risolti con tali tecniche.

Esempi di algoritmi costruttivi per problemi a singola macchina sono SPT (Shortest Processing Time) e EDD (Earliest Due Date); mentre per problemi coinvolgenti più macchine è possibile citare l'algoritmo di Johnson o la tecnica grafica di Arker [French, 1982].

Le tecniche costruttive hanno quasi sempre complessità polinomiale (i relativi problemi appartengono cioè alla classe P).

Gli *Algoritmi di enumerazione* si basano su di un principio molto semplice: elencare (o *enumerare*) tutte le possibili soluzioni ammissibili, eliminare quelle non ottime e ottenere quella (o quelle) ottime.

In teoria questo approccio funziona in quanto il numero di possibili soluzioni ad un problema di scheduling è finito (si tratta di un problema combinatorio); tuttavia è proibitivo dal punto di vista computazionale, dato che il numero delle soluzioni cresce esponenzialmente in funzione delle

dimensioni del problema. Per questo sono state create le tecniche di *enumerazione implicita*, che enumerano tutte le possibili sequenze di job, senza però farlo esplicitamente, ma sfruttando opportunamente le informazioni specifiche disponibili su un dato problema.

La più nota tecnica di enumerazione implicita è il *branch and bound*. Si tratta di una strategia di esplorazione dello spazio delle soluzioni ammissibili che partiziona l'insieme delle possibili soluzioni in sottoinsiemi sempre più piccoli, costruendo un albero di enumerazione (fase di *branching -ramificazione-*), e quindi stimando in ciascun nodo un limite inferiore (*lower bound*) o superiore (*upper bound*) sul valore della migliore soluzione ottenibile da quel nodo in giù (fase di *bounding -limitazione-*). Se la stima è minore (maggiore) della migliore soluzione trovata, quel ramo viene tagliato (*pruned*).

Altri algoritmi enumerativi sono quelli basati sulla *programmazione dinamica*, una tecnica ideata da Richard Bellman [Bellman, 1957] e basata sulla ricorsione.

Gli approcci enumerativi sono molto utili per risolvere numerosi problemi di ottimizzazione, non solo di *scheduling*; tuttavia, si tratta quasi sempre di algoritmi con complessità esponenziale, e quindi adatti solo per problemi di dimensioni ridotte.

Gli *Algoritmi approssimati o euristici* sono spesso l'unica tecnica possibile per risolvere, in tempi ragionevoli, problemi NP-hard di grandi dimensioni. Non vi è alcuna garanzia che la soluzione trovata da questa categoria di algoritmi sia ottima; tuttavia, essi richiedono un tempo di calcolo relativamente basso (polinomiale), e mediamente la qualità della soluzione prodotta è molto elevata (alcune tecniche di approssimazione garantiscono una qualche differenza minima tra la soluzione trovata e quella ottima).

Gli algoritmi euristici spesso mescolano metodi di approssimazione con classiche tecniche costruttive o enumerative (ad es. branch and bound); in molti casi cercano una soluzione tra gli schedule attivi o non-delay (gli schedule non-delay, generalmente non ottimi, sono spesso molto buoni).

Un problema interessante<sup>4</sup> ai fini dell'organizzazione di Sistemi Logistici, è quello di schedulare i jobs su  $m$  macchine parallele e identiche, consentendo la *preemption*, in modo da minimizzare il makespan:  $P|pmtn|C_{\max}$ , dove  $C_{\max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{c_j\}$ ; in questo caso può anche essere interpretato come l'istante in cui tutte le macchine hanno completato il proprio lavoro.

Grazie al meccanismo dell'interruzione, ogni job può essere processato su più macchine, purché non simultaneamente: in altri termini il job  $j$  potrebbe iniziare il suo processamento sulla macchina  $i$  per continuare, più tardi, sulla stessa o su qualunque altra macchina, eventualmente con ulteriori interruzioni. Sia allora  $x_{ij}$  la frazione di job  $j$  processata sulla macchina  $i$ ,  $\forall j = 1, \dots, n$ . Le variabili  $x_{ij}$  devono soddisfare il vincolo che garantisce il processamento di ogni job in maniera completa:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n$$

Con questa definizione delle variabili, il tempo totale di lavoro della  $i$ -esima macchina si esprime come:

---

<sup>4</sup> Astorino, Gaudio, Monaco, *Appunti del corso di Organizzazione della Produzione e dei Sistemi Logistici*

$$K_i = \sum_{j=1}^n p_j x_{ij}$$

ed il problema diventa:

Min  $C_{max}$

s.v.

$$\sum_{j=1}^n p_j x_{ij} \leq C_{max} \quad \forall i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad \forall j = 1, \dots, n$$

dove  $C_{max}$ , risulta esser pari al carico di lavoro della macchina che lavora maggiormente ( $C_{max} = \max_{1 \leq i \leq m} \{ \sum_{j=1}^n p_j x_{ij} \}$ ).

Si noti che, se la *preemption* non fosse consentita, il problema potrebbe essere formulato in maniera analoga, ma con:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se il job } j \text{ è assegnato alla macchina } i \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

quindi usando variabili binarie, ed il vincolo  $\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1$  esprimerebbe il fatto che ogni job può essere processato da ogni macchina. I vincoli, in questo caso, sarebbero analoghi a quelli di un problema di “*assegnamento generalizzato*”, così detto perché più jobs possono essere assegnati ad una stessa macchina, come risulta dal primo gruppo di vincoli, e non c’è più corrispondenza 1:1 come nel problema di assegnamento classico.

Il problema di assegnamento generalizzato è *NP-hard*, ed è possibile dimostrare che anche  $P | C_{max}$  è *NP-hard*, mentre, grazie alla *preemption*,  $P|pmtn|C_{max}$  è polinomiale e coincide con il rilassato del problema  $P | | C_{max}$ , ottenuto eliminando il vincolo di interezza (binarietà) sulle variabili.

È facile verificare che il problema prima formulato gode della seguente proprietà: Se esiste una soluzione ammissibile  $\bar{x}$ , in corrispondenza della quale tutti i vincoli di disequaglianza sono soddisfatti come uguaglianze, allora tale soluzione sarà ottima ( $\bar{x} = x^*$ ).

Infatti, rispetto ad  $\bar{x}$ , tutte le macchine hanno lo stesso carico di lavoro e terminano nel medesimo istante,  $C_{max}$ .

Se per assurdo, la soluzione ottima fosse  $\bar{x} \neq x^*$ , con carico di lavoro sbilanciato sulle macchine, sarebbe sempre possibile ridurre il valore del makespan ridistribuendo opportunamente tra le macchine, parte dei jobs assegnata alla macchina più carica. E ciò contraddice l’ottimalità di  $x^*$ .

Il valore ottimo della funzione obiettivo nella soluzione “bilanciata”  $\bar{x}$  si ottiene sommando fra di loro i vincoli sulle macchine e tenendo conto dei vincoli sui jobs:

$$\sum_{i=1}^m \left( \sum_{j=1}^n p_j \bar{x}_{ij} \right) = \sum_{j=1}^n p_j \left( \sum_{i=1}^m \bar{x}_{ij} \right) = \sum_{j=1}^n p_j = m C_{max}(\bar{x})$$

da cui

$$C_{max}(\bar{x}) = \frac{1}{m} \left( \sum_{j=1}^n p_j \right)$$

La soluzione  $\bar{x}$  potrebbe anche non essere ammissibile; ciò avviene se esiste qualche job il cui tempo di processamento è molto più grande degli altri, e precisamente se

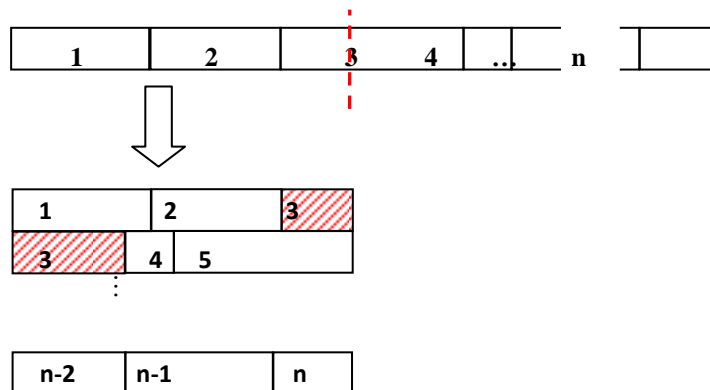
$$\max_{1 \leq j \leq m} \{p_j\} > \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n p_j$$

(si consideri, ad esempio, il caso  $n = 2$ ,  $p_1 = 100$ ,  $p_2 = 10$  ed  $m = 2$ : il makespan non può essere inferiore a  $p_1 = 100$ ). Pertanto vale sempre

$$C_{max} \geq \max \left\{ \max_j \{p_j\}, \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n p_j \right\}$$

Il limite inferiore a destra nella disuguaglianza può essere ottenuto applicando la seguente regola (Mc Naughton, 1959) rappresentata in figura 4.36:

- Si immagini di rappresentare i tempi di processamento dei job, l'uno dopo l'altro, disponendoli in una striscia;
- Si tagli la striscia ad intervalli di lunghezza pari al lower bound: ognuna delle strisce più corte ottenute diventa una riga del diagramma di Gantt per una schedula ottima.



**Figura 4.36** Applicazione della regola di Mc Naughton

La procedura richiede tempo  $O(n)$  e genera al più  $m-1$  interruzioni.

Data la natura *NP-hard* del problema, sono stati sviluppati molti algoritmi euristici per la risoluzione del modello generale.

Tra questi, la regola *Longest processing time first (LPT)*, assegna al tempo  $t=0$  gli  $m$  jobs più lunghi alle  $m$  macchine. Successivamente, quando una macchina si libera assegna ad essa il job non schedulato con il più grande tempo di processamento.

Questa euristica cerca di assegnare i jobs più corti alla fine della schedula dove essi possono essere usati per bilanciare i carichi tra le macchine.

Per questa euristica esiste un'approssimazione garantita dal seguente teorema (dimostrabile per contraddizione):

*In un problema di  $P_m | C_{max}$  se si indica con  $C_{max}(LPT)$  il makespan della schedula LPT e con  $C_{max}(OPT)$  il makespan della schedula ottima, vale la seguente relazione*

$$\frac{C_{max}(LPT)}{C_{max}(OPT)} \leq \frac{4}{3} - \frac{1}{3m}$$

Il rapporto  $\frac{C_{max}(LPT)}{C_{max}(OPT)}$  definisce dunque un upper bound per il problema che consente di ottenere un'analisi sulla bontà dell'euristica. Questo tipo di analisi del "caso peggiore" è interessante perché dà indicazioni di come l'euristica garantisca risultati attendibili, anche per quel tipo di istanze per le quali la stessa euristica non sia molto performante.

Oltre alla regola LPT esistono in letteratura altre euristiche più sofisticate per il problema  $P_m | C_{max}$  e che conseguentemente danno luogo a bound migliori.

#### 4.7.2 Scheduling ottimale degli ordini

La teoria dello scheduling di job differenti su macchine identiche che lavorano in parallelo, trova nella gestione del magazzino industriale, terreno fertile per la sua applicazione.

I jobs da schedulare sono in questo caso i vari ordini che arrivano e che devono essere evasi nel corso della giornata. Se supponiamo presenti nel magazzino 2 operatori, si tratta di uno scheduling su 2 macchine identiche (carrelli elevatori) che lavorano in parallelo con l'obiettivo della minimizzazione del makespan, ovvero il tempo complessivo per evadere tutto il set di ordini giornaliero da parte di entrambi gli operatori.

Per la soluzione del caso in esame si è usato l'algoritmo *Longest processing time first (LPT)*

Un simile algoritmo tuttavia, non può essere utilizzato direttamente per il processamento degli ordini. Un primo problema, risulta essere l'impossibilità di stimare in anticipo da qualunque responsabile di magazzino il tempo di processamento per ciascun ordine. Per ovviare a questa criticità si è individuata una metrica adeguata che potesse dare una stima più o meno veritiera del tempo di processamento di ciascun ordine. Da indagini empiriche si è osservato che il tempo di prelievo complessivo di ciascun ordine si incrementa al crescere di due fattori: del numero di articoli distinti presenti nell'ordine, che per comodità di esposizione si indicherà con  $N$ , e della quantità totale di articoli presenti nell'ordine, indicato con  $Q$ .

Una possibile metrica può essere dunque individuata attribuendo ai due fattori pesi diversi secondo l'espressione seguente:

$$\alpha * N + \beta * Q$$

$$\text{con } 0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1 \text{ e } \alpha + \beta = 1$$

Nel caso si attribuisca ad  $\alpha$  il valore 1, lo scheduling si baserà esclusivamente sul numero di articoli distinti presenti nell'ordine che fornirà il tempo di processamento per lo stesso. Nel caso si assegni il valore 1 al coefficiente  $\beta$ , i tempi di processamento degli ordini scaturiranno dalle quantità totali di articoli presenti in essi. Infine, dando ai coefficienti valori compresi tra 0 e 1 ( $0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1$ ), si otterranno metriche ibride che considerano entrambi i fattori.

Da queste considerazioni, si è individuato l'algoritmo euristico che il responsabile di magazzino, all'inizio della giornata lavorativa deve eseguire prima di consegnare il set di ordini da evadere a ciascun operatore. L'algoritmo proposto è il seguente:

**PASSO 1.** Si calcoli, per ciascun ordine, il relativo tempo di processamento, ovvero, usufruendo di simulazioni di picking effettuate su layout assegnato, con la relativa allocazione ottimale degli articoli nei punti di stoccaggio, si ricava un valore medio del tempo di prelievo per il singolo articolo (considerando solo i tempi di percorrenza del carrello nell'area di stoccaggio nell'ipotesi che i tempi di inerzia e di prelievo degli operatori siano nulli), che moltiplicato per il numero di articoli distinti fornisce il tempo medio di prelievo per ordine.

**PASSO 2.** Si dispongano gli ordini per valori non crescenti del tempo di processamento.

**PASSO 3.** Si assegni ciascun ordine ai due operatori in modo da rendere minimo l'incremento del makespan.

Qualora a fine giornata, per l'elevato numero di ordini da processare, alcuni di essi rimanessero inevasi, all'inizio della giornata lavorativa successiva, questi vengono processati in maniera prioritaria rispetto agli ordini nuovi, conservando lo stesso assegnamento e sequenziamento sui due operatori indicato dalla schedula del giorno precedente. Questo permette di evitare il problema della *starvation* (termine inglese che tradotto letteralmente significa inedia) che potrebbe portar ad aver ordini mai evasi.

Si cerca, quindi, una soluzione del problema  $P2|pmtn|C_{max}$  data da:

$$C_{max} = \max \left\{ \max_j \{p_j\}, \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n p_j \right\}$$

Inoltre si noti che, questo algoritmo porta ad aver una carico di lavoro equidistribuito tra i due operatori.

### 3.8 Caricamento dei Mezzi di Trasporto

Il caricamento dei mezzi di trasporto è un tipico problema di tipo operativo che si presenta nella gestione dei centri di distribuzione. Ogni spedizione richiede la soluzione di un problema che consiste nella definizione, per ciascun veicolo, di una *lista di carico* il cui peso non ecceda la capacità totale del veicolo, ed un riempimento ottimale dello spazio di carico della merce.

I problemi di caricamento (tipicamente, bi- o tri-dimensionali) sono stati studiati a partire dagli anni '60, dato il loro grande interesse applicativo. A causa della loro complessità, i ricercatori si sono, in genere, focalizzati sullo studio e lo sviluppo di algoritmi euristici. Recentemente, però, sono stati introdotti rilassamenti, algoritmi esatti ed algoritmi approssimati che forniscono garanzie sulla qualità della soluzione prodotta [Gilmore e Gomory, (1965); Johnson, 1973]. E' comunque evidente che restano aperte molte questioni teoriche che soprattutto riguardano la bontà delle soluzioni prodotte imponendo vincoli ulteriori che semplificano il processo di caricamento.

Nel seguito i problemi che si intendono studiare sono le versioni bidimensionali e tridimensionali del "*Bin Packing Problem*" e del "*Knapsack Problem*" essendo queste le tipologie di più immediato interesse pratico.

In genere nei problemi di caricamento si possono distinguere due entità principali: gli *oggetti* da caricare (*item*) e i *mezzi di trasporto* (*bin*).

In questo contesto, per “mezzo di trasporto” si intende indifferentemente un veicolo o un mezzo di raccolta (bancale, container). Inoltre, l’unità di base per la movimentazione non è definita dal prodotto, ma dall’imballo, ossia dall’involucro nel quale uno o più beni sono tipicamente racchiusi.

Il termine *item* è altresì molto generale, in quanto, come si vedrà in seguito, in taluni casi gli oggetti stessi possono presentarsi come mezzi su cui caricare altri oggetti. Gli *item* da caricare, quindi, vengono inseriti in appositi *bin*. Un *bin* può essere un veicolo o mezzo di trasporto ma anche lo stesso *pallet*.

Parecchie sono le *uds* che nei vari magazzini sono state predisposte per coprire tutte le necessità di spedizione ma dove possibile cercano di rispettare il criterio del sottomultiplo di un Euro Pallet (800mmx1200mm); a titolo di esempio ne elenchiamo alcune :

Pallet Euro (800x1200);

Mezzo Pallet Euro (800x600);

Cartone da ¼ di pallet (400x600);

Cartone da 1/8 di pallet (400x300).

E’ chiaro che più preciso sarà il calcolo utilizzato per scegliere una o più di tali *uds*, minore sarà il volume perso in spedizione. Tuttavia non sempre è possibile arrivare ad un calcolo così raffinato se non si hanno a disposizione dati certi di dimensione e di peso dei prodotti o se le caratteristiche (peso e/o volume) degli imballi non corrispondono a quanto previsto. Non è raro osservare che il container, una volta riempito, venga svuotato e quindi nuovamente riempito con un nuovo piano di carico, a causa della presenza di imballi rimasti fuori. Talvolta, nonostante, la procedura di carico sia ripetuta, continuano ad essere presenti imballi non caricati. La laboriosità di questa procedura ha spinto recentemente sempre più le imprese ad adottare un sistema di supporto alle decisioni.

Dal punto di vista matematico, i problemi di caricamento possono essere formalizzati come problemi di programmazione con vincoli lineari a variabili intere *binarie*. Molto simili al noto problema dello zaino (*Knapsack Problem*), lo scopo è determinare l’insieme di oggetti che massimizza il valore totale del carico senza violare il vincolo di capacità relativo all’ingombro. Nel caso specifico dei problemi di caricamento, invece, l’obiettivo è quello di minimizzare il numero (quindi il costo) dei contenitori usati per caricare tutti gli oggetti.

I problemi di caricamento sono generalmente *NP*-difficili in senso stretto, per cui gli algoritmi esatti hanno scarso interesse applicativo. D’altra parte, anche gli approcci di tipo euristico è ben difficile che possano fornire una soluzione immediatamente utilizzabile, dal momento che numerosi vincoli per questa classe di problemi (come quelli legati alla stabilità dei carichi) sono di difficile formalizzazione. In questi casi, gli algoritmi di tipo generale, come quelli che saranno illustrati nel seguito, possono validamente rappresentare il nucleo di un più complesso sistema di supporto alle decisioni che, adattato alla specifica applicazione, deve poter prevedere la possibilità di modificare la soluzione ottenuta.

Per facilità di esposizione, è conveniente classificare i problemi di caricamento in base al numero di dimensioni necessarie per una loro descrizione, numero che non necessariamente coincide con la rappresentazione geometrica degli imballi (nel seguito denominati oggetti) e/o dei mezzi di trasporto/raccolta (nel seguito denominati contenitori).



- *Problemi di caricamento ad una dimensione.* Appartengono a questa categoria tutti quei problemi per i quali il caricamento dei contenitori avviene rispettando principalmente vincoli di peso piuttosto che di volume (oggetti ad alta densità). In questo caso un unico parametro è utilizzato per definire le caratteristiche fisiche di ciascun oggetto e di ciascun contenitore.
- *Problemi di caricamento a due dimensioni.* In tal caso, sia gli oggetti che i contenitori sono definiti attraverso due parametri che generalmente individuano una superficie. E' rappresentabile come un problema a due dimensioni il caricamento di bancali, nel caso in cui gli oggetti abbiano la medesima altezza.
- *Problemi di caricamento a tre dimensioni.* Si tratta di problemi per i quali gli oggetti da caricare sono a bassa densità, per cui la capacità dei contenitori è espressa generalmente in termini di volume piuttosto che di peso. Tipici problemi a tre dimensioni riguardano il caricamento di bancali e di container, qualora gli oggetti abbiano diversa altezza e siano sovrapponibili.

Per problemi di dimensione maggiore di uno si assumerà nel seguito che la forma degli oggetti e dei contenitori sia regolare (in particolare, rettangolare nel caso bidimensionale e parallelepipedo nel caso tridimensionale) e che la disposizione degli oggetti avvenga in modo tale che i lati siano disposti parallelamente o perpendicolarmente agli assi dei contenitori. Tali assunzioni, sebbene semplifichino notevolmente il problema del caricamento, trovano tuttavia corrispondenza nella quasi totalità dei casi pratici, per cui si può affermare che esse non ledono la generalità della trattazione.

#### **4.8.1 Algoritmi euristici**

Sacrificando l'ottimalità della soluzione in favore dell'efficienza con cui questa soluzione viene calcolata, gli approcci risolutivi tipicamente, determinano buone soluzioni approssimate: d'altra parte ciò è quello che basta nelle applicazioni reali (soprattutto se di grandi dimensioni); questo è essenzialmente dovuto ad una serie di fattori:

- ✓ molti dei parametri in gioco nelle applicazioni reali sono delle stime che possono essere soggette ad errore, per cui non vale la pena di aspettare troppo tempo per avere una soluzione il cui valore (o la cui ammissibilità) è di valutazione incerta;
- ✓ spesso si è interessati ad avere una possibile soluzione per il problema in esame al fine di valutare velocemente degli scenari di lavoro (fase operativa);
- ✓ spesso si lavora in tempo reale, per cui si vuole avere una "buona" soluzione ammissibile in tempi molto ridotti (minuti o secondi di tempo di calcolo);
- ✓ a volte le applicazioni reali presentano molti vincoli di natura "difficile", cioè difficilmente modellabili con modelli di programmazione lineare intera, per cui è impossibile pensare ad algoritmi esatti basati su formulazioni di PLI.

Tra l'altro, i metodi di ottimizzazione basati sull'enumerazione non forniscono nessuna garanzia sul tempo necessario per il loro completamento. Può accadere che un algoritmo *branch-and-bound* determini velocemente la soluzione ottima e che impieghi moltissimo tempo per dimostrare l'ottimalità della soluzione. Tra l'altro, gli algoritmi enumerativi non forniscono nessuna garanzia neanche relativamente alla possibilità di miglioramento della soluzione: è impossibile sapere se la soluzione

migliorerà nei prossimi 30 secondi di tempo di calcolo o se non migliorerà più nei prossimi 30 giorni. Questi aspetti spiegano perchè nelle applicazioni reali, sia così diffuso il ricorso ad algoritmi approssimati o euristici (dal greco *heuriskein* = scoprire), che fornisca cioè, una soluzione al problema in un tempo di calcolo polinomiale della dimensione dell'istanza che deve risolvere; per problemi complessi in realtà si rilassa questo vincolo, richiedendo solo che l'algoritmo sia sufficientemente "veloce". Ovviamente l'algoritmo euristico "ideale" dovrebbe essere in grado di determinare sempre la soluzione ottima di un problema. Questo è quello che accade per una serie di problemi che hanno una particolare struttura (matroidi). Per problemi più complessi si vorrebbe che l'algoritmo euristico fosse in grado di determinare sempre una "buona" soluzione ammissibile, dove buona significa una soluzione il cui valore è abbastanza vicino al valore della soluzione ottima. Esistono però una serie di problemi per i quali la determinazione di una soluzione ammissibile è un problema NP-difficile (ad esempio il problema del commesso viaggiatore su grafo non completo); in questi casi non è neanche detto che l'algoritmo euristico sia in grado di determinare una soluzione ammissibile per il problema.

Data una istanza  $I$  di un problema di minimo, un algoritmo euristico  $A$  fornisce una soluzione di valore  $z^A(I)$  tale che  $z^A(I) \geq z^*(I)$  dove  $z^*(I)$  è il valore ottimo dell'istanza. Si dice che l'algoritmo fornisce un *upper bound* sul valore della soluzione ottima. Ovviamente nel caso di problema di massimo la relazione sarà del tipo  $z^A(I) \leq z^*(I)$ , ossia l'algoritmo  $A$  fornisce un *lower bound* sul valore della soluzione ottima. Un algoritmo euristico può essere anche in grado di determinare una soluzione ottima  $z^*(I)$  di un problema ma non può mai essere in grado di dimostrare l'ottimalità di tale soluzione (a meno che non sia combinato con la soluzione di qualche rilassamento del problema).

La bontà di un qualsiasi algoritmo euristico  $A$  può essere misurata teoricamente sia attraverso la complessità temporale che attraverso una valutazione del comportamento nel caso peggiore.

A tale scopo, si può ricorrere al rapporto di prestazione  $R^A$  definito come segue:

$$R^A = \frac{\sup Z^A(I)}{\forall I Z^*(I)}$$

Ciò vuol dire che:

- a)  $\frac{z^A(I)}{z^*(I)} \leq R^A, \forall I;$
- b) esistono delle istanze  $I$  tali che  $\frac{z^A(I)}{z^*(I)}$  risulti arbitrariamente prossimo a  $R^A$ .

Dal punto di vista pratico, la questione di come le varie euristiche si comportano nella soluzione di una specifica istanza del problema si può risolvere soltanto attraverso un loro test sistematico. Tuttavia, anche nel caso in cui è dimostrata l'efficienza di una particolare euristica, è ben difficile che essa di per sé possa fornire direttamente la soluzione al problema, dal momento che numerosi vincoli (quali ad esempio la facilità delle operazioni di carico, la stabilità del carico, il carico/scarico in più punti, ecc.) ben difficilmente possono essere tenuti in considerazione.

Le euristiche per i problemi di caricamento sono solitamente classificate in procedure di tipo *off-line* ed algoritmi di tipo *on-line*, a seconda che gli oggetti da caricare siano, rispettivamente, tutti disponibili o meno prima che le operazioni di carico abbiano inizio. Nel primo caso, è possibile

effettuare un ordinamento o raggruppamento preventivo degli oggetti, operazione che generalmente consente un miglioramento delle prestazioni dell'euristica. Esiste tuttavia un gran numero di applicazioni pratiche per le quali è possibile utilizzare solo algoritmi *on-line* (si pensi, ad esempio, alle operazioni di carico degli aerei, per le quali non è assolutamente pensabile di poter ritardare le operazioni di carico in attesa che tutti gli oggetti siano disponibili).

Gli algoritmi euristici possono essere suddivisi in: algoritmi costruttivi, algoritmi di ricerca locale, algoritmi meta-euristici. Il tempo di calcolo, e la qualità delle soluzioni prodotte, cresce man mano che si passa dagli algoritmi costruttivi agli algoritmi di ricerca locale e ai meta-euristici. A seconda dell'applicazione che si vuole risolvere e della qualità delle soluzioni che si vogliono ottenere, converrà scegliere un tipo di algoritmo piuttosto che un altro. La cosa importante è che il tempo di calcolo richiesto sia sensibilmente minore di quello che sarebbe stato richiesto da un algoritmo esatto per risolvere lo stesso problema.

- Le *euristiche per costruzione*, prevedono l'inserimento di un *item* per volta fintanto che tutti gli *item* siano stati allocati nei *bin*.

La maggior parte degli studi su euristiche per costruzione si basano sostanzialmente su due approcci: *wall building* e *cuboid arrangement*.

L'approccio *wall building*, introdotto da George e Robinson (1980), crea una soluzione scomponendo il problema tridimensionale in una sequenza di problemi bidimensionali, frazionando il volume di carico in una sequenza di livelli (o layers) verticali di uguale superficie (ad esempio  $W \times H$ ) disposte parallelamente rispetto alla terza dimensione.

Nei cuboid arrangements, [Bortfeldt and Gehring, 1997], si procede scegliendo una regione vuota da riempire, e si seleziona una configurazione di box simili adatta a riempire il più possibile il volume a disposizione.

Di seguito verranno considerate due euristiche di risoluzione complete, una basata su wall building (euristica tree-search) ed una su cuboid arrangements (euristica packing-tree).

Nel primo approccio, il problema può essere risolto in due fasi; nella prima fase si risolve un 2BP in modo da massimizzare per quanto possibile la superficie disponibile. Nella seconda fase si risolve un 1BP in modo da sistemare le sezioni lungo la terza dimensione. Lo spessore dei vari livelli non viene scelto arbitrariamente, ma selezionato tra tutte le possibili dimensioni di piazzamento delle scatole lungo l'asse z, tramite ranking: ad ogni dimensione viene associato un punteggio in base ad un criterio definito inizialmente, in seguito, grazie ad una classifica, viene individuato il valore con il ranking migliore, che verrà utilizzato come spessore. Una volta definito, il layer viene sezionato in strisce (orizzontali o verticali), dette strip, le cui altezze sono scelte in maniera analoga a quanto detto prima, considerando però tutte le possibili dimensioni di piazzamento lungo l'asse y; poiché ogni strip identifica un problema di *knapsack* unidimensionale, può essere risolto mediante approcci euristici o esatti, in maniera arbitraria. Dalla descrizione appena fatta, appare chiaro che la soluzione generata da un'euristica wall building sia fortemente dipendente dalla bontà del criterio di *ranking* (o funzione di *ranking*): soluzioni di pessima qualità possono essere generate, qualora il criterio utilizzato non sia adeguato alla problematica considerata, e l'euristica tenda a fermarsi su minimi locali.

Una soluzione a questo problema è descritta in [Pisinger, 2002] dove, al momento di creare un *layer*, invece di considerare solo il valore con ranking più alto, si selezionano i migliori valori della classifica, generando altrettanti *layer* candidati; in aggiunta, al momento di creare una *strip*, vengono selezionati i migliori valori della classifica di altezza, generando altrettante possibili configurazioni per il *layer* in esame. Questo processo è assimilabile alla creazione di un albero, o alla creazione di un vicinato; i nodi di quest'albero sono gli inserimenti delle scatole all'interno dei *layer* e delle relative *strip*, e dove ogni percorso radice-foglia identifica univocamente una configurazione completa dei *layer*, quindi una possibile soluzione del problema; confrontando tra loro le soluzioni generate, si può scegliere quella che massimizzi la funzione obiettivo, identificando la soluzione ottima secondo l'euristica.

Si è già detto che le euristiche CA focalizzano la propria attenzione sul posizionamento spaziale dei box, cercando di realizzare strutture di carico molto coese. L'euristica *packing tree* suddivide la creazione del piano di carico in una sequenza di fasi, che si può facilmente associare ad altri metodi costruttivi:

- Selezione del box
- Selezione dello spazio in cui inserire il box
- Orientamento del box
- Generazione del nuovo spazio da riempire

Nell'euristica in oggetto per prima cosa, i box vengono selezionati utilizzando un criterio di ranking che prende in considerazione diversi aspetti contemporaneamente e la selezione avviene basandosi su un ordinamento decrescente dei parametri scelti. Per quanto riguarda l'orientamento, si considera che non esistano vincoli sulla rotazione, e si tende a utilizzare la dimensione maggiore come altezza, sfruttando la dimensione minore come larghezza. L'aspetto più interessante risiede però nella gestione degli spazi disponibili: questi vengono organizzati tramite un albero ternario, dove ogni nodo è un cuboide, che si modifica ogni volta che viene inserito un box. Inizialmente l'albero è composto dalla sola radice, che individua l'intero spazio disponibile; volendo inserire un box, la scelta del nodo è quindi banale, e la scatola viene inserita in maniera da aderire all'angolo posteriore in basso dello spazio vuoto. Collocato il primo pacco, la radice genera tre nodi figli, che identificano lo spazio disponibile a destra, in alto e davanti; al momento di inserire un altro box, la selezione del nodo si basa su un ordinamento crescente del volume a disposizione: si considera che spazi più ampi possano essere gestiti più facilmente rispetto a molteplici spazi ristretti.

L'intero albero è quindi il piano di carico per il veicolo, in questo caso, ed ogni nodo è deputato a memorizzare la scatola che ha generato i suoi figli (incluso la posizione e l'orientamento), lo spazio riempito e l'utilizzazione del volume; percorrere l'albero seguendo le regole utilizzate per la selezione equivale a generare la sequenza di carico.

• Le *euristiche per ricerca locale*, tentano iterativamente di trovare l'allocazione ottimale degli *item* partendo da una soluzione ammissibile. Si basano su quello che è, per certi versi, l'approccio più semplice ed istintivo dell'ottimizzazione: andare per tentativi.

Consideriamo un problema di minimizzazione ed una sua soluzione ammissibile  $x$ , con associato il valore della funzione obiettivo  $f(x)$ . La ricerca locale consiste nel definire un *intorno* di  $x$  (detto,

nella terminologia della ricerca locale, *vicinato*), e nell'esplorarlo in cerca di soluzioni migliori, se ve ne sono. Se in questo vicinato di  $x$ , si trova una soluzione  $y$ , per cui  $f(y) < f(x)$ , allora ci si sposta da  $x$  a  $y$  e si riparte da  $y$  con l'esplorazione del suo intorno. Se invece nel vicinato di  $x$ , non si scopre nessuna soluzione migliore allora, vuol dire che  $x$  è un *minimo locale*.

Nella ricerca locale *classica*, arrivati in un minimo locale, l'algoritmo si ferma e restituisce questo minimo come valore di output. Ovviamente, non si ha nessuna garanzia in generale che tale valore costituisca una soluzione ottima del problema; anzi, tipicamente può anche essere molto distante dall'ottimo globale. Per migliorare la soluzione trovata con tecniche di ricerca locale è possibile eseguire l'algoritmo più volte, partendo da soluzioni iniziali differenti e/o definendo l'intorno (o la strategia di esplorazione dell'intorno) in modo diverso in ciascuna iterazione (algoritmi *Hill Climbing* (HC)).

- Gli *algoritmi meta-euristici* sono essenzialmente delle estensioni degli algoritmi di ricerca locale, nei quali sono introdotte opportune tecniche migliorative mirate ad evitare di terminare in un ottimo locale. L'idea di base di un algoritmo meta-euristico è la possibilità di effettuare anche mosse peggioranti, al fine di "scappare" dagli ottimi locali. Una volta che sia stata effettuata una mossa peggiorante, bisogna evitare di tornare alla mossa di partenza (nonostante questa sia migliorante), in quanto questo creerebbe un *loop* infinito. Risulta quindi indispensabile predisporre delle tecniche che evitino di incorrere in cicli.

L'idea di base di algoritmi di *Simulated annealing* (SA), nati agli inizi degli anni '80, è di simulare il comportamento di un processo termodinamico di ricottura (annealing) di materiali solidi (vetro, metallo, . . .). Essenzialmente, un algoritmo di *simulated annealing* simula il cambiamento di energia di un sistema (considerato come insieme di particelle) sottoposto a raffreddamento, fino a che non converge ad uno stato solido; questo permette di cercare soluzioni ammissibili di problemi di ottimizzazione, cercando di convergere verso soluzioni ottime.

Gli algoritmi di *simulated annealing* utilizzano tecniche di ricerca locale per definire ed esplorare l'intorno di una soluzione corrente. Se l'intorno contiene una soluzione migliorante, allora questa diviene la nuova soluzione corrente ed il procedimento viene iterato. Altrimenti si valuta il peggioramento del valore della soluzione che si avrebbe spostandosi dalla soluzione corrente e si effettua questo spostamento in base ad una certa probabilità, accettando così con una certa probabilità, anche soluzioni di qualità inferiore [Abraham et al. (2000); Yarkhan and Dongarra (2002)]. L'algoritmo termina quando viene raggiunto un numero prefissato di iterazioni o un prefissato tempo di calcolo, oppure se viene dimostrata l'ottimalità della soluzione corrente.

Le applicazioni più diffuse del SA sono su problemi combinatoriali [Chen 2007], in particolare su problemi di scheduling di processi industriali. Ma risulta interessante anche il lavoro di Koullamas et al. (1994) che hanno fornito un *survey* di applicazioni di algoritmi di *simulated annealing* in problemi di layout.

*Tabu Search Pack* (TSpack) è una metaeuristica applicata al problema di caricamento, che mira al miglioramento per via iterativa della soluzione corrente, fino a giungere all'allocazione ottimale degli *item* [Lodi et al, 2002]. TS è basato su un algoritmo molto sofisticato che solitamente richiede un tempo di calcolo lungo per raggiungere buoni risultati. In generale, l'algoritmo è costituito da 5

elementi: una soluzione iniziale, una struttura di vicinato, una serie di criteri di arresto, una lista di tabù ed una serie di criteri di *aspirazione*.

A partire da una soluzione iniziale  $x_0$ , TS si muove verso un'altra soluzione  $x$  nelle vicinanze di  $x_0$  finchè un certo criterio di arresto non è soddisfatto. Per esplorare regioni dello spazio di ricerca che potrebbero essere lasciate inesplorate da una procedura di ricerca locale, TS modifica la struttura di vicinato di ciascuna soluzione, mediante una strategia di intensificazione o diversificazione, man mano che la ricerca procede. Le soluzioni incluse nel vicinato sono determinate attraverso una struttura di memoria a breve termine: la *tabu list* contiene le soluzioni già visitate e che quindi devono essere evitate, o spostamenti proibiti per evitare ottimi locali. Gli *aspiration criteria* sono introdotti per revocare una o più restrizioni imposte agli spostamenti consentiti, presenti nella *tabu list*, qualora la loro riammissione consenta di raggiungere soluzioni migliori di quella corrente.

#### 4.8.2 Metodi e modelli

In questa sezione si procede a fornire una descrizione formale dei problemi di caricamento con particolare riferimento ai modelli presenti in letteratura [Ghiani G. e Musmanno R., 2000]. In primo luogo, però, vengono definiti i classici vincoli e obiettivi nella risoluzione di un generico problema di caricamento.

L'obiettivo nei problemi di caricamento è quello di minimizzare il numero di *bin*, dal momento che ad ogni *bin* è associato un costo. In relazione, invece, ai vincoli, è necessario precisare che essi sono legati alla natura dei *bin* e degli *item*. In genere, infatti, esistono due tipologie di vincoli: *vincoli operativi* e *vincoli di capacità*. I primi sono legati alle caratteristiche dell'oggetto:

1. *Orientazione*. Impossibilità di rotazione verticale e/o orizzontale dell'*item* e necessità di disporlo ortogonalmente e/o parallelamente rispetto alle pareti del *bin*.
2. *Sovrapponibilità*. La possibilità di sovrapporre *item* su altri *item* tenendo conto della loro intrinseca natura (normale, leggero, pesante). Inoltre ogni oggetto possiede un massimo peso ad esso sovrapponibile.
3. *Stabilità*. E' necessario che venga attuata una pre-politica per evitare i movimenti degli *item* all'atto del carico mediante imballaggi aggiuntivi e dispositivi di fissaggio.
4. *Peso*. Il peso complessivo del carico è spesso di importanza maggiore rispetto all'ingombro dello stesso. Il carico che viaggia su gomma o su treno deve essere ben distribuito sugli assi del veicolo e in generale il suo baricentro si deve trovare al centro geometrico del *bin*.
5. *Raggruppamento*. Il raggruppamento degli *item* è di notevole importanza soprattutto quando è necessario trattare parti di un unico oggetto, colli con la stessa destinazione o oggetti dello stesso gruppo, i quali devono essere tenuti vicini e sul medesimo *bin*.
6. *Separazione*. La separazione avviene per motivazioni del tutto opposte a quelle esposte per il raggruppamento. In alcuni casi può infatti manifestarsi la necessità di separare alcuni oggetti che quindi non possono essere caricati nel medesimo *bin*. Si pensi, ad esempio, ai cibi e ai prodotti chimici.

7. *Priorità*. Quando il carico ha destinazioni multiple nasce la necessità di porre gli *item* della stessa destinazione vicini ed effettuare un caricamento di questi in base alle destinazioni onde evitare di dover scaricare e ricaricare il carico più volte. E' necessaria quindi una interazione tra il caricamento e la scelta dell'itinerario da seguire in base alla destinazione delle varie parti del carico (problemi di *vehicle routing*).

I vincoli di capacità sono, invece, relativi al fatto che i mezzi di trasporto hanno una capienza limitata e, quindi, il numero di unità di carico che è possibile caricare all'interno è limitato dal volume del *bin* adoperato. La maggior parte degli algoritmi presuppongono la presenza di oggetti non ruotabili (né in senso orizzontale, né, nel caso a tre dimensioni, in senso verticale). Nell'ambito di questa attività ci si è posti il problema di rilassare questo vincolo permettendo la rotazione degli oggetti in entrambe le direzioni, mantenendo sempre gli spigoli degli *item* paralleli o ortogonali a quelli del *bin*.

#### 4.8.2.1II Problema di Caricamento ad Una Dimensione

Tale problema può essere formulato come segue. Si indichi con:  $m$  il numero di oggetti da caricare;  $p_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , il peso dell'oggetto  $i$ ;  $n$  il numero di contenitori disponibili;  $q$  la capacità del generico contenitore  $j$ ,  $j = 1, \dots, n$  (si suppone dunque, per semplicità, che tutti i contenitori siano identici). Si assumano inoltre le seguenti variabili decisionali:  $x_{ij}$ ,  $i = 1, \dots, m$ ,  $j = 1, \dots, n$ , di tipo binario, avente valore pari a 1 se l'oggetto  $i$  viene inserito nel contenitore  $j$ , 0 altrimenti;  $u_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ , di tipo binario, avente valore pari a 1 se il contenitore  $j$  è utilizzato, 0 altrimenti.

La formulazione è pertanto la seguente:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{j=1}^n u_j \\ \text{s.a} \end{aligned} \quad (4.18)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i=1, \dots, m \quad (4.19)$$

$$\sum_{i=1}^m p_i x_{ij} \leq q u_j, \quad j=1, \dots, n \quad (4.20)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, n \quad (4.21)$$

$$u_j \in \{0,1\}, \quad j=1, \dots, n \quad (4.22)$$

Il modello (4.18)-(4.22) (*bin packing* a 1 dimensione, 1BP) ha come obiettivo la minimizzazione del numero dei contenitori utilizzati. I vincoli (4.19) assicurano che ogni oggetto sia inserito in esattamente un contenitore. I vincoli (4.20) garantiscono che ogni contenitore sia eventualmente utilizzato in modo tale da rispettarne la capacità.

Per il problema 1BP si ricava agevolmente un limite inferiore  $z(I)$  sul numero di contenitori da utilizzare, dato dalla relazione:

$$z(I) = \lceil (p_1 + p_2 + \dots + p_m)/q \rceil. \quad (4.23)$$

Per quanto riguarda gli algoritmi esatti di soluzione, si propone di seguito un semplice approccio di tipo *branch-and-bound*.

L'algoritmo può essere schematizzato in 5 passi.

**Passo 0.** Si supponga che gli oggetti siano ordinati secondo valori non crescenti del peso. Si indichi con  $(P_{hk})$  un problema 1BP per il quale i primi  $h$  oggetti sono già assegnati ai primi  $k$  contenitori, e sia  $\underline{z}(P_{hk})$  un limite inferiore sul numero dei contenitori da utilizzare. Sia  $S$  una lista formata da tali problemi. Inizialmente  $S = \{(P_{00})\}$ . Sia inoltre  $z(P)$  il numero dei contenitori utilizzati nella soluzione corrente ( $z(P)$  rappresenta, al termine dell'algoritmo, il numero ottimale di contenitori da utilizzare). Inizialmente  $z(P)$  è pari a  $m$  oppure al numero di contenitori fornito da una procedura euristica.

**Passo 1.** Estrai da  $S$  il problema  $(P_{hk})$  e determina un limite

inferiore  $\underline{z}(P_{hk})$  sul numero di contenitori da utilizzare.

**Passo 2.** Se  $\underline{z}(P_{hk}) \geq z(P)$ , vai al passo 5.

**Passo 3.** Se  $h = m$ , poni  $z(P) = k$  e vai al passo 5.

**Passo 4.** ( $h < m$ ); genera al più  $k$  sottoproblemi  $(P_{h+1,k})$ ,

ottenuti assegnando di volta in volta l'oggetto  $h+1$ , se possibile, a ciascuno dei primi  $k$  contenitori<sup>5</sup>, e il problema  $(P_{h+1,k+1})$ , ottenuto inserendo l'oggetto  $h+1$  in un nuovo contenitore. Di ogni problema generato determina il relativo estremo inferiore sul numero di contenitori da utilizzare. Inserisci i problemi generati nella lista  $S$  e torna al passo 1.

**Passo 5.** Se  $S = \emptyset$ , *STOP*,  $z(P)$  è il numero minimo di contenitori da utilizzare, altrimenti torna al passo 1.

Per determinare per ogni problema  $(P_{hk})$  un limite inferiore  $\underline{z}(P_{hk})$  sul numero di contenitori da utilizzare, è sufficiente porre:

$$\underline{z}(P_{hk}) = k + \max(0, \lceil [p_{h+1} + \dots + p_m - (kq - \sum_{i=1}^h p_i)] / q \rceil \rceil). \quad (4.24)$$

La (4.24) è un'estensione della (4.23) al caso in cui  $h$  oggetti sono già inseriti in  $k$  contenitori. Il

termine  $kq - \sum_{i=1}^h p_i$  definisce la capacità residua dei  $k$  contenitori utilizzati, quantità che è indipendente dalla modalità con la quale gli  $h$  oggetti sono inseriti nei  $k$  contenitori. Pertanto il calcolo del limite inferiore utilizzando la (4.24) fornisce lo stesso valore per tutti i problemi con gli stessi valori di  $h$  e  $k$ .

La strategia di esplorazione dell'albero di *branching* più conveniente risulta essere la visita in profondità (*depth first search*) con priorità, ad ogni livello, assegnata al problema a cui corrisponde il miglior limite inferiore disponibile (*best bound first search*) [Papadimitriou e Steiglitz (1982), Korf, (1985, 1993); Martello e Toth (1990); Cormen, et al., 2005].

Per quanto riguarda le procedure euristiche di tipo *on-line*, nel seguito saranno descritti due degli algoritmi più noti per risolvere il problema 1BP: l'algoritmo FF (*First Fit*) e l'algoritmo BF (*Best Fit*).

<sup>5</sup> Per semplificare la notazione sono identificati allo stesso modo, con  $(P_{hk})$ , più problemi 1BP per i quali la distribuzione dei primi  $h$  oggetti nei primi  $k$  contenitori risulta tuttavia differente.



### Algoritmo FF

**Passo 0.** Sia  $S$  la lista degli oggetti da inserire nei contenitori,  $V$  la lista dei contenitori disponibili,  $T$  la lista dei contenitori utilizzati; inizialmente  $T = \{1\}$ .

**Passo 1.** Estrai un oggetto  $i$  dalla testa della lista  $S$  e caricalo nel primo contenitore  $j \in T$  "compatibile" (avente, cioè, capacità residua non inferiore al peso  $p_i$ ). Se un tale contenitore non esiste, estrai dalla testa di  $V$  un nuovo contenitore  $k$  e ponilo in coda a  $T$ ; carica l'oggetto  $i$  nel contenitore  $k$ .

**Passo 2.** Se  $S = \emptyset$ , *STOP*, tutti gli oggetti sono stati inseriti,  $T$  rappresenta la lista dei contenitori utilizzati, mentre  $V$  fornisce la lista dei contenitori non utilizzati. Se  $S \neq \emptyset$ , torna al passo 1.

### Algoritmo BF

**Passo 0.** Sia  $S$  la lista degli oggetti da inserire nei contenitori,  $V$  la lista dei contenitori disponibili,  $T$  la lista dei contenitori utilizzati; inizialmente  $T = \{1\}$ .

**Passo 1.** Estrai un oggetto  $i$  dalla testa della lista  $S$  e caricalo nel contenitore  $j \in T$  compatibile avente capacità residua minore. Se un tale contenitore non esiste, estrai dalla testa di  $V$  un nuovo contenitore  $k$  e ponilo in coda a  $T$ ; carica l'oggetto  $i$  nel contenitore  $k$ .

**Passo 2.** Se  $S = \emptyset$ , *STOP*, tutti gli oggetti sono stati inseriti,  $T$  rappresenta la lista dei contenitori utilizzati, mentre  $V$  fornisce la lista dei contenitori non utilizzati. Se  $S \neq \emptyset$ , torna al passo 1.

In entrambi gli algoritmi si assume implicitamente che il numero dei contenitori disponibili sia sufficiente a contenere tutti gli oggetti e che le capacità dei singoli contenitori siano tali da consentire il caricamento di un qualsiasi oggetto.

Rappresentando opportunamente le capacità residue dei contenitori, le due procedure possono essere realizzate in modo che la complessità computazionale sia pari a  $O(m \log m)$ .

I rapporti di prestazione nel caso peggiore dei due algoritmi non sono noti. Tuttavia, è stato verificato che:

$$R^{\text{FF}} \leq 7/4, \quad (4.25)$$

$$R^{\text{BF}} \leq 7/4. \quad (4.26)$$

Gli algoritmi FF e BF possono essere facilmente trasformati in euristiche *off-line*, facendo precedere le operazioni di carico da una fase di ordinamento o raggruppamento degli oggetti secondo valori non crescenti dei pesi. Si ottengono così, rispettivamente, gli algoritmi FFD (*First Fit Decreasing*) e BFD (*Best Fit Decreasing*), la cui complessità temporale è ancora pari a  $O(m \log m)$ , mentre il rapporto di prestazione è dato da:

$$R^{\text{FFD}} = R^{\text{BFD}} = 3/2 \quad (4.27)$$

Questo valore costituisce il minimo rapporto di prestazione nel caso peggiore che un'euristica tempo-polinomiale può avere.

Il modello (4.18)-(4.22) può essere modificato per tenere conto della possibilità che i contenitori non siano tutti identici; a tale proposito si indichi con  $q_j$  e  $c_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ , rispettivamente, la capacità e il costo di utilizzo del generico contenitore  $j$ . La funzione obiettivo (4.18) è sostituita da:

$$\text{Min} \sum_{j=1}^n c_j u_j, \quad (4.28)$$

corrispondente alla minimizzazione del costo di utilizzo dei contenitori, mentre è sufficiente porre  $q_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ , al posto di  $q$  nei vincoli (4.20).

In tal caso, le euristiche illustrate in precedenza, sebbene utilizzabili direttamente, potrebbero fornire risultati non soddisfacenti, ed è pertanto consigliabile adottare alcune modifiche. Ad esempio, può risultare conveniente utilizzare una procedura preliminare di ordinamento dei contenitori disponibili, secondo qualche criterio che tenga conto sia del costo di utilizzo che della capacità dei contenitori (in particolare, in base al valore non decrescente dei costi per unità di peso trasportabile). Inoltre, al termine della procedura di caricamento, si può eventualmente verificare se il numero di contenitori utilizzati può essere ridotto (in particolare, trasferendo semplicemente il carico assegnato ad un contenitore in un altro di cui è comunque previsto l'uso), e se è possibile rimpiazzare un contenitore da utilizzare con un altro compatibile non utilizzato e di costo inferiore.

#### 4.8.2.2 Il Problema di Caricamento a Due Dimensioni

Il problema più semplice di caricamento a due dimensioni consiste nella minimizzazione del numero di contenitori identici (di dimensioni  $L$  e  $W$ ) da utilizzare per la spedizione di un insieme prestabilito di colli. Siano:  $m$  il numero di oggetti da caricare;  $l_i$  e  $w_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , rispettivamente, la lunghezza e la larghezza dell'oggetto  $i$ ;  $n$  il numero di contenitori disponibili.

Un limite inferiore  $z(I)$  sul numero di contenitori da utilizzare si ottiene facilmente ponendo:

$$z(I) = \lceil (l_1 w_1 + l_2 w_2 + \dots + l_m w_m) / (LW) \rceil. \quad (4.29)$$

Per quanto riguarda gli algoritmi esatti, è possibile estendere il metodo di *branch-and-bound* illustrato nella sezione precedente per il caso monodimensionale. In questa procedura l'ordinamento degli oggetti può essere effettuato per valori non crescenti della superficie, mentre, per stabilire se un nuovo oggetto  $h+1$  possa essere inserito o meno in un contenitore  $j$ ,  $j = 1, \dots, k$ , che contiene già altri oggetti (passo 4 dell'algoritmo), si può impiegare il seguente schema:

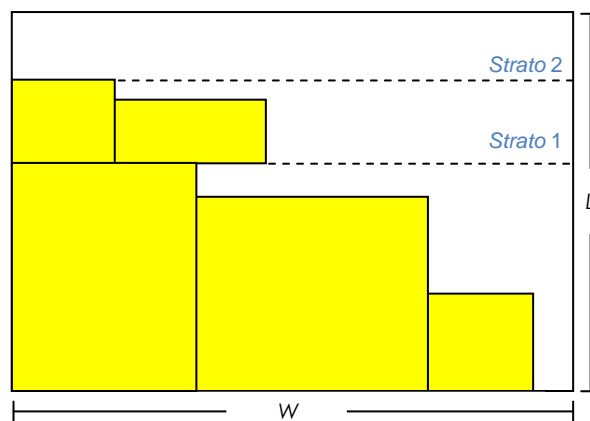
**Passo 1** (*Calcolo del Limite Inferiore*). Calcola, utilizzando la (4.29), un limite inferiore sul numero di contenitori necessari per allocare gli oggetti assegnati al contenitore  $j$ , compreso l'oggetto  $h+1$ . Se tale limite è maggiore di uno, il problema è inammissibile, altrimenti vai al passo 2.

**Passo 2** (*Calcolo del Limite Superiore*). Utilizzando una o più euristiche (vedi nel seguito per maggiori dettagli), determina una soluzione per il problema di caricamento a due dimensioni definito dagli oggetti assegnati al contenitore  $j$  (compreso l'oggetto  $h+1$ ) e un unico contenitore. Se esiste una soluzione, il problema è ammissibile, altrimenti vai al passo 3.

**Passo 3** (*Enumerazione*). Le fasi 1 e 2 non sono state in grado di provare l'ammissibilità o l'inammissibilità del problema. Procedi quindi, per enumerazione, a generare tutte le configurazioni possibili degli oggetti assegnati al contenitore  $j$ . Se, nel corso dell'enumerazione, si perviene ad una configurazione per la quale tutti gli oggetti sono allocabili nel contenitore, *STOP*, il problema è ammissibile, altrimenti, il problema risulta inammissibile.

Per quanto riguarda le procedure euristiche di soluzione, nel seguito, per semplicità di esposizione, sarà affrontato preliminarmente il problema di caricamento a due dimensioni 2BP (problema di *bin packing* a 2 dimensioni), nel quale, oltre all'ipotesi di contenitori identici, si assume che la rotazione degli oggetti non sia consentita. Tuttavia, la maggior parte degli approcci euristici che saranno discussi per tale problema può essere adattata a casi più generali.

Molte euristiche per il problema 2BP si basano sull'idea di formare *strati* di oggetti all'interno dei contenitori. Ogni strato ha larghezza pari a  $W$  e lunghezza corrispondente a quella dell'oggetto più lungo in esso contenuto.



**Figura 4.37** Strati di oggetti all'interno di un contenitore

Tutti gli oggetti appartenenti ad uno stesso strato sono collocati sul fondo dello strato, che corrisponde al livello dell'oggetto più lungo dello strato precedente (figura 4.37).

Di seguito sono illustrati due algoritmi a strati nella versione *off-line*, denominati come FFF (*Finite First Fit*) e FBF (*Finite Best Fit*).

#### Algoritmo FFF

**Passo 0.** Sia  $S$  la lista degli oggetti da inserire nei contenitori, ordinata secondo valori non crescenti delle lunghezze. Sia  $V$  la lista dei contenitori disponibili,  $T$  la lista dei contenitori utilizzati; inizialmente  $T = \{1\}$ .

**Passo 1.** Estrai un oggetto  $i$  dalla testa della lista  $S$  e caricalo nella posizione più a sinistra possibile del primo strato "compatibile" del primo contenitore  $j \in T$  "compatibile". Se un tale strato non esiste, creane uno nuovo nel primo contenitore "compatibile" e inserisci l'oggetto  $i$  nella posizione più a sinistra di tale strato. Se non esiste un contenitore "compatibile", estrai dalla testa di  $V$  un nuovo contenitore  $k$  e ponilo in coda a  $T$ ; carica l'oggetto  $i$  nella posizione in fondo e a sinistra nel contenitore  $k$ .

**Passo 2.** Se  $S = \emptyset$ , *STOP*, tutti gli oggetti sono stati inseriti,  $T$  rappresenta la lista dei contenitori utilizzati, mentre  $V$  fornisce la lista dei contenitori non utilizzati. Se  $S \neq \emptyset$ , torna al passo 1.

*Algoritmo FBF*

**Passo 0.** Sia  $S$  la lista degli oggetti da inserire nei contenitori, ordinata secondo valori non crescenti delle lunghezze. Sia  $V$  la lista dei contenitori disponibili,  $T$  la lista dei contenitori utilizzati; inizialmente  $T = \{1\}$ .

**Passo 1.** Estrai un oggetto  $i$  dalla testa della lista  $S$  e caricalo nella posizione più a sinistra possibile dello strato “compatibile” avente larghezza residua minore, e appartenente ad uno dei contenitori “compatibili”  $j \in T$ . Se un tale strato non esiste, creane uno nuovo nel contenitore “compatibile”

$j \in T$  avente lunghezza residua minore e inserisci l’oggetto  $i$  nella posizione più a sinistra di tale strato. Se non esiste un contenitore “compatibile”, estrai dalla testa di  $V$  un nuovo contenitore  $k$  e ponilo in coda a  $T$ ; carica l’oggetto  $i$  nella posizione in fondo e a sinistra nel contenitore  $k$ .

**Passo 2.** Se  $S = \emptyset$ , *STOP*, tutti gli oggetti sono stati inseriti,  $T$  rappresenta la lista dei contenitori utilizzati, mentre  $V$  fornisce la lista dei contenitori non utilizzati. Se  $S \neq \emptyset$ , torna al passo 1.

Gli algoritmi a strati hanno costo computazionale relativamente basso, giacché è piuttosto veloce la procedura per determinare lo strato in cui inserire l’oggetto, ma essi possono risultare inefficienti nei casi in cui il numero di oggetti da inserire in un contenitore è relativamente basso. In tali casi, una soluzione migliore, ma computazionalmente più costosa (giacché è necessario mantenere aggiornato il profilo, in termini di coordinate, di ogni regione ammissibile di inserimento), può essere ottenuta rimuovendo le restrizioni imposte dall’inserimento degli oggetti a strati, come descritto nel seguente algoritmo BL (*Bottom Left*).

*Algoritmo BL*

**Passo 0.** Sia  $S$  la lista degli oggetti da inserire nei contenitori, ordinata secondo valori non crescenti delle lunghezze. Sia  $V$  la lista dei contenitori disponibili,  $T$  la lista dei contenitori utilizzati; inizialmente  $T = \{1\}$ .

**Passo 1.** Estrai un oggetto  $i$  dalla testa della lista  $S$  e caricalo nella posizione più in fondo e più a sinistra possibile del primo contenitore “compatibile”  $j \in T$ . Se un tale contenitore non esiste, estrai dalla testa di  $V$  un nuovo contenitore  $k$  e ponilo in coda a  $T$ ; carica l’oggetto  $i$  nella posizione in fondo e a sinistra nel contenitore  $k$ .

**Passo 2.** Se  $S = \emptyset$ , *STOP*, tutti gli oggetti sono stati inseriti,  $T$  rappresenta la lista dei contenitori utilizzati, mentre  $V$  fornisce la lista dei contenitori non utilizzati. Se  $S \neq \emptyset$ , torna al passo 1.

Nel caso in cui la rotazione degli oggetti sia consentita, conviene modificare le fasi di ordinamento e di inserimento delle euristiche descritte in precedenza. In particolare, è utile ordinare gli oggetti secondo valori non crescenti del massimo tra la lunghezza e la larghezza. Inoltre, per l’inserimento

in uno strato (algoritmi FFF e FBF) o in un contenitore (algoritmo BL) occorre considerare entrambe le modalità (con o senza rotazione).

Nel caso in cui gli  $n$  contenitori siano caratterizzati da differenti valori del costo di utilizzo  $c_j$ , della lunghezza  $L_j$  e/o della larghezza  $W_j, j = 1, \dots, n$ , il problema di caricamento a due dimensioni consiste nella minimizzazione del costo complessivo di utilizzo. In questo caso, gli algoritmi euristici illustrati in precedenza possono essere adattati preordinando i contenitori, per valori non decrescenti dei costi per unità di superficie  $c_j/(L_j W_j), j = 1, \dots, n$ .

#### 4.8.1.3 Il Problema di Caricamento a Tre Dimensioni

Il problema di riempimento dei veicoli (*three-dimension container packing problem* 3DCPP), può essere schematizzato in generale come l'intento di inserire un certo numero di parallelepipedi (box) all'interno di un volume di forma analoga e dimensioni fisse. La scelta di tale forma non è casuale, e si basa sulla considerazione che, molto spesso, tanto i vani di carico quanto gli imballaggi sono parallelepipedi; in aggiunta, da un punto di vista geometrico, approssimare un oggetto con il parallelepipedo di volume minimo che lo contiene, ossia con il suo bounding box, equivale a semplificare computazionalmente alcune operazioni, senza perdere di generalità.

Vista la notevole somiglianza con questioni relative al confezionamento del carico di veicoli (packing) e con applicazioni che prevedono tagli e sezionamenti di materiali (cutting), (Wascher et al., 2007), il problema è stato formulato in diversi modi, di volta in volta prendendo in esame degli scenari reali diversi:

- Strip packing: in questo caso si considera un contenitore avente altezza e larghezza finita, ma profondità infinita; lo scopo finale consiste nell'impacchettare tutte le scatole a disposizione, sfruttando la minor profondità possibile. Questa formulazione mira a gestire situazioni in cui il carico vada consegnato presso diversi depositi, dove il carico viene opportunamente suddiviso in sezioni, [Bischoff e Marriott, 1990; Bischoff et al., 1995].
  - Knapsack loading: la particolarità di questa variante risiede nel fatto che ad ogni scatola è associato un profitto, e lo scopo finale consiste nel riempire un unico container di dimensioni finite, massimizzando il profitto totale; nel caso in cui tale profitto sia identificabile con il volume delle scatole, allora il problema può anche essere visto come la minimizzazione del volume non occupato [Gehring et al., 1990; Scheithauer, 1991].
  - Bin packing: questa formulazione considera l'intera flotta a disposizione, e mira a trovare l'impacchettamento dell'intero carico in grado di minimizzare il numero di mezzi utilizzati. Diversi metodi di soluzione sono stati proposti, tra cui quelli presenti in [Martello et al, 2000] e [Faroe et al., 1999].
  - Pallet loading: rispetto alle altre formulazioni, qui il contenitore è sprovvisto di barriere laterali, ed il caricamento viene effettuato dall'alto; in questo caso è la stabilità del carico ad avere la maggiore importanza. [Bischoff, et al., 1995].

Oltre alla classificazione sopra elencata, è possibile eseguire altre distinzioni in base ad altre caratteristiche, come l'ammissibilità di alcune rotazioni per i box, la composizione di

impacchettamenti sezionabili, la stabilità e il bilanciamento del carico o la sostenibilità tra scatole; a questo si può aggiungere la distinzione tra carichi omogenei e disomogenei, vale a dire composti o meno dalla stessa tipologia di elementi.

Il problema di caricamento a tre dimensioni più semplice consiste, analogamente ai casi illustrati in precedenza, nella minimizzazione del numero di contenitori identici da utilizzare, ciascuno di dimensioni pari a  $L$ ,  $W$  e  $H$ . Allo scopo, si indichi con:  $m$  il numero di oggetti da caricare;  $l_i$ ,  $w_i$ ,  $h_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , rispettivamente, la lunghezza, la larghezza e l'altezza dell'oggetto  $i$  da caricare;  $n$  il numero di contenitori disponibili. Nella versione qui considerata del problema 3BP (*bin packing* a tre dimensioni), si assume inoltre che gli oggetti non possano ruotare.

Un limite inferiore  $\underline{z}(I)$  sul numero di contenitori da utilizzare, si ottiene estendendo la (5.53) al caso tridimensionale, ponendo:

$$\underline{z}(I) = \lceil (l_1 w_1 h_1 + l_2 w_2 h_2 + \dots + l_m w_m h_m) / (LWH) \rceil. \quad (4.30)$$

Per quanto riguarda gli approcci esatti di soluzione, vale la pena osservare che soltanto di recente sono state proposti algoritmi di tipo *branch-and-bound*. In linea di principio, essi possono essere ricondotti allo schema generale illustrato in precedenza per il problema di caricamento monodimensionale, includendo una procedura di verifica dell'ammissibilità simile a quella descritta nel caso bidimensionale.

L'approccio più comunemente utilizzato nelle euristiche per il problema 3BP prevede che il caricamento avvenga per sezioni di uguale superficie (ad esempio  $W \times H$ ), disposte parallelamente lungo la terza dimensione. In questo modo la sistemazione degli oggetti in ciascuna sezione corrisponde ad un problema di caricamento a due dimensioni, che risolto, dovrebbe assicurare che gli oggetti siano disposti in modo da massimizzare per quanto possibile la superficie disponibile. La sistemazione delle varie sezioni lungo la terza dimensione può essere affrontata come problema di caricamento ad una dimensione. Dal momento che le sezioni sono distinte (non ci sono oggetti che appartengono a più sezioni), questa soluzione consente, tra l'altro, di poter controllare agevolmente il soddisfacimento di un eventuale ulteriore vincolo sul bilanciamento del carico all'interno di ogni contenitore (sarebbe infatti sufficiente cambiare la sequenza delle sezioni). Di seguito sono descritti schematicamente due algoritmi euristici basati su tale principio.

#### **Algoritmo 3BP-L**

**Passo 0.** Sia  $S$  la lista degli oggetti da inserire nei contenitori.

**Passo 1.** Risolvi un problema 2BP, definito dagli  $m$  oggetti di dimensioni  $w_i, h_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , e un numero arbitrariamente grande di "contenitori" di dimensioni  $W$  e  $H$  (nel seguito, per evitare confusione, denominati *sezioni*). Sia  $k$  il numero di sezioni utilizzate. Si assume inoltre che la lunghezza di ogni sezione sia definita dall'oggetto più lungo in esso contenuto.

**Passo 2.** Risolvi un problema 1BP, definito da  $k$  oggetti corrispondenti alle sezioni, ciascuno dei quali di peso pari alla sua lunghezza, e dagli  $m$  contenitori disponibili di capacità pari a  $L$ .

#### **Algoritmo 3BP-W**

**Passo 0.** Sia  $S$  la lista degli oggetti da inserire nei contenitori.

**Passo 1.** Risolvi un problema 2BP, definito dagli  $m$  oggetti di dimensioni

$l_i, h_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , e un numero arbitrariamente grande di sezioni di dimensioni

$L$  e  $H$ . Sia  $k$  il numero di sezioni utilizzate. La larghezza di ogni sezione è definita dall'oggetto più largo in esso contenuto.

**Passo 2.** Risolvi un problema 1BP, definito da  $k$  oggetti corrispondenti alle sezioni, ciascuno dei quali di peso pari alla sua larghezza, e dagli  $m$  contenitori disponibili di capacità pari a  $W$ .

Se gli oggetti sono tutti disponibili prima di effettuare le operazioni di carico, può essere utile preordinare la lista  $S$  di oggetti, generalmente in base a valori non crescenti del volume. Tuttavia, dal momento che non esiste un criterio di ordinamento valido in senso assoluto (soprattutto nel caso in cui le rotazioni degli oggetti sono consentite) è conveniente effettuare, se possibile, un test sistematico degli algoritmi considerando di volta in volta gli oggetti ordinati per valori non crescenti delle lunghezze, delle larghezze, delle altezze e delle superfici.

Nel caso in cui gli  $n$  contenitori siano differenti, similmente a quanto visto per i casi ad una e a due dimensioni, si assume che ciascun contenitore sia caratterizzato da un costo di utilizzo  $c_j, j = 1, \dots, n$ , e da lunghezza, larghezza e altezza pari, rispettivamente, a  $L_j, W_j$  e  $H_j, j = 1, \dots, n$ . Il problema di caricamento a tre dimensioni consiste quindi nella minimizzazione del costo complessivo di utilizzo dei contenitori.

In questo caso, può risultare conveniente modificare le euristiche di soluzione illustrate per il problema 3BP, in particolare, ordinando i contenitori per valori non decrescenti dei costi per unità di volume  $c_j/(L_j W_j H_j), j = 1, \dots, n$ .

#### 4.9 La Gestione della Qualità

Il Controllo qualità (QC, *Quality Control*) identifica, nell'ambito di una impresa industriale, il comparto delegato a gestire la qualità dei prodotti realizzati, cioè a mettere in atto tutte quelle azioni ed iniziative (identificate dal termine *Gestione della qualità*) che consentono di definire e tenere sotto controllo gli standard qualitativi richiesti dalla direzione aziendale.

Per prodotti, servizi, progetti e processi *qualità* significa capacità di raggiungere gli obiettivi stabiliti (efficacia), utilizzando al meglio le risorse umane, di tempo ed economiche a disposizione (efficienza).

“Un prodotto o un servizio possono essere considerati vendibili se rispondono completamente alle esigenze globali dell'utilizzatore in termini di prezzo, tempo di consegna e adeguatezza all'uso. L'adeguatezza è normalmente identificata con la qualità, ed è determinata da quelle caratteristiche del prodotto che il cliente ritiene soggettivamente vantaggiose. Pertanto, la valutazione della qualità è di pertinenza dell'utilizzatore e non del produttore, del venditore o del fornitore del servizio”, (J. M. Juran).

J. M. Juran è insieme a P. Crosby, W.E. Deming, Shingo, Ishikawa uno dei teorici della qualità. Anche se danno interpretazioni lievemente dissimili su cosa sia la qualità e come vada conseguita, per tutti conseguire una qualità eccellente richiede: una leadership da parte del *top management*, un

orientamento al cliente, un totale coinvolgimento della forza lavoro, un miglioramento continuo, basato su una rigorosa analisi dei processi.

Si tratta di una attività operativa (tecnica, non gestionale) che investe tutte quelle umane. Quindi controllo di qualità vuol dire gestione di un processo per assicurare che tutti i suoi parametri rimangano entro limiti definiti e per mirare a mantenere e migliorare nel tempo le prestazioni di quel processo.

Per porre in essere il controllo della qualità nei processi aziendali occorre valutare l'importanza delle caratteristiche da controllare, cioè sapere se sono:

- *critiche*, e tali da pregiudicare, in caso di non conformità, la vita o la salute delle persone o la funzionalità del prodotto;
- *importanti*, e tali da rendere difficile la miglior funzionalità del prodotto;
- *secondarie*, e tali da non influire sulla funzionalità, ma su aspetto, qualità della finitura ecc;

A seconda dell'importanza della caratteristica va impostata la rigidità, e quindi il costo della stessa attività di controllo. Un controllo inutile, di fatto, costituisce uno spreco di valore.

Il controllo può essere eseguito in due modi.

Controllo totale: sottoporre a controllo, singolarmente, tutti i componenti di una certa "popolazione".

Controllo statistico: sottoporre a controllo solo un campione dei componenti di una certa "popolazione", avvalendosi del supporto di conoscenze della matematica statistica.

In questo ultimo caso, si parla, più propriamente, di *Controllo Statistico della Qualità* nei processi aziendali (Spc).

Esso prevede l'individuazione di particolari situazioni anomale attraverso la raccolta dei dati. In particolare, attraverso lo studio della distribuzione empirica dei dati del campione, la statistica ci fornisce informazioni sull'intera popolazione. Quindi il campione dovrà essere scelto in modo tale da riflettere le caratteristiche dell'intera popolazione (inferenza statistica).

La gestione della qualità si riflette sia sulla strategia che sull'operatività aziendale. E, nell'attuale mercato di forte concorrenza e selettività, non può essere considerata solo come un elemento del *marketing mix* o un fattore puramente tecnico o tecnologico, ma una leva che coinvolge tutte le attività, le risorse e le funzioni dell'impresa tesa ad adottare logiche manageriali in grado di rendere l'impresa competitiva sul mercato puntando ad elevarne la qualità.

Negli anni '80 nasce il *Total Quality Management* (TQM) come risposta occidentale alla "crisi" sollevata dalle alte performance giapponesi: si intende una gestione dell'intera (*total*) organizzazione in modo che essa eccella in tutti quegli attributi del prodotto e del servizio importanti per il cliente.

I criteri di valutazione riguardano evidentemente i fattori che influenzano la soddisfazione del cliente: prodotto, servizio e rapporto con il cliente. Gli elementi che possono essere di riferimento sono, per quanto riguarda il prodotto:

- ✓ rispetto delle specifiche
- ✓ affidabilità
- ✓ flessibilità
- ✓ innovazione



- ✓ imballo.

Per quanto riguarda il servizio:

- ✓ chiarezza commerciale
- ✓ rispetto degli accordi commerciali
- ✓ completezza delle consegne
- ✓ puntualità nelle consegne
- ✓ chiarezza della documentazione
- ✓ supporto tecnico
- ✓ correttezza della fatturazione.

Per quanto riguarda il rapporto con il cliente:

- ✓ capacità di ascolto
- ✓ velocità nella risposta
- ✓ rintracciabilità
- ✓ flessibilità
- ✓ chiarezza.

Gli obiettivi sul fronte *operativo* sono: la qualità di progetto che indica il valore intrinseco del prodotto sul mercato; la qualità di conformità che indica il grado di conformità del prodotto o servizio alle specifiche di progetto.

Un prodotto (o servizio) può avere elevata qualità di progetto e scarsa qualità di conformità, o viceversa.

Dai controlli sui prodotti può emergere che le grandezze rilevate sono difformi rispetto agli obiettivi prefissi. Generalmente, si considera un intervallo di tolleranza, al di fuori del quale si configura una non conformità.

I controlli sul prodotto finale sono generalmente subordinati all'individuazione del campione casuale, rappresentativo del segmento di mercato cui è correlato (ad esempio può essere selezionato il 5% dei clienti i cui contratti siano in corso o conclusi nell'anno precedente), e alla definizione dei criteri di valutazione.

L'inadeguatezza dell'offerta rispetto agli standard di qualità richiesti dal mercato può derivare: da un gap di progetto, che evidenzia un difetto di concezione dell'output; da un gap di conformità, associato a problematiche costruttive; da un gap di percezione, causato da una errata percezione dei bisogni del consumatore.

L'obiettivo delle imprese orientate alla qualità consiste, allora, nel progettare un output vendibile e un processo produttivo efficace e dotato di procedure di correzione e prevenzione degli errori. Saper cogliere le esigenze del cliente per aumentare la qualità percepita e fare tesoro in modo sistematico e organizzato delle esperienze passate consente di aiutare il sistema a migliorare continuamente e a ridurre il rischio di commettere nuovamente gli stessi errori elevando in modo costante e incrementale la qualità dei processi operativi e dei risultati aziendali.

Chiaramente il mantenimento di standard qualitativamente elevati richiede da un lato la necessità di effettuare controlli e dall'altra la conseguenza di costi aggiuntivi.

Il costo della qualità COQ (*Cost Of Quality*) è il costo legato alla prevenzione, ricerca e correzione dei difetti. Può essere esplicitato in:

- costi di *valutazione*: riguardano le attività di ricerca dei problemi (test e ispezioni), revisioni del progetto, la formazione degli addetti al test;
- costi di *prevenzione*: riguardano le attività finalizzate alla prevenzione dei difetti (quali errori di progettazione, di codifica, nella manualistica, nella documentazione), lo sviluppo di prototipi, la chiarezza nelle specifiche, l'accuratezza della documentazione, la valutazione degli strumenti di sviluppo;
- costi degli *insuccessi interni*: costi dovuti a errori avvenuti e identificati entro il sistema: scarti, rilavorazioni, riparazioni.
- costi degli *insuccessi esterni*: costi degli errori che transitano attraverso il sistema e non vengono intercettati: tempo degli operatori al servizio assistenza, rispeditura del prodotto, sostituzione di articoli in garanzia, vendite perse, fiducia del cliente persa, ecc.

I costi di una politica di controllo della qualità possono essere significativi (generalmente valutati pari al 15% - 20% del fatturato) tuttavia possono essere ritenuti inferiori agli oneri sostenuti per sostituzioni e riparazioni, cui si aggiungono gli inevitabili danni all'immagine derivanti dalle esperienze di cattiva qualità vissute dal mercato. La 'non-qualità' significa sempre riduzione dell'immagine professionale con conseguenze negative sulle vendite. Pertanto, la prevenzione costa meno.

La pianificazione dei controlli da eseguire avviene in fase di approvvigionamento, con la verifica dei prodotti approvvigionati; durante l'erogazione del servizio, con il controllo dei processi; nella fase finale, con controllo sul prodotto.

Solitamente, la Direzione Generale nomina al momento della pianificazione annuale, le verifiche ispettive ed i componenti del Gruppo di Verifiche Ispettive.

#### **4.9.1 Il controllo degli errori**

Uno dei fattori che maggiormente può influire sulla scelta dei clienti è la qualità del servizio intesa soprattutto come bassa percentuale di errori commessi. In effetti, la quantificazione degli errori di un magazzino è uno degli indici prestazionali qualitativi e di efficienza più significativi da monitorare, [Frazelle, (2002)].

Prima di procedere ad un'analisi e a considerazioni sull'elenco degli errori che possono verificarsi dall'ingresso dei materiali nel magazzino sino alla consegna al cliente, è opportuno distinguere fra gli errori che vengono corretti all'interno del magazzino e che comportano maggiori costi ma risultano ininfluenti sull'immagine che il cliente ha dell'azienda, ed errori che invece non possono essere corretti e di conseguenza più gravi in quanto sono visti dal cliente come un segnale di inefficienza.

La "gravità" degli errori aumenta procedendo dall'ingresso dei materiali nel magazzino all'uscita in quanto le possibilità di correzione si riducono sempre di più. Volendo quantificare, in termini di percentuale di errore, nella maggior parte dei casi, il prelievo pesa per il 70 ÷ 80 % del totale ed il

restante 20 ÷ 30 % si verifica nelle altre aree. Pertanto per ridurre in modo significativo gli errori occorre intervenire prevalentemente sulle modalità e sull'organizzazione del prelievo. In effetti se si prescinde da considerazioni sulla produttività, dall'analisi dell'elenco degli errori si deduce che il sistema meno a rischio è la preparazione dell'ordine singolo effettuato in serie: con tale modalità si eliminano gli errori di inserimento nel cartone, di sventagliamento o di raggruppamento, operazioni, in genere, eseguite manualmente.

Di seguito elenchiamo sinteticamente i possibili errori che possono verificarsi nelle diverse aree del magazzino.

In ricezione possiamo avere errori di:

- Identificazione del codice;
- Controllo qualitativo e quantitativo del prodotto;
- Inserimento nell'unità di carico idonea
- Indirizzamento.

Nella allocazione della merce in magazzino possiamo avere errori di:

- Ubicazione;
- Perdita della rintracciabilità.

Nel prelievo delle merce possiamo avere errori di:

- Codice o lotto;
- Quantità;
- Prelievo incompleto;
- Inserimento nel cartone o nell'unità di prelievo (nel caso di prelievi di più ordini raggruppati).

Nel completamento del prelievo possiamo avere errori di:

- Sventagliamento (nel picking accumulato di un batch di ordini per codice);
- Raggruppamento (nel picking in parallelo per ordine singolo).

Nell'imballo possiamo avere errori di:

- Controllo nell'esattezza dell'ordine;
- Riempimento e chiusura del cartone;
- Etichettatura;
- Packing list;
- Eventuale personalizzazione per il cliente.

Nella spedizione possiamo avere errori di:

- Raggruppamento per corriere o per linea;
- Carico incompleto sul mezzo di spedizione.

Per quanto riguarda la consegna finale al cliente, gli eventuali errori (di destinazione, di consegna ecc.) non sono evidentemente da imputarsi al magazzino, ma sono molto visibili e di grosso impatto d'immagine. Al magazzino quindi conviene operare in modo da minimizzarli etichettando in modo chiaro e completo i cartoni, raggruppandoli in modo opportuno e compilando documenti di spedizione facilmente controllabili.

Si è usata l'espressione minimizzare e non eliminare in quanto esiste una soglia fisiologica al di sotto della quale nonostante tutti i possibili interventi organizzativi e di controllo è impossibile scendere: tale soglia si può collocare fra lo 0,001 e lo 0,0001 della globalità delle transazioni.

Il principio generale, che può apparire banale, per ridurre gli errori, a prescindere dalle procedure organizzative o dalla razionalizzazione delle modalità operative, consiste nel constatare l'errore, possibilmente correggendolo, nel momento stesso in cui si verifica. Ciò significa operare i controlli di tutte le operazioni trasmettendo le informazioni in tempo reale: via cavo fra postazioni fisse, con radiofrequenza fra postazioni mobili.

A supporto di tale metodologia è indispensabile l'introduzione di un sistema informativo che oltre all'organizzazione di tutte le attività del magazzino obblighi sia gli operatori che le macchine (impianti di stoccaggio, di picking, di trasporto, sorter, ecc.) a controllare le operazioni appena effettuate: se il risultato del controllo non è positivo il sistema blocca il processo. Esempi tipici: il trasloelevatore si blocca se la lettura delle coordinate dell'ubicazione non corrisponde a quella programmata oppure il sistema informativo segnala all'operatore l'errata ubicazione di prelievo e ne blocca la successiva attività se non è effettuata la correzione.

In genere nei magazzini tali controlli sono effettuati con lettori laser fissi o mobili di codice a barre: un tipo particolare di controllo riguarda percorso guidato da raggi laser dei carrelli automatici AGV.

Da quanto sopra risulta evidente che la situazione che presenta minori rischi di errori si verifica allorché sono etichettati con codice a barre oltre che gli scaffali, le unità di carico e le unità di trasporto anche i singoli pezzi o unità di prelievo come ad esempio si riscontra nella ricambistica, nell'abbigliamento, nella distribuzione farmaceutica e nella distribuzione editoriale. Tale situazione permette l'impiego, se ne è verificata la convenienza e la fattibilità, di impianti di *sorter* automatici sia a nastro che aerei che, con la lettura automatica del codice a barre del singolo pezzo assicurano l'azzeramento degli errori di sventagliamento.

Un altro impianto automatico che ad un'alta produttività abbina l'azzeramento degli errori nel prelievo è il dispenser, utilizzato in genere per i codici poco voluminosi ad alta rotazione nella distribuzione farmaceutica. Prescindendo dall'impiego o meno di sistemi automatici (che comunque non possono essere utilizzati per il 100% dei codici del magazzino) ed ipotizzando l'esistenza dei sistemi di gestione e di controllo come sopra illustrati, l'errore più frequente che ancora si verifica è relativo alla quantità dei pezzi prelevati manualmente: tale fenomeno rende indispensabile l'effettuazione di controlli alla fine di ogni linea di prelievo manuale di cartoni interi (esempio pick to belt o picking cumulato) e sulla linea di imballo per i prelievi frazionati da imballare.

Per i cartoni interi il controllo può essere effettuato automaticamente con lettori laser fissi, per i materiali imballati; in alternativa al controllo manuale fisico molto oneroso è possibile prevedere un controllo automatico di peso confrontando il peso teorico del collo col peso reale: presupposto indispensabile è naturalmente che il sistema informatico conosca il contenuto del collo. Tale sistema, per ragioni evidenti, non garantisce al 100% l'individuazione degli errori specie per materiali leggeri, ma in genere risulta un valido strumento di controllo.

Alla fine del flusso dei materiali rimane da considerare il controllo nell'area spedizione: solamente con la decodifica di tutti i colli caricati sul mezzo si ha la garanzia della completezza e dell'esattezza della spedizione.

Nonostante l'importanza del fenomeno, in genere le Aziende si limitano a monitorare solamente gli errori visibili solo all'esterno anche perché più facilmente rilevabili.

#### **4.9.2 Anagrafica dei prodotti**

Una delle condizioni indispensabili per una piena funzionalità del sistema informativo di rilevazione degli errori risulta essere la disponibilità di una anagrafica completa dei prodotti e pertanto vale la pena di dedicare due parole a tale argomento.

Per *anagrafica logistica* di un prodotto si intende la sua descrizione quanto più accurata possibile, esclusivamente sotto l'aspetto logistico prescindendo dal suo valore e dalle problematiche produttive e di processo, delle caratteristiche inerenti essenzialmente le problematiche connesse al picking e al caricamento dei mezzi di trasporto (peso, volume, ecc.). Il concetto generale è che più completa è l'anagrafica dei prodotti più facilmente ne può essere gestito il flusso e maggiore è il livello di automazione possibile sia come handling che, soprattutto, come sistema informativo.

In genere il problema relativo all'anagrafica dei prodotti è sottovalutato dalle aziende. In effetti esaminando la gestione aziendale (fornitori, scorte, vendite, ecc.) dal punto di vista puramente amministrativo, non è necessario conoscere la maggior parte dei parametri che compaiono nella tabella quali unità di stoccaggio, dimensioni, pesi, volumi, ecc.

Ne consegue che quando si vuole introdurre la logistica in azienda o più semplicemente si intende realizzare qualche forma di automazione nell'handling o nel sistema di gestione informativo del magazzino ci si accorge della necessità di disporre di dati inesistenti nell'anagrafica. A questo punto l'Azienda affronta il problema anagrafica nel modo più corretto. Le risorse aziendali richieste ed i tempi di esecuzione dell'operazione sono funzione della eterogeneità e del numero di codici da esaminare: in effetti l'esame va effettuato per ogni singolo codice salvo la possibilità di esaminare raggruppamenti di codici con caratteristiche fisiche uguali.

Le attività più impegnative riguardano il rilievo delle caratteristiche fisiche (dimensioni, volumi, pesi) e la individuazione del numero di pezzi (confezioni, cartoni, ecc.) per unità di carico o per casella. In genere le situazioni più "pesanti" sia per numero che per eterogeneità dei codici si verificano nella ricambistica e nella componentistica: facilmente si è in presenza di svariate decine di migliaia di codici con caratteristiche fisiche che vanno dalle minuterie ai materiali di grosso volume.

Di seguito si evidenziano le funzioni più significative per le quali è indispensabile la conoscenza di alcuni dei parametri sopra elencati:

- Vincolo per i fornitori, per la produzione o per il confezionamento sulle modalità di ingresso in magazzino;
- Scelta automatica della unità di carico più idonea;
- Scelta automatica del sistema di *handling* più idoneo;

- Indirizzamento automatico nelle diverse aree del magazzino;
- Scelta delle ubicazioni più idonee;
- Gestione automatica del codice ed eventualmente del lotto all'interno ed all'esterno del magazzino (ubicazione, tracciabilità, rabbocco);
- Individuazione dei volumi di stoccaggio, di *picking* e di spedizione;
- Guida nella scelta delle unità di prelievo e di imballo;
- Possibilità di utilizzo di impianti automatici di *handling* (trasloelevatori, automatici verticali, dispenser, sorter);
- Controllo automatico del prelievo confrontando il peso teorico con il peso reale.

Occorre sottolineare il fatto che anche nella fase di progettazione del magazzino la conoscenza di tali parametri (in particolare quelli di base) riveste una notevole importanza: ma purtroppo, nella maggior parte dei casi in tale fase occorre procedere in modo approssimativo con dati incompleti. In conclusione, per la realizzazione di un nuovo magazzino o per qualunque intervento migliorativo delle attività logistiche occorre comunque tenere in considerazione l'importanza di disporre di un'anagrafica completa dei materiali e, se in mancanza, occorre prevedere il tempo e le risorse necessarie per completarla. In caso contrario si rischia la non funzionalità del sistema progettato o la vanificazione dell'intervento.

#### **4.9.3 Il report**

Affinché un magazzino funzioni correttamente, oltre ad essere effettuati dei controlli devono essere redatti dei report accessibili in ogni momento ai responsabili delle strutture, quali il registro delle presenze e il libro infortuni. Il Responsabile del Magazzino, pertanto, è tenuto a sottoporre al Direttore della struttura, con la cadenza sotto riportata, i report di gestione del magazzino, su supporto cartaceo ed informatico.

Con cadenza giornaliera va redatto:

- un report di verifica del portafoglio d'ordine che evidenzia i solleciti effettuati e situazioni critiche;
- un foglio di presenza giornaliero, cartaceo o automatizzato, del personale in servizio;
- un report delle non conformità, di processo o sui prodotti gestiti segnalate all'arrivo della merce, alla ricezione da parte dei destinatari, rilevate in magazzino;
- un report relativo allo stato di avanzamento di eventuali azioni di richiamo di prodotti o lotti di prodotto in corso.

Mensilmente va redatto un report generale indicante:

- le modalità di gestione delle scorte e i consumi da parte delle Unità Operative;
- il numero delle righe programmate ed urgenti consegnate nel mese, suddivise per unità operativa richiedente;
- il livello di servizio garantito nel mese, il valore cumulato dell'anno, lo scostamento rispetto al valore obiettivo;
- l'indicatore di puntualità e affidabilità delle consegne ottenuto nel mese, il valore cumulativo annuo e lo scostamento rispetto al valore obiettivo;

- il valore totale del materiale non conforme rilevato nel mese ed il valore cumulativo dell'anno, rapportato al valore medio delle scorte di magazzino;
- le discrepanze di magazzino rilevate nel mese, il cumulativo dell'anno e la loro valorizzazione;
- il confronto tra le discrepanze rilevate nel mese e il numero degli articoli controllati, il valore cumulativo annuo di questi due dati;
- l'indice di rotazione delle scorte del mese ed il valore cumulativo dell'anno;
- gli errori documentali rilevati nel mese ed il cumulativo annuo rapportati al numero dei documenti emessi;
- tutti i prodotti presenti in Magazzino che scadranno di validità nel trimestre successivo;
- eventuali incidenti occorsi nell'esecuzione del servizio che hanno richiesto la denuncia all'assicurazione sugli infortuni sul lavoro;
- aggiornamento dei nominativi e della qualificazione professionale dei lavoratori impiegati nell'esecuzione del servizio appaltato;
- il programma di avanzamento di eventuali azioni preventive e correttive concordate a seguito dell'evidenza di non conformità;
- una breve relazione che illustri il lavoro svolto, eventuali difficoltà incontrate, proposte di miglioramento del servizio, proposte di azioni correttive o preventive, richieste di modifiche delle procedure operative in essere, modifiche ai programmi di formazione in essere, modifiche organizzative che si pensa di introdurre, ed ogni altro commento o fatto che si ritiene necessario portare all'attenzione dei responsabili dell'Istituto.

Contestualmente al report mensile dovrà essere fornita l'autodichiarazione relativa al corretto assolvimento degli obblighi retributivi, assistenziali, contributivi ed assicurativi a favore dei lavoratori impiegati nell'esecuzione del servizio.

#### 4.9.4 Metodologie di controllo della qualità

La metodologia *Six Sigma* è una filosofia e una serie di metodi ideati da Motorola e adottati da alcune aziende per eliminare i difetti dai prodotti e dai processi. Mira a ridurre le variazioni interne ai processi che causano tali difetti.

È alla base del miglioramento continuo (*kaizen*) di macchinari, materiali e metodi di produzione attraverso suggerimenti e idee provenienti da gruppi di lavoro dell'azienda.

L'espressione "*Six Sigma*" si riferisce alla variazione, propria degli output di processo, pari a tre deviazioni standard in più o in meno rispetto al valore centrale, che equivale a fissare l'intervallo di tolleranza della difettosità del prodotto entro il limite  $\pm 3\sigma$ . Definendo come indicatore comune di variabilità della performance di processi differenti, il numero di difetti per milione di opportunità, *DPMO*, definito dal seguente rapporto:

$$DPMO = \frac{\text{numero di unità difettose}}{\text{numero di opportunità di errore per unità} \times \text{numero di unità}} \times 10^6$$

assumere un livello di varianza di  $\pm 3\sigma$  significa fissare il livello di massima difettosità tollerata entro il limite di 2,7 parti per milione.

La metodologia *six sigma* viene applicata mediante il cosiddetto ciclo DMAIC. Ideato da General Electric è un approccio metodologico atto a comprendere e mettere in pratica ciò che il cliente richiede. Consiste di 5 fasi:

**Definizione:** identificazione di clienti e priorità e definizione delle caratteristiche essenziali per la qualità;

**Misurazione:** individuazione delle misure del processo, e delle sue performance;

**Analisi:** analisi delle cause dei difetti;

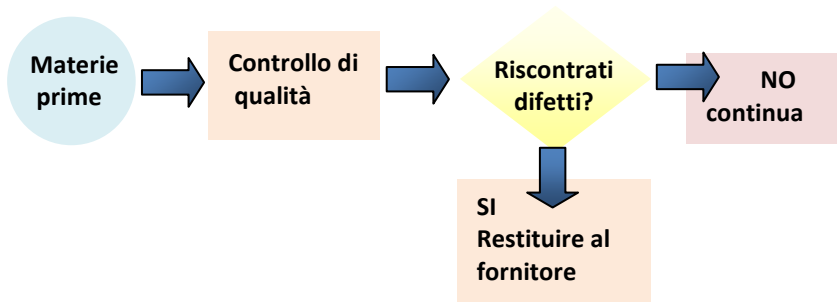
**Miglioramento:** individuazione delle modalità di rimozione delle cause dei difetti e modifica dei processi per rientrare nel range accettato;

**Controllo:** definizione delle modalità di consolidamento dei miglioramenti ottenuti.

Di seguito vengono presentati gli strumenti di applicazione della metodologia *six sigma* che formano un *tool* di sette strumenti statistici divulgati da Ishikawa (Ishikawa , 1990) .

➤ **Diagramma di flusso o Flowchart**

E' lo strumento analitico, molto popolare in svariati campi, usato nella fase di *Definizione* per individuare non conformità di tipo qualitativo. Rappresenta il flusso delle operazioni o l'ordine delle attività. In accordo alla simbologia solitamente usata per i diagrammi di flusso, (figura 4.38) un cerchio generalmente indica l'inizio e la fine delle attività.



*Figura 4.38 Esempio di Flow chart*

Un rettangolo indica una fase del processo o un'azione, mentre il rombo indica un punto di decisione. Questa tecnica consente di fare la mappa di procedure in uso, per studiare ed analizzare i possibili percorsi alternativi.

➤ **Diagramma di funzionamento o Run Chart**

Una *run chart* è la rappresentazione di osservazioni statistiche associate al funzionamento di un processo nel corso del tempo.

Il termine inglese *run* (serie, andamento) ha in questo contesto il significato di un insieme di dati in sequenza. A differenza di istogrammi e distribuzioni di frequenza, che possono mostrare caratteristiche generali del campione di misura ma non possono rivelare circostanze inconsuete o eventi eccezionali che hanno interessato il processo, ordinando i dati in ordine temporale in una *run chart* è invece possibile identificare eventi e tendenze correlate a cause speciali che possono incidere o aver inciso, sulle prestazioni del processo.

Una volta selezionate le caratteristiche del processo che si vuole analizzare ed eseguite le misurazioni dell'osservabile considerato, rispetto al tempo, si calcola la media e la mediana. Si



rappresentano le misure in un piano *tempo-prestazioni* (figura 4.39), si rappresenta la retta parallela all'asse del tempo che rappresenta la mediana e si uniscono le misure in sequenza con una spezzata. Una rappresentazione di questo tipo può dare informazioni circa la presenza di eventuali derive, perturbazioni o assestamenti nel funzionamento del processo. Se i dati mostrano un trend significativo con una sequenza crescente o decrescente ad esempio, questo può essere il sintomo che il processo tende a disporsi in situazioni che potrebbero portarlo fuori controllo. Oppure una sequenza significativa di dati tutta al di sopra o al di sotto della mediana, questo può indicare qualcosa di ciclico che sta avvenendo nel processo (cambiamenti nello stato fisico dell'impianto o fattori di non uniformità nella produzione).

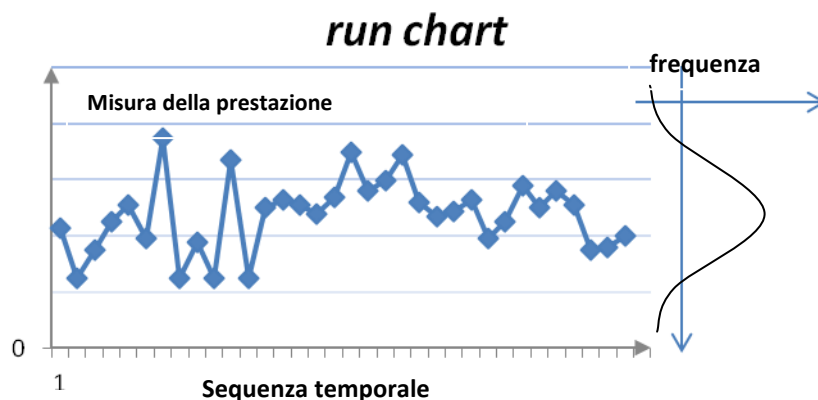


Figura 4.39 Esempio di Run chart

Un andamento altalenante dei dati al di sopra e al di sotto della mediana può indicare un eccessivo lavoro di assestamento del processo: è utilizzato alla fine di una serie di messe a punto dei parametri della macchina.

Ancora, può verificarsi una situazione di *alert*: in cui cioè una sequenza di dati si ripete uguale per un certo intervallo ravvicinato di tempo stando ad indicare che qualcosa di specifico è intervenuto nel processo.

➤ **Diagramma di correlazione**

Il diagramma di correlazione (*scatter diagram*) mostra la correlazione, o meno, fra due variabili, che si pensa siano l'una influenzata dall'altra.

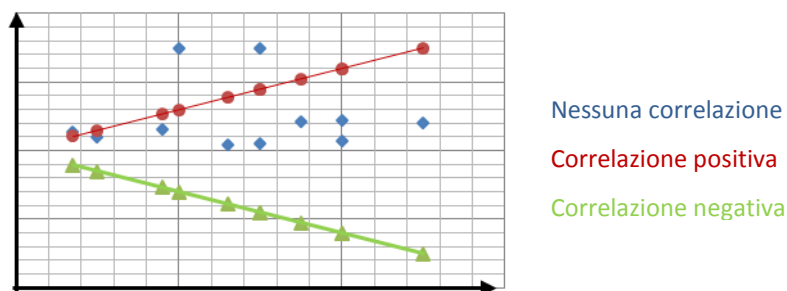


Figura 4.40 Esempio di diagramma di correlazione per serie di dati che mostrano rispettivamente correlazione positiva, negativa e nessuna correlazione.

Possiamo avere (figura 4.40) una correlazione positiva, negativa ed in tal caso i dati si allineano lungo la retta di regressione (o retta di *best fit*), oppure possono mostrare nessuna correlazione

➤ **Istogrammi (e curve di Gauss)**

Un istogramma è un diagramma a barre che mostra la distribuzione di frequenza di una variabile. Utilizzato, ed indispensabile, per calcolare la dispersione di una macchina e la sua tolleranza naturale. Con la dispersione del processo è possibile poi calcolare la CP "*capability process*" riferita ad uno specifico particolare da produrre. Questo strumento è molto versatile per lo studio dei processi, ad esempio anche la forma della dispersione è altrettanto significativa come nel caso prospettato che si può definire "normale". La sagoma della distribuzione e la sua ampiezza, nonché le cuspidi, se sono più di una, sono tutti output che consentono di identificare le cause di un problema.

➤ **Fogli di raccolta dati**

I fogli di raccolta dati sono moduli che permettono di standardizzare la raccolta di informazioni (ad esempio periodi di arresto macchina) mediante spazi specifici predisposti per la registrazione delle informazioni da parte degli addetti (ad esempio causa, frequenza, eventuali note).

➤ **Pareto Chart**

Una caratteristica importante dell'analisi di Pareto è quella legata alla sua versatilità e facilità di applicazione in ogni campo (aspetti di Qualità, di efficienza, di sicurezza, di affidabilità, di costi, ecc.)

Nell'ambito dei processi, il diagramma di Pareto (*Pareto Chart*) è uno strumento di analisi per individuare le cause più importanti che ne influenzano le prestazioni: accade spesso che una grossa percentuale dei difetti riscontrati nella produzione di in un processo sia dovuta a un numero relativamente piccolo di cause. L'analisi di Pareto aiuta ad identificare quei *pochi e vitali* problemi sui quali ci si deve focalizzare.

La prima considerazione da fare è che l'analisi di Pareto utilizza i dati storici; quindi o si hanno a disposizione queste informazioni oppure bisogna raccoglierle in modo sistematico.

L'applicazione dell'analisi e del diagramma di Pareto è basata sulle seguenti fasi:

**1) decidere come classificare i dati**

La prima fase consiste nella scelta del metodo con cui classificare i dati da raccogliere. Supponiamo di voler classificare i prodotti difettosi per tipo di difetto. Ovviamente il campo della raccolta dei difetti dovrà essere opportunamente definito per periodo di osservazione, stabilimento, linea di montaggio, turno di lavoro, ecc.

**2) rilevare i dati ed ordinarli**

Nella seconda fase si deve preparare il foglio di raccolta dati che dovrà essere strutturato in una scheda del tipo: tipi di difetti – numero.

Le registrazioni giornaliere e le somme parziali giornaliere e mensili potranno essere utilizzate anche per successive analisi.

Prima di costruire il diagramma risulta utile, per una visione immediata, riordinare le voci in una nuova tabella in base alla rilevanza del parametro in esame; nell'esempio riportando in tabella 4.2, essendo stata scelta la quantità, si elenca prima il difetto più numeroso, poi il successivo e così via.

Il foglio così compilato costituisce la base per la costruzione del diagramma di Pareto. Viene calcolato infine il valore percentuale di ogni difetto, come rapporto tra numero di difetti di un tipo e il totale dei difetti rilevati.

	Tipologia di difetto	n° pezzi	%
a	Non conformità dimensionali	100	50
b	Montaggio errato	60	30
c	Prestazioni non conformi	20	10
d	Altro	20	10
	Totale	200	100

*Tabella 4.2 Esempio di foglio di raccolta dati*

Ai fini della rappresentazione nel diagramma di Pareto, poiché in generale i tipi di difetti sono numerosi, è utile raggruppare i minori sotto la voce *varie* o *altre cause*.

Tale voce, in generale, dovrebbe risultare sempre all'ultimo posto, quindi numericamente non rilevante, altrimenti vuol dire che in essa sono confluite tipologie di difetti numerosi, che invece meritano una valutazione specifica.

### **3) disegnare il diagramma**

La fase 3 consiste nella rappresentazione grafica dei dati rilevati costruendo un istogramma. Sull'asse verticale viene riportato il numero totale di difetti rilevati, utilizzando una opportuna scala, e sull'asse orizzontale i tipi di difetti mediante 'colonne'.

Nel riportare sull'asse orizzontale i tipi di difetti all'estrema sinistra verrà indicato il difetto rilevato più frequentemente poi gli altri nell'ordine decrescente della tabella.

L'efficacia della rappresentazione dei dati dipende dalla corretta scelta delle scale.

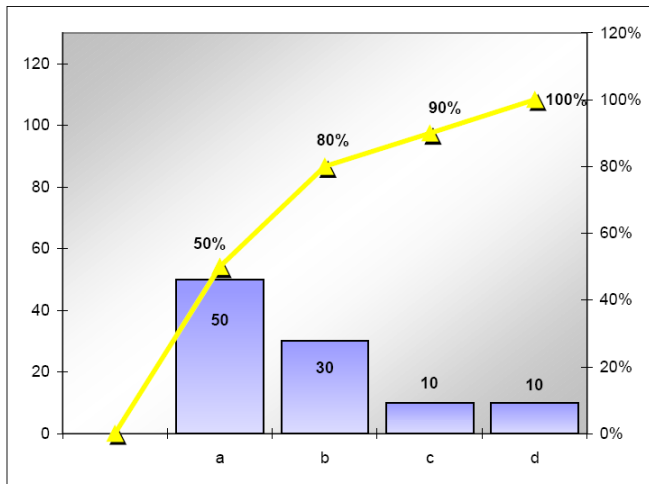
Dal foglio compilato nella fase 2, preso a riferimento, si vede che il difetto più frequente, la non conformità dimensionale, è stato rilevato 50 volte; quindi si tratterà una colonna alta fino al livello 50. Il secondo difetto più frequente, il montaggio errato, è stato rilevato 30 volte: a lato della colonna precedentemente disegnata ne tratteremo un'altra che arrivi al livello 30 e che sia larga come la prima. Con lo stesso criterio si tracciano le altre colonne, sempre rispettando l'ordine decrescente del numero di volte in cui il difetto è stato rilevato.

Sulla estrema destra compare, in verticale, la 'linea delle percentuali'.

### **4) costruire la linea cumulativa**

La fase 4 consiste nel tracciare la cosiddetta linea dei valori cumulati o linea cumulativa. E' rappresentata da una spezzata che va da zero al 100% dei difetti rilevati attraverso successivi segmenti pari alle varie percentuali degli stessi. Il primo segmento congiunge lo zero con il punto che indica il livello 50% dei difetti. Il secondo segmento collega tale punto con quello ad altezza pari alla somma dei difetti del primo e secondo tipo, cioè 80% .

Si ripete il procedimento per il terzo segmento, che arriva a livello 90%; l'ultimo segmento della linea cumulativa terminerà nel punto più alto della scala percentuale, corrispondente al 100% dei difetti.



**Figura 4.41 Pareto chart: numero di difetti in funzione del tipo di difetto**

La rappresentazione così ottenuta (figura 4.43) mette in evidenza le tipologie di difetti più numerose su cui bisogna agire; nell'esempio le non conformità dimensionali e montaggi errati rappresentano l'80% della difettosità totale.

#### 5) aggiungere le informazioni di base

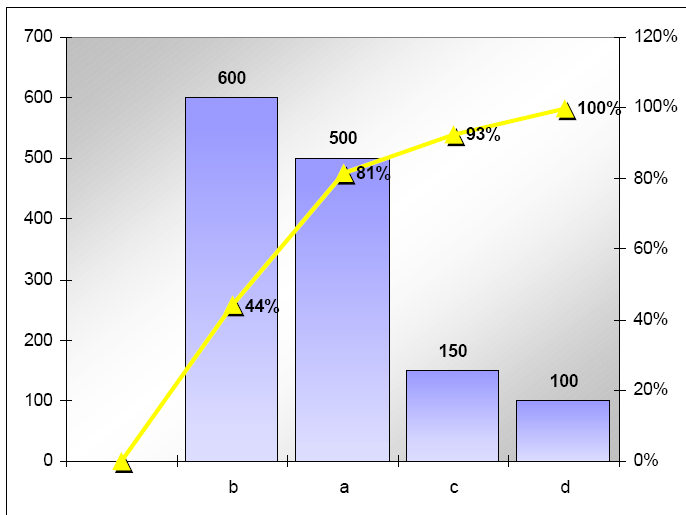
Per il suo corretto utilizzo il diagramma va sempre completato aggiungendo i dati generali come il titolo, il nome di chi ha raccolto i dati, la data, il periodo analizzato, le condizioni di contorno.

Un aspetto molto importante da valutare quando si analizzano i difetti ed i provvedimenti correttivi è quello relativo ai costi di riparazione dei difetti stessi.

Costruire il diagramma di Pareto (figura 4.42) in relazione a questo parametro, anziché rispetto al loro numero, risulta molto efficace: a volte quantità anche molto grandi di difetti possono portare a costi abbastanza modesti mentre pochi difetti di altro tipo possono determinare costi ben più elevati.

Dal diagramma di Pareto precedente si vede che il difetto più frequente è quello di tipo 'a' e su questo bisognerebbe intervenire per ridurre il numero dei pezzi difettosi. Potrebbe darsi che riprendere un certo tipo di difetto sia operazione agevole o veloce o comunque poco costosa e che altri tipi di difetti richiedano smontaggi, rilavorazioni e/o prove che comportano globalmente un costo maggiore.

Ipotizzati i seguenti costi unitari di riparazione: 10 per il difetto di tipo 'a', 20 per 'b', 15 per 'c' e 10 per 'd'; e tracciato un nuovo diagramma di Pareto basato sui costi delle riparazioni (numero di difetti per costo unitario della riparazione) si rileverà che il difetto di tipo 'a', più frequente, passa in secondo piano in termini di costi di riparazione e risulta quindi più efficace intervenire sul difetto di tipo 'b'.



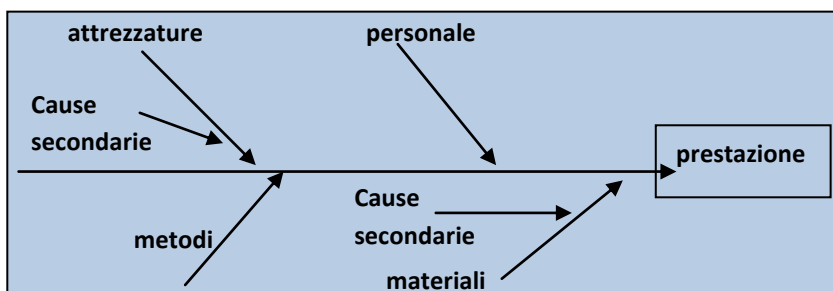
**Figura 4.42 Pareto chart relativa ai costi di riparazione dei difetti**

Il diagramma di Pareto consente di presentare i dati con grande efficacia facilitando la comunicazione ed i processi decisionali, consentendo di individuare le aree dove intervenire prioritariamente e/o con maggior vantaggio economico.

Un altro aspetto di rilievo del diagramma di Pareto consiste nel fatto che permette di confrontare con facilità due rappresentazioni dello stesso fenomeno relative a tempi o a condizioni differenti e quindi di evidenziare i risultati delle azioni di miglioramento effettuate, comprese le modificazioni indotte dagli interventi correttivi sugli altri tipi di difetti.

➤ **Diagrammi di causa-effetto**

Il diagramma di causa-effetto, (figura 4.43) è conosciuto anche come diagramma a lisca di pesce dalla sua forma, oppure diagramma di Ishikawa dal nome del suo divulgatore in Giappone. L'applicazione più importante è di gran lunga quella di elencare, nel corso di un *brain storming*, le cause di uno specifico problema.



**Figura 4.43 Diagramma causa-effetto o anche a lisca di pesce**

Lo strumento è utilizzato spesso volte dal management quando si vuole acquisire ed approfondire la conoscenza di un processo. Costituisce lo strumento di lavoro nella fase *Analyze*. La linea orizzontale rappresenta il problema, le linee derivate sono le cause principali, mentre le

ramificazioni di quest'ultime sono sub-cause o cause secondarie che potrebbero concorrere al manifestarsi del problema indicato nella figura sottostante.

➤ **Carte di controllo o carte X-R**

Introdotte per la prima volta da W.A.Shewhart in Bell Laboratories ed adottate poi dalla Western Electric (1924-1931), la loro utilità è oggi universalmente riconosciuta.

Una *Control Chart* è uno strumento statistico di rappresentazione di dati, usualmente disposti secondo la loro rilevazione temporale, adatto a rappresentare l'andamento di un processo rispetto ai valori attesi.

Utile ad evidenziare scostamenti dovuti a cause speciali, le *Control Chart* (figura 4.44) sono utilizzate per mettere e mantenere sotto controllo processi le cui prestazioni critiche di qualità sono misurabili o classificabili.

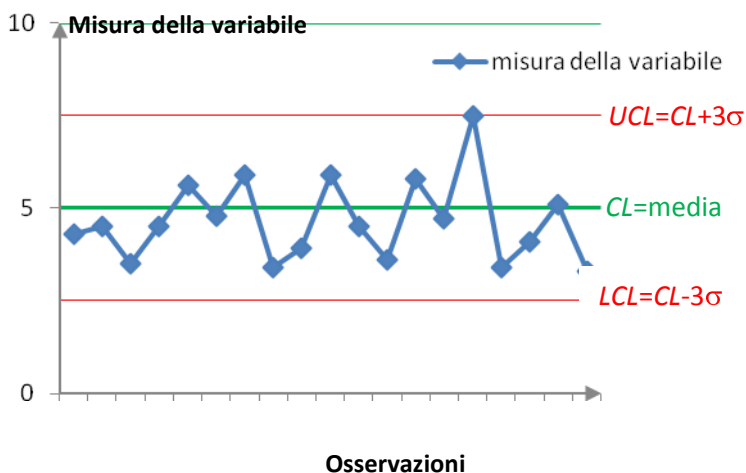
Sulle *Control Charts* sono riportati i limiti naturali UCL e LCL (*Upper e Lower Controls Limit*) del processo, posti convenzionalmente a -3 e +3 volte la deviazione standard (Sigma) o una sua stima rispetto alla media (CL *Center Line*).

Si suddividono in due categorie :

Per Variabili: quando il parametro da controllare è la misurazione numerica di una grandezza fisica (ad esempio i pezzi dei prodotti o i parametri stessi del processo).

Per Attributi: quando il parametro da controllare esprime la difettosità della caratteristica critica (conforme -non conforme, % dei difetti ...etc.).

Spesso, per processi la cui distribuzione di output è normalmente distribuita, ha senso esaminare tale produzione estraendo serie di item prodotti ad intervalli regolari. Tali campioni vanno scelti in modo che siano rappresentativi dell'intera produzione. In letteratura si parla *rational subgroup*.

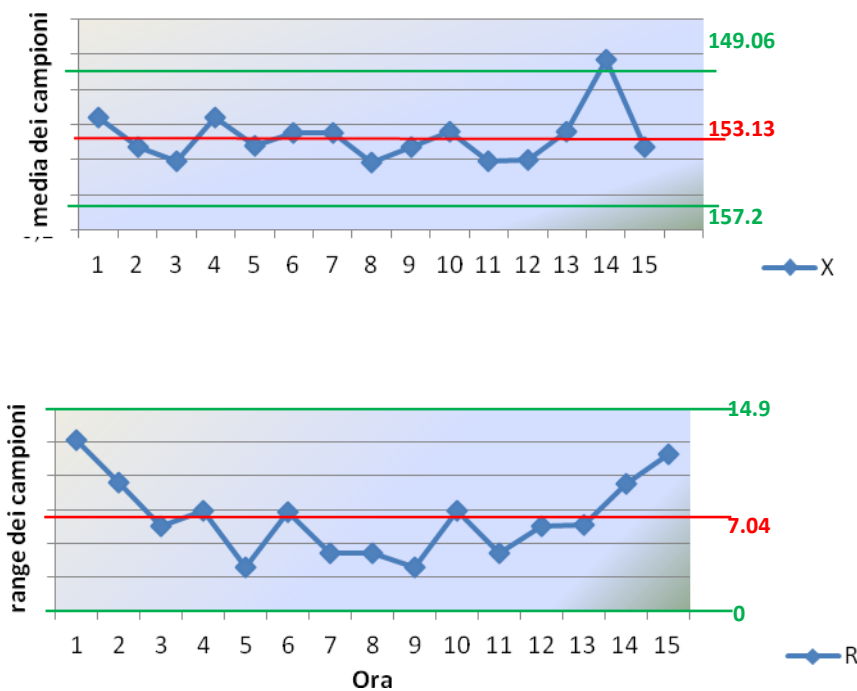


**Figura 4.44 Esempio di Control chart**

Per mettere e mantenere sotto controllo processi le cui prestazioni sono osservate per sottogruppi, si ricorre a due tipi di carte di controllo: la *Xbar Chart* e la *RChart*. Xbar sta per  $\bar{X}$  simbolo della media campionaria, e R (*range*) prende in considerazione l'escursione tra minimo e massimo delle

misurazioni in ogni gruppo. Come si intuisce subito le due carte servono a controllare la media e la dispersione delle prestazioni.

Osserviamo le due carte riportate in figura 4.45. Un primo sguardo ci dice subito che il nostro processo è *abbastanza* sotto controllo. Ovvero sia le medie sia le escursioni tra il minimo e il massimo di ogni sottogruppo non mostrano tendenze evidenti e quasi tutte le misurazioni cadono tra i limiti naturali di controllo. Finora si è parlato di *LCL* e *UCL*, *Lower* e *Upper Control Limit*, e non delle specifiche richieste dal cliente: *Target (T)*, *Lower* e *Upper Specification Limit (LSL e USL)*.



**Figura 4.45 Esempio di X-bar e R chart**

Le oscillazioni rappresentate nel grafico dipendono dal naturale *rumore di fondo* del processo. Fa eccezione la quattordicesima osservazione che cade oltre il limite superiore e sembra indicare un improvviso scostamento della media.

L'unica cosa da fare, in questo caso, è andare ad indagare sull'evento peculiare e stabilire il motivo che lo ha generato. Uno scostamento così evidente scaturisce sicuramente da una causa ben definita (causa speciale) che dovrebbe essere facile individuare e quindi eliminare.

A volte può essere utile stimare la deviazione standard campionaria piuttosto dei range: questo quando l'ampiezza dei campioni è abbastanza grande ( $n > 8$ ), quando è particolarmente importante tenere sotto controllo lo spread, e soprattutto quando l'ampiezza dei campioni non è costante. Procedendo in modo analogo a quanto fatto per le Xbar-R, si calcolano le medie e le deviazioni standard per le statistiche  $\bar{X}$  e  $\bar{S}$ .

I limiti di controllo per la media sono:

$$LCL = \bar{X} - A_2 \cdot \bar{R}$$

$$CL = \bar{X}$$

$$UCL = \bar{X} + A_2 \cdot \bar{R}$$

Ed i limiti di controllo per la deviazione standard sono:

$$LCL = B_3 \cdot \bar{s}CL = \bar{s}$$

$$UCL = B_4 \cdot \bar{s}$$

X-bar Chart Constants			R Chart Constants			S Chart Constants	
N	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
2	1.880	2.659	1.128	--	3.267	--	3.267
3	1.023	1.954	1.693	--	2.574	--	2.568
4	0.729	1.628	2.059	--	2.282	--	2.266
5	0.577	1.427	2.326	--	2.114	--	2.089
6	0.483	1.287	2.534	--	2.004	0.030	1.970
7	0.419	1.182	2.704	0.076	1.924	0.118	1.882
8	0.373	1.099	2.847	0.136	1.864	0.185	1.815
9	0.337	1.032	2.970	0.184	1.816	0.239	1.761
10	0.308	0.975	3.078	0.223	1.777	0.284	1.716
11	0.285	0.927	3.173	0.256	1.744	0.321	1.679
12	0.266	0.886	3.258	0.283	1.717	0.354	1.646
13	0.249	0.850	3.336	0.307	1.693	0.382	1.618
14	0.235	0.817	3.407	0.328	1.672	0.406	1.594
15	0.223	0.789	3.472	0.347	1.653	0.428	1.572
16	0.212	0.763	3.532	0.363	1.637	0.448	1.552
17	0.203	0.739	3.588	0.378	1.622	0.466	1.534
18	0.194	0.718	3.640	0.391	1.608	0.482	1.518
19	0.187	0.698	3.689	0.403	1.597	0.497	1.503
20	0.180	0.680	3.735	0.415	1.585	0.510	1.490
21	0.173	0.663	3.778	0.425	1.575	0.523	1.477
22	0.167	0.647	3.819	0.434	1.566	0.534	1.466
23	0.162	0.633	3.858	0.443	1.557	0.545	1.455
24	0.157	0.619	3.895	0.451	1.548	0.555	1.445
25	0.153	0.606	3.931	0.459	1.541	0.563	1.435

**Tabella 4.1** Costanti per la costruzione delle Control Chart

Le costanti  $A_2, B_3, B_4$  dipendono dall'ampiezza dei sottogruppi e per n=9 (vedi tabella *Control Charts Costants*) valgono:

$$A_2 = 1.0317$$

$$B_3 = 0.2391$$

$$B_4 = 1.7609$$



#### 4.9.5 La qualità nei servizi

Nei servizi le attività di produzione ed erogazione sono contestuali pertanto risulta meno facile la definizione della conformità alle specifiche di prodotto e minori le possibilità di standardizzare il processo produttivo e, quindi, verificare i risultati con dati precisi.

E nel contempo acquistano rilevanza gli aspetti psicologici legati al rapporto fornitore-cliente; ma l'importanza della risorsa umana aumenta la variabilità del risultato.

Si definisce *qualità percepita* dal cliente il differenziale tra il valore globale attribuito all'output produttivo ed i costi complessivi sostenuti per acquisirlo.

La qualità percepita nel servizio dipende dal rapporto tra il Servizio atteso ed il Servizio percepito. Se il servizio atteso è inferiore al servizio percepito allora si parla di Qualità Sorprendente. Se il servizio atteso è pari al servizio percepito allora si parla di Qualità Soddisfacente. Se il servizio percepito è inferiore al servizio atteso allora si dirà Qualità Inaccettabile.

La misura della qualità del servizio può essere valutata utilizzando come strumento il *Servqual*. Si tratta di una metodologia di ricerca mediante questionario sulla qualità percepita.

I fattori opportunamente formulati come domande vengono indicati nel Questionario di Valutazione della Soddisfazione del Cliente.

Il Gruppo di Verifica Ispettiva ha il compito di analizzare le risposte dei questionari ed elaborare un rapporto che evidenzia le non conformità o le problematiche riscontrate. Se nella verifica emergono delle non conformità il responsabile del gruppo deve richiedere alla funzione interessata di attuare tempestivamente delle idonee azioni correttive e preventive; questa deve quindi predisporre uno specifico piano di miglioramento nel quale propone modi, tempi e responsabilità di attuazione delle azioni stesse. Tale piano va approvato dalla direzione generale, e la sua attuazione va verificata e opportunamente documentata dal responsabile del gruppo di verifica.

Per la valutazione dei servizi su Internet è stata elaborata una nuova versione di Servqual, la e-SERVICE QUALITY (e-SQ).

Le dimensioni qualitative del servizio considerate nella metodologia e-SQ comprendono: affidabilità, capacità di risposta, accesso, flessibilità, facilità di navigazione, efficienza, fiducia, privacy e sicurezza, trasparenza sul prezzo, estetica del sito, personalizzazione.

## Capitolo 5 - Il problema di allocazione dei prodotti a scaffale in un magazzino multi-livello con vincoli di compatibilità fra le classi: un modello matematico ed un approccio euristico

### 5.1 Introduzione

A conclusione di questo lavoro di tesi, dopo aver presentato le varie problematiche inerenti l'ottimizzazione della *supply chain* ed una panoramica degli approcci metodologici utilizzati, a partire da questi, si vuole, in questa Sezione del lavoro, individuare e implementare delle soluzioni al fine di ottimizzare uno specifico processo operativo: l'allocazione dei prodotti a scaffale in un magazzino multi-livello con vincoli di compatibilità tra le classi. In particolare, si intende dare un contributo originale a tale problema, definendo un modello matematico ed implementando un approccio euristico.

Come è noto, la merce, una volta scaricata dai mezzi di trasporto, deve trovare una propria collocazione nella area di stoccaggio tramite una politica che permetta un prelievo dei prodotti e che sia, nel contempo, veloce, affidabile e soprattutto poco costoso, ogni qualvolta i diversi articoli vengano inclusi in un ordine. Le decisioni riguardanti la collocazione strategica dei prodotti alle postazioni (noto in letteratura come *Storage Location Assignment Problem, SLAP*) hanno, tipicamente, come obiettivo la minimizzazione della distanza percorsa durante i cicli di prelievo o la massimizzazione dello spazio utilizzato.

In [Kim, K.H., 1993], vengono evidenziati 3 fattori che influenzano tali decisioni: il turnover, la presenza di prodotti a domanda dipendente, la richiesta di spazio destinato allo stoccaggio, fattori che un management efficiente dovrebbe considerare in modo integrato.

Lo *SLAP* è formalmente definito come segue: date le informazioni sull'area di stoccaggio (configurazione fisica e layout), sulle postazioni di stoccaggio (accessibilità, dimensioni, e locazione) e sugli articoli da stoccare (dimensioni, domanda, quantità, tempi di arrivi e spedizioni), si vuole determinare la posizione fisica dove la merce in entrata andrà ad essere collocata, imponendo vincoli e criteri di performance come (Gue et al., 2007):

- (1) Efficienza e capacità di stoccaggio.
- (2) Efficienza del picker in base al tempo di ciclo.
- (3) Tempo di risposta.
- (4) Compatibilità tra prodotti e postazione di stoccaggio e compatibilità tra prodotti.
- (5) Politica di recupero degli articoli: FIFO (first-in, first-out), LIFO (last-in, first-out), BFIFO (batch first-in, first-out).

Facendo una panoramica della letteratura scientifica di settore, si è constatato come l'approccio *Class-based* (ampiamente discusso al paragrafo 2.6.2.2), è sicuramente il più presentato e dibattuto in letteratura [Van den Berg et al. (1996), Heragu et al. (2005), Muppani et al. (2005), Onut et al. (2008), Sanei et al. (2011)] nonché quello a cui si attribuiscono le migliori performance. In letteratura

l'allocazione di ciascuna classe all'interno dell'area dedicata è tradizionalmente casuale, poche sono le trattazioni nelle *Storage Assignment Policies* che considerano le possibili relazioni esistenti tra i diversi prodotti.

La filosofia organizzativa che invece considera la *familiarità* tra i prodotti, (*Family Grouping*) sostanzialmente consiste nel creare *clusters* di prodotti, ossia gruppi costituiti da articoli che presentano una forte correlazione o similarità tra loro.

Bindi et al., (2007) ha proposto approccio sistematico in due fasi consecutive:

- *correlation analysis and clustering* per il processo di raggruppamento in famiglie;
- *priority list and storage position* per il processo di allocazione a magazzino.

Si possono definire vari modi di definire e misurare la similarità tra coppie di oggetti. De Koster et al., (2007) individua due differenti approcci al problema: *Complementary-Based Method* e *Contact-Based Method*.

Il primo metodo, consiste nel creare dei *clusters* di prodotti basandosi sul grado di complementarietà della domanda, analizzando ad esempio la matrice delle correlazioni tra i prodotti/clienti che indica rispettivamente con che frequenza due prodotti compaiono insieme in un ordine oppure con che frequenza due clienti distinti ordinano gli stessi prodotti. Successivamente i prodotti appartenenti allo stesso cluster vengono posizionati il più vicino possibile (Wascher 2004). Con il secondo metodo di raggruppamento in famiglie [Oudheusden et al (1988), (1992)] la formazione dei *cluster* avviene utilizzando come parametro discriminante la frequenza con cui due generici prodotti vengono “in contatto”. In particolare per una data strategia di instradamento degli addetti interna al magazzino, la frequenza di contatto tra un prodotto *i* e un prodotto *j* è definita come il numero di volte che l'addetto preleva il prodotto *j* immediatamente dopo *i* o viceversa. Una volta definite le classi, varie sono le possibilità di posizionare le classi in relazione al metodo di suddivisione dell'area di stoccaggio in un numero di zone pari al numero di classi identificate (figura 2.36).

L'obiettivo di questo lavoro è di formulare un modello matematico che, noto il numero delle classi in cui sono stati clusterizzati i prodotti commercializzati nel magazzino, le allochi nell'area di stoccaggio al fine di minimizzare il costo totale di movimentazione e il decentramento dei prodotti a scaffale.

Il problema specifico, noto come *Product Allocation Problem* (PAP), influenza molte misure di performance di un magazzino (tempo di prelievo, costo, produttività, accuratezza nella messa a magazzino etc.). Pertanto, esso ha attratto l'attenzione di molti ricercatori, interessati a sviluppare modelli efficienti.

In questo lavoro, il tradizionale PAP viene affrontato ponendo particolare enfasi sui vincoli che si presentano nelle situazioni reali.

E', infatti, proposto un modello matematico che considera sia vincoli di compatibilità fra le classi di prodotti (ovvero due classi non possono essere collocate in slots adiacenti qualora esse risultano non compatibili: biscotti e detersivi, ad esempio) e slot di stoccaggio non solo in lunghezza e larghezza ma anche in altezza (magazzino multi-livello, aspetto tridimensionale alla trattazione).

Il problema è classificabile come NP-completo, di conseguenza nasce l'esigenza di sviluppare, accanto ai classici modelli matematici che definiscono approcci risolutivi esatti, anche euristiche (approcci approssimati) in grado comunque di fornire delle “buone” soluzioni ammissibili in tempi di

calcolo “ragionevoli”, sacrificando, in alcuni casi, l’ottimalità della soluzione in favore dell’efficienza con cui essa viene determinata. Tipicamente, la determinazione di buone soluzioni approssimate è quello che basta nelle applicazioni reali (soprattutto se di grandi dimensioni).

## 5.2 Scenario di riferimento

Un interessante approccio euristico, basato sullo schema del Branch&Bound (B&B), è presentato in Sanei et al., (2011).

Il problema di assegnamento dello spazio a magazzino, tradizionalmente definito come un problema di trasporto, è affrontato con particolare attenzione rispetto ai vincoli operativi: per posizionare in maniera strategica i prodotti e favorire le operazioni di stoccaggio e recupero è introdotto nella funzione obiettivo oltre ad costo di flusso anche un costo di penalità (relativamente al decentramento).

Nel lavoro descritto in questa sezione, partendo dal riferimento di Sanei et al., (2011), si considera lo scenario rappresentato in figura 5.1.

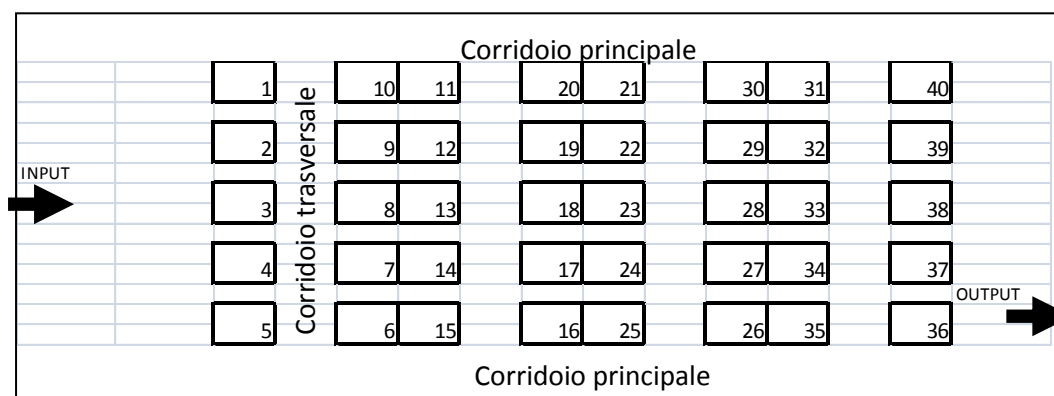


Figura 5.1 Layout considerato

Il layout considerato è caratterizzato da:

1. due corridoi principali e  $w/2$  corridoi trasversali, dove  $w$  (che nell’esempio in Figura 5.1 è pari a 8) indica il numero di posizioni di stoccaggio presenti in orizzontale che può essere variabile purché rimanga sempre un numero pari. Un’altra caratteristica è il numero di posizioni di stoccaggio in verticale (nell’esempio in figura 5.1 pari a 5), anch’esso variabile ma non vincolato ad essere un numero pari.
2. una porta di ingresso (dove cioè avvengono le operazioni in ingresso al magazzino) ed una porta di uscita (dove cioè avvengono le operazioni in uscita dal magazzino);
3. ciascuna postazione di stoccaggio presenta un numero definito di livelli in altezza. Il numero di livelli viene successivamente indicato con  $h$  e quindi ciò significa, ad esempio, che la posizione 1, in figura 5.1, ha sopra di essa altre  $h-1$  posizioni di stoccaggio, così come tutti i restanti slot del magazzino. Pertanto, ogni punto di stoccaggio è identificato da una coppia di indici  $(s,l)$  rappresentativi del blocco e del livello al quale appartiene la

posizione. Quindi si ha, ad esempio, che (1,1) indica la posizione 1 di livello 1, (1,2) indica la posizione 1 di livello 2 e così via;

1. al fine di minimizzare il decentramento dei prodotti, vengono definite posizioni di stoccaggio adiacenti, opposte e posteriori. Ad esempio la posizione 1 ha come posizione adiacente la 2, così come la 2 ha come posizione adiacente la 3 e così via per tutte le posizioni tranne che per la 5, la 10, la 15, la 20, la 25, la 30, la 35 e la 40. Ed ancora, la posizione 1 ha come opposta la posizione 6, la 2 ha come opposta la posizione 7 e così via. Infine esempi di posizioni di stoccaggio in posizioni posteriori sono, ad esempio, la 6 che ha come posizione posteriore la 11, la 7 che ha la 12 ecc. Il fatto di avere più di un livello ha come conseguenza l'introduzione di un nuovo tipo di vicinanza, definito *adiacenza* nello stesso blocco. Così, considerando il layout in figura 5.1 e un numero di livelli per esempio pari a 4, si può dire che la posizione (1,1) ha come posizione adiacente nello stesso blocco la (1,2), così come quest'ultima ha la (1,3) che, a sua volta ha la (1,4), e così via per tutte le altre tranne per quelle che stanno in cima alla scaffalatura. Per quanto concerne la politica di assegnamento ogni classe, determinata in base ad un fissato criterio di determinazione ininfluenza ai fini della generalità del modello, è caratterizzata da una domanda, nota a priori, espressa in unità di carico. Quest'ultime hanno tutte la stessa dimensione indipendentemente dalla classe considerata. Inoltre anche la capacità di uno slot, uguale per tutti, è espressa in unità di carico.
6. In ogni singolo slot possono essere allocate anche due o più classi a patto che queste siano "compatibili" tra loro. La compatibilità deve essere verificata nel medesimo slot si è imposto debba essere rispettata anche negli slot facenti parte dello stesso blocco (dove per blocco si intende la posizione  $s$  comprensiva di tutti i suoi livelli) e negli slot componenti i blocchi adiacenti nello stesso corridoio. Dunque, sempre con riferimento alla figura 5.1, se in una qualche posizione del blocco 1 viene inserita una classe  $i$ , ci si aspetta che nello stesso blocco 1 e in posizioni facenti parte del blocco 2 venga inserita una classe  $j$  compatibile con la classe  $i$ . Così come se nel blocco 2 viene inserita una classe  $c$  ci si attende che nello stesso blocco 2, nel blocco 1 e nel blocco 3 vengano inserite classi compatibili con la classe  $c$ .
7. Infine, dall'ipotesi sulla capacità totale del magazzino deriva una condizione di ammissibilità del problema: la capacità totale del magazzino deve essere in grado di contenere la domanda totale dei prodotti/classi da allocare.

I dati in input al modello sono:

- $N$  insieme delle classi di prodotti,  $i = 1, \dots, n$ ;
- $m$  numero di slot in verticale;
- $w$  numero di slot in orizzontale;
- $h$  numero di livelli in altezza per slot,  $l = 1, \dots, h$ ;
- $S$  insieme degli slot di **primo livello**;  $|S| = m * w$ ;

- C matrice di compatibilità:  $c_{ij} = 1$  se la classe  $i$  è compatibile con la classe  $j$ ; 0 altrimenti;  $\forall i, j = 1, \dots, n$ ;
- P vettore dei costi di sconto/penalità:  $p_1$  sconto applicato se una classe è assegnata a slot adiacenti nel medesimo blocco;  $p_2$  sconto applicato se una classe è assegnata a slot adiacenti nel medesimo corridoio;  $p_3$  sconto applicato se una classe è assegnata a slot opposti;  $p_4$  sconto applicato se una classe è assegnata a slot posteriori;  $p_5$  penalità pagata se una classe è assegnata a slot non adiacenti;
- K insieme delle porte I/O,  $k = 1, \dots, |K|$  ;
- D matrice delle distanze:  $d_{s,l,k}$  distanza (in metri) dello slot  $s$ , di livello  $l$ , dalla porta  $k$ ,  $\forall s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h, k = 1, \dots, |K|$  ;
- F matrice delle movimentazioni:  $f_{ik}$  numero medio giornaliero di movimentazioni (espresso in unità di carico) della classe  $i$  dalla porta  $k$ ,  $\forall i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, |K|$  ;
- $\eta_i$  domanda, in unità di carico, della classe  $i$ ,  $\forall i = 1, \dots, n$  ;
- Cap capacità di un singolo slot, in unità di carico;
- $T_1$  insieme di slot di **primo livello** che hanno uno slot adiacente nel medesimo corridoio;
- $T_2$  insieme di slot di **primo livello** che hanno uno slot opposto;
- $T_3$  insieme di slot di **primo livello** che hanno uno slot posteriore;
- $T_1 \cup T_2 \cup T_3 = S$ ;
- $\varepsilon$  costo per movimentare una unità di carico per un metro.

L'ammissibilità di ciascuna istanza può essere a priori valutata considerando la seguente condizione:

$$W \geq \sum_{i=1}^n \eta_i$$

Dove  $W = m \cdot w \cdot h \cdot Cap$  rappresenta la capacità totale del magazzino.

Le ipotesi del modello sono:

- La capacità complessiva del magazzino è tale da poter contenere tutti i prodotti presi in considerazione.
- I prodotti vengono movimentati in uscita da una porta e movimentati in ingresso da una porta differente;
- Uno slot può contenere soltanto una classe di prodotti;
- Uno slot ha anche postazioni in altezza (multi-livello);
- Uno slot ha postazioni adiacenti nel medesimo blocco; nel medesimo corridoio;
- Uno slot ha postazioni opposte;
- Uno slot ha postazioni posteriori;
- Una classe assegnata ad un determinato slot può avere nello slot adiacente nel medesimo blocco e in quello adiacente nel medesimo corridoio, soltanto classi compatibili con essa.

- Il modello deve prediligere la seguente scaletta di priorità: postazioni adiacenti nel medesimo blocco; adiacenti nel medesimo corridoio; opposte; posteriori e non adiacenti.
- Gli slot hanno tutti la stessa capacità;
- Le unità di carico considerate hanno tutte le stesse dimensioni.

Con riferimento al layout riportato nella figura 5.1, ad esempio:

$T_1$ = adiacenti nel medesimo corridoio = {1,2,3,4,6,7,8,9,11,12,13,14,...}

$T_2$ =opposti= {1,2,3,4,5,11,12,13,14,15,21,22,23,24,25,...}

$T_3$ = posteriori = {6,7,8,9,10,16,17,18,19,20,...}

Definite le variabili decisionali:

- $y_{isl}$  numero di unità di carico di prodotto di classe  $i$  allocate allo slot  $s$  di livello  $l$ ,  
 $\forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h$ ;
- $x_{isl}$  variabile binaria pari a 1 se la classe  $i$  è allocata allo slot  $s$  di livello  $l$ ; 0 altrimenti,  
 $\forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h$ ;
- $z_{isl}^1$  variabile binaria pari a 1 se la classe  $i$  è allocata nello slot adiacente a  $s$  di livello  $l$  nello stesso blocco; 0 altrimenti,  $\forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h$ ;
- $z_{isl}^2$  variabile binaria pari a 1 se la classe  $i$  è allocata nello slot adiacente a  $s$  di livello  $l$  nello stesso corridoio; 0 altrimenti,  $\forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h$ ;
- $z_{isl}^3$  variabile binaria pari a 1 se la classe  $i$  è allocata nello slot opposto a  $s$  di livello  $l$ ; 0 altrimenti,  $\forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h$ ;
- $z_{isl}^4$  variabile binaria pari a 1 se la classe  $i$  è allocata nello slot posteriore a  $s$  di livello  $l$ ; 0 altrimenti,  $\forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h$ ;
- $b_{is}$  variabile binaria pari a 1 se la classe  $i$  è allocata in una posizione di stoccaggio appartenente al blocco  $s$ ; 0 altrimenti,  $\forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|$ ;

il modello è:

$$\min \quad Cost_F + Cost_P - Sav_P$$

s.a.

$$\sum_{s=1}^{|S|} \sum_{l=1}^h y_{isl} = n_i, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (5.1)$$

$$x_{isl} x_{i(s+1)l} = z_{isl}^1, \quad \forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h-1 \quad (5.2)$$

$$z_{isl}^1 = 0, \quad \forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = h \quad (5.3)$$

$$x_{isl} x_{i(s+1)l} = z_{isl}^2, \quad \forall i = 1, \dots, n, s \in T_1, l = 1, \dots, h \quad (5.4)$$

$$z_{isl}^2 = 0, \quad \forall i = 1, \dots, n, s \notin T_1, l = 1, \dots, h \quad (5.5)$$

$$x_{isl} x_{i(s+m)l} = z_{isl}^3, \quad \forall i = 1, \dots, n, s \in T_2, l = 1, \dots, h \quad (5.6)$$

$$z_{isl}^3 = 0, \quad \forall i = 1, \dots, n, s \notin T_2, l = 1, \dots, h \quad (5.7)$$

$$x_{isl} x_{i(s+m)l} = z_{isl}^4, \quad \forall i = 1, \dots, n, s \in T_3, l = 1, \dots, h \quad (5.8)$$

$$z_{isl}^4 = 0, \quad \forall i = 1, \dots, n, s \notin T_3, l = 1, \dots, h \quad (5.9)$$

$$b_{is} + b_{js} \leq 1 + c_{ij}, \quad \forall i = 1, \dots, n-1, j = i+1, \dots, n, s = 1, \dots, |S| \quad (5.10)$$

$$b_{is} + b_{j(s+1)} \leq 1 + c_{ij} , \forall i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, j \neq i, s \in T_1 \quad (5.11)$$

$$\sum_{l=1}^n y_{isl} \leq Cap , \forall s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h \quad (5.12)$$

$$y_{isl} \leq Mx_{isl} , \forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h \quad (5.13)$$

$$b_{is} \leq \sum_{l=1}^h x_{isl} , \forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S| \quad (5.14)$$

$$b_{is} \geq \frac{1}{h} \sum_{l=1}^h x_{isl} , \forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S| \quad (5.15)$$

$$x_{isl} \in \{0,1\} , \forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h \quad (5.16)$$

$$z_{isl}^1, z_{isl}^2, z_{isl}^3, z_{isl}^4 \in \{0,1\} , \forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h \quad (5.17)$$

$$b_{is} \in \{0,1\} , \forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S| \quad (5.18)$$

$$y_{isl} \geq 0 \text{ int} , \forall i = 1, \dots, n, s = 1, \dots, |S|, l = 1, \dots, h \quad (5.19)$$

dove

$$Cost_F = \varepsilon \sum_{k=1}^{|K|} \sum_{s=1}^{|S|} \sum_{l=1}^h d_{sik} \sum_{i=1}^n f_{ik} \frac{y_{isl}}{r_i} \quad (5.20)$$

$$Cost_P = \sum_{i=1}^n [(\sum_{s=1}^{|S|} \sum_{l=1}^h x_{isl}) - 1] p_5 \quad (5.21)$$

$$Sav_P = \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^{|S|} \sum_{l=1}^h (p_1 z_{isl}^1 + p_2 z_{isl}^2 + p_3 z_{isl}^3 + p_4 z_{isl}^4) \quad (5.22)$$

La funzione obiettivo è il *trade-off* tra la minimizzazione dei costi di movimentazione e la minimizzazione del decentramento dei prodotti a scaffale. Il costo totale di movimentazione è rappresentato dalla componente  $Cost_F$ , la quale è influenzata dalle distanze che separano i vari slot dalle due porte di I/O e dal numero medio di operazioni di movimentazione per ciascun prodotto da entrambe le porte. Il decentramento è valutato mediante la differenza  $Cost_P - Sav_P$ . L'obiettivo è quello di allocare, se possibile, l'intera domanda di una generica classe in un unico slot. Quando tale domanda eccede la capacità dello slot e. di conseguenza si deve occupare più di una posizione di stoccaggio, secondo la politica di riduzione del decentramento, si predilige occupare dapprima slot adiacenti nello stesso blocco, poi adiacenti nello stesso corridoio, poi slot opposti, poi ancora slot posteriori e come ultima scelta slot generici (che non rientrano in uno dei quattro casi precedenti). Questa scala di priorità è ottenuta assegnando valori a  $p_1, p_2, p_3$  e  $p_4$  tali per cui  $p_1 > p_2 > p_3 > p_4$ . La penalità  $p_5$  invece viene impostata ad un valore molto superiore rispetto alle precedenti in modo da evitare la possibilità che per una particolare allocazione di una generica classe si possano combinare tra loro diversi sconti la cui somma potrebbe essere superiore rispetto alla penalità  $p_5$ . Ciò spingerebbe il risolutore a creare queste situazioni non saturando ogni singolo slot. Con l'impostazione ad un valore nettamente superiore anche alla somma di tutti gli sconti questo inconveniente viene evitato). Essa viene pagata quando una classe occupa più di uno slot: se la classe  $i$  occupa  $n$  slot allora viene pagata  $n-1$  volte. Questo legame è espresso nella funzione obiettivo dalla componente  $Cost_P$  in cui  $\sum_{s=1}^{|S|} \sum_{l=1}^h x_{isl}$  rappresenta il numero di slot occupati dalla generica classe  $i$ . Ciò spinge il risolutore a saturare la capacità di una posizione di stoccaggio prima di occuparne altre per una stessa classe. Nel momento in cui questa penalità viene pagata, il risolutore è incentivato ad allocare le restanti unità della classe in slot adiacenti nello stesso blocco (ottenendo una riduzione nella funzione obiettivo pari a  $p_1$ ), adiacenti nello stesso corridoio (con



riduzione nella funzione obiettivo pari a  $p_2$ ), e così via seguendo l'ordine di priorità stabilito. Ciò permette di ottenere un'allocazione qualitativamente valida ai fini del decentramento dei prodotti.

I vincoli (5.1) sono i vincoli di soddisfacimento della domanda. I vincoli (5.2) sono i vincoli di legame tra le variabili  $x_{isl}$  e le variabili  $z_{isl}^1$  che rappresentano l'adiacenza nel medesimo blocco. Tale legame esprime che la variabile  $z_{isl}^1$  dovrà essere pari a 1 se e solo se una generica classe  $i$  è allocata in due slot adiacenti nel medesimo blocco; i vincoli (5.3) sono necessari per annullare le variabili  $z_{isl}^1$  che non hanno significato. Ci si riferisce a quelle variabili associate agli slot dell'ultimo livello (in caso di 4 livelli, ci si riferisce agli slot di quarto livello) che vanno annullate affinché non falsino la soluzione del problema. In assenza di questi vincoli, non essendo quest'ultime vincolate in nessun altro modo se non nei vincoli di binarietà, potrebbe accadere, infatti, che il risolutore assegni un valore pari a 1 a queste variabili, visto che comportano una riduzione nella funzione obiettivo, falsando il reale valore di quest'ultima. Per i vincoli (5.4)-(5.9) vale lo stesso discorso dei vincoli (5.2)-(5.3).

I vincoli (5.10)-(5.11) garantiscono, rispettivamente, che in uno stesso blocco e in blocchi adiacenti nel medesimo corridoio vengano inseriti soltanto classi di prodotti fra loro compatibili. Ad esempio, se un'azienda tratta sia prodotti di genere alimentare che detersivi, ci si aspetta che questi non siano stoccati in posizioni limitrofe. Lo stesso vale per articoli appartenenti e non alla catena del freddo. Pertanto, la considerazione di questo aspetto rende il modello matematico flessibile e adatto anche a realtà aziendali che presentano un portafoglio prodotti diversificato.

Si noti che il vincolo (5.10) viene scritto  $\forall i = 1, \dots, n - 1, j = i + 1, \dots, n$  (dove  $i$  e  $j$  rappresentano entrambi le classi di prodotti) e non  $\forall i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n$ . Questo per due motivi: il primo è che la matrice di compatibilità è una matrice simmetrica mentre il secondo è che una classe è sempre compatibile con se stessa. In tal modo si evita l'inconveniente della ridondanza di alcuni vincoli e ciò permette di recuperare "memoria" ai fini della risoluzione di grosse istanze. Il vincolo (5.11) invece viene scritto per  $j \neq i$ , sempre per il motivo che una classe è sempre compatibile con se stessa.

I vincoli (5.12) sono quelli sulla capacità di ogni singolo slot. I vincoli (5.13) sono i vincoli di legame tra le  $y_{isl}$  e le  $x_{isl}$ . La relazione da esprimere è:  $y_{isl} > 0 \Leftrightarrow x_{isl} = 1$ . In realtà, con questo vincolo, si garantisce soltanto che se  $y_{isl} > 0$  allora  $x_{isl}$  deve essere pari a 1 ma non si garantisce la relazione inversa, ossia se  $x_{isl} = 1$  deve essere  $y_{isl} > 0$ . Tuttavia, all'ottimo, tale situazione non è riscontrabile in quanto il settaggio a 1 di una  $x_{isl}$  la cui relativa  $y_{isl}$  è 0 comporterebbe il pagamento della penalità  $p_5$  che potrebbe invece essere evitato. Di fatto viene dunque soddisfatta implicitamente anche la relazione inversa. Il gruppo di vincoli (5.14)-(5.15) garantisce il legame tra le variabili  $x_{isl}$  e le variabili  $b_{is}$ . La relazione che deve essere rispettata è che se  $\sum_{l=1}^k x_{isl} > 0$  vuol dire che nel blocco  $s$  è stata allocata la classe  $i$  e pertanto la relativa  $b_{is}$  deve essere posta pari a 1. Se, invece,  $\sum_{l=1}^k x_{isl} = 0$  allora la relativa  $b_{is}$  deve essere pari a 0. Infine i vincoli (5.16)-(5.19) sono i vincoli di binarietà e di non negatività e interezza.

### 5.2.1 Linearizzazione del Modello

Il modello, formulato al paragrafo precedente, rientra nella categoria dei problemi di PNL. La sua risoluzione richiede la trasformazione del problema in forma lineare. Si è proceduto allora con la linearizzazione di quei vincoli che rendono appunto il problema non lineare. Più precisamente, al posto delle equazioni (5.2), (5.4), (5.6) e (5.8) sono state inserite rispettivamente le coppie di vincoli:

$$z_{isl}^1 \leq x_{isl}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad s = 1, \dots, |S|, \quad l = 1, \dots, h-1 \quad (5.23)$$

$$z_{isl}^1 \leq x_{i(s+1)l}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad s = 1, \dots, |S|, \quad l = 1, \dots, h-1 \quad (5.24)$$

$$z_{isl}^2 \leq x_{isl}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad s \in T_1, \quad l = 1, \dots, h \quad (5.25)$$

$$z_{isl}^2 \leq x_{i(s+1)l}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad s \in T_1, \quad l = 1, \dots, h \quad (5.26)$$

$$z_{isl}^3 \leq x_{isl}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad s \in T_2, \quad l = 1, \dots, h \quad (5.27)$$

$$z_{isl}^3 \leq x_{i(s+m)l}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad s \in T_2, \quad l = 1, \dots, h \quad (5.28)$$

$$z_{isl}^4 \leq x_{isl}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad s \in T_3, \quad l = 1, \dots, h \quad (5.29)$$

$$z_{isl}^4 \leq x_{i(s+m)l}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad s \in T_3, \quad l = 1, \dots, h \quad (5.30)$$

La relazione garantita dai vincoli sostituiti naturalmente continua a valere: le variabili  $z_{isl}^1, z_{isl}^2, z_{isl}^3, z_{isl}^4$  saranno pari a 1 se e solo se le relative variabili  $x_{isl}$  lo saranno anch'esse contemporaneamente. Teoricamente, riferendosi per esempio alla coppia (5.23)-(5.24), quando le relative variabili  $x_{isl}$  sono nel contempo pari a 1, la variabile  $z_{isl}^1$  può anche essere pari a 0. Tuttavia, all'ottimo, tale situazione non è possibile per questo motivo: si supponga di aver trovato una soluzione ottima in cui si verifica una situazione come quella appena descritta. Se la variabile  $z_{isl}^1$  fosse pari a 1 anziché 0, la coppia di vincoli (5.23)-(5.24) sarebbe ugualmente soddisfatta ed inoltre la funzione obiettivo sarebbe minore perché il settaggio a 1 della  $z_{isl}^1$  comporterebbe uno sconto pari a  $p_j$ . Ciò significa che è stata trovata una soluzione ammissibile con un valore di funzione obiettivo inferiore al valore della funzione obiettivo della soluzione ottima. E questo contraddice l'ipotesi iniziale di aver trovato una soluzione ottima.

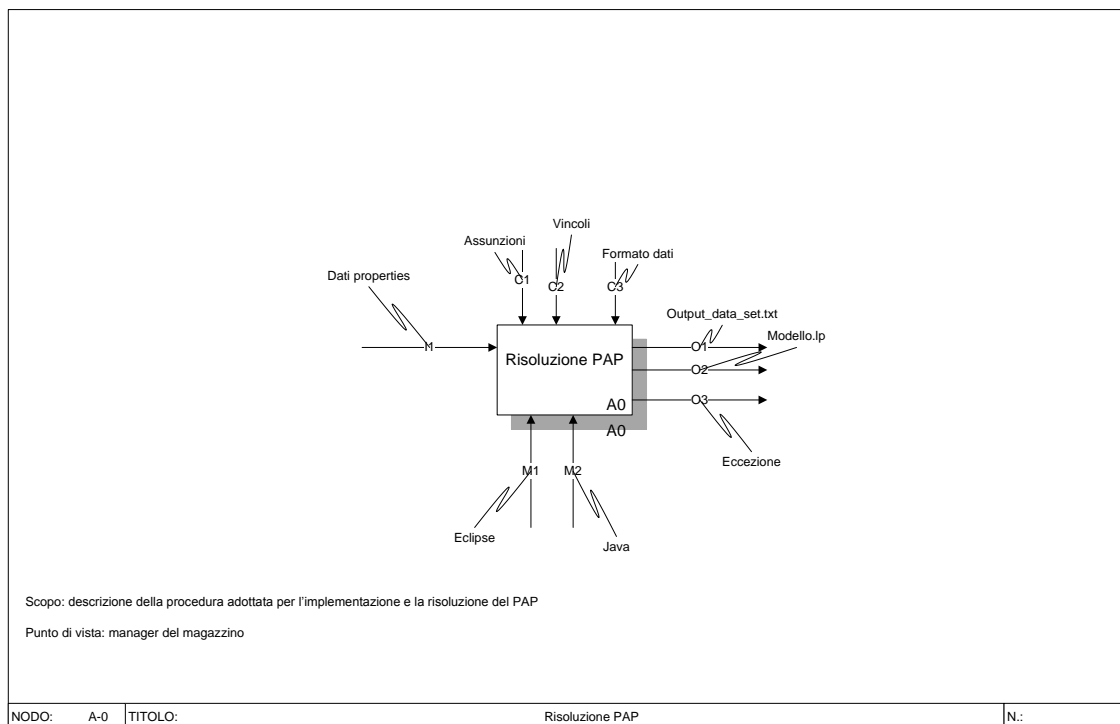
### 5.3 Implementazione del modello

Il software scelto per la risoluzione del PAP in questione è *ILOG CPLEX* versione 10, un ottimizzatore di problemi lineari o quadratici. Tale software permette di operare in differenti modalità. In questo caso si è optato per l'implementazione del modello con la modalità *Concert Technology*: si tratta di un insieme di librerie che permette di estendere l'utilizzo di *ILOG CPLEX* alle applicazioni Java, C++ o .NET, sfruttando Eclipse (un ambiente di sviluppo integrato multi-linguaggio, multiplatforma e open source) e il linguaggio Java.

I dati forniti come input a Cplex sono i coefficienti della funzione obiettivo ( $c_1, \dots, c_n$ ), i coefficienti dei vincoli ( $a_{11}, \dots, a_{mn}$ ), i termini noti a secondo membro dei vincoli ( $b_1, \dots, b_m$ ) e i limiti superiori ( $u_1, \dots, u_n$ ) e inferiori ( $l_1, \dots, l_n$ ) delle variabili.

Come output Cplex restituisce i valori delle variabili in corrispondenza di una soluzione ottima  $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$  ed il valore della funzione obiettivo  $f(x^*)$ .

Con l'ausilio del linguaggio IDEF0 è, di seguito, in figura 5.2 schematizzato il processo eseguito per la risoluzione del problema. Le frecce entranti in un processo da sinistra identificano gli input; quelle entranti da sotto identificano i meccanismi usati per risolvere il processo; quelle entranti da sopra in un processo identificano i controlli ed infine quelle uscenti identificano gli output.



**Figura 5.2** *Rappresentazione schematica della procedura adottata per l'implementazione e la risoluzione del PAP*

La risoluzione di una istanza del PAP particolare passa attraverso lo svolgimento di 4 processi:

1. Creazione file *.properties*: viene creato un file contenente il numero di classi di prodotti trattati, i parametri di layout dell'area di stoccaggio (numero di slot in verticale, numero di slot in orizzontale, numero di livelli, numero di porte, capacità degli slot), il costo unitario di movimentazione e i valori relativi agli sconti, ottenibili in base al posizionamento, e alla penalità, da sostenere nel caso di occupazione di più slot da parte di una generica classe;
2. Generazione istanza: attraverso l'implementazione di una classe denominata *GeneratorPap* viene letto il file creato con l'esecuzione del primo processo e vengono completati i parametri di input del modello con la generazione di ulteriori dati quali la domanda delle singole classi, la distanza di ogni slot dalla porta di ingresso e dalla porta di uscita, la matrice di compatibilità tra le classi e

infine il numero medio giornaliero di movimentazioni da entrambe le porte di ogni classe di prodotto. Il tutto viene memorizzato in un file denominato *Data\_set.txt*;

3. Inizializzazione strutture dati: la classe implementata nel terzo processo è denominata *DataSetManager* e ha la funzione di leggere il file *Data\_set.txt* e inizializzare tutte le strutture dati che compongono la classe *PAP* adibita alla risoluzione dell'istanza;
4. Risoluzione istanza: nella classe *PAP* è implementato l'intero modello comprensivo dei dati di input, delle variabili decisionali e dei vincoli che delimitano la regione ammissibile dell'istanza. A questo punto viene richiamata la libreria *CPLEX* che permette di risolvere il problema. L'output di questa fase può assumere tre diverse forme:
  - a. Viene fornita la soluzione (inammissibile, ammissibile o ottima) dell'istanza trattata in un file denominato *Output\_data\_set.txt* in cui vengono memorizzate anche altre informazioni quali la complessità dell'istanza (data dal numero di variabili e dal numero di vincoli), l'indice di saturazione della capacità totale del magazzino, il tempo impiegato per trovare la soluzione e la matrice di compatibilità tra le classi di prodotto - insieme alla forma esplicita del modello memorizzata in un file denominato *modello.lp*;
  - b. Viene stampato un messaggio nel file *Output\_data\_set.txt* che avvisa che la condizione di ammissibilità del problema non è soddisfatta. In tal caso, ai fini della generazione di istanze utili per la fase di *testing* del modello, si può procedere o cambiando il range di valori all'interno del quale vengono generate le domande delle varie classi di prodotto oppure si può modificare la capacità degli slot;
  - c. Viene visualizzato un messaggio di tipo *out of memory* che indica l'insufficienza di memoria nella risoluzione dell'istanza. Ciò accade quando si cerca di risolvere istanze molto complesse.

### **5.5.1 Generazione delle istanze test**

Per problemi NP-hard, e, soprattutto, su istanze di grandi dimensioni, il tempo di calcolo per la determinazione della soluzione ottima, da parte di Cplex, è spesso inaccettabile. Da qui la necessità di interrompere Cplex prima della sua naturale conclusione, ed ecco che in tal caso diventa conveniente considerare alcuni parametri che hanno il compito di gestire al meglio questa "ricerca abbreviata".

Tale analisi è stata condotta generando diverse *istanze*. Con il termine "*istanza*" si intende una particolarizzazione del modello in cui vengono fissati i parametri critici dello stesso: numero di prodotti da allocare ( $n$ ), capacità di ogni posizione di stoccaggio ( $Cap$ ), numero di slot in verticale ( $m$ ), orizzontale ( $w$ ) e in altezza ( $h$ ). Esistono poi altri parametri, comuni a tutte le istanze, che quantificano la penalità da sostenere nel caso di occupazione da parte di un prodotto/classe in più di uno slot, gli sconti per le posizioni adiacenti, opposte e posteriori e infine il costo unitario di movimentazione. La generazione delle istanze è stata realizzata utilizzando un apposito algoritmo codificato in Java, che, ricevuti i parametri caratterizzanti l'istanza, genera i rimanenti dati di input del modello matematico. Ognuna di tali istanze, indicate in tabella con prob5, prob10...prob100 si distingue per il numero di classi. Ad esempio prob5 si riferisce ad un'istanza in cui  $n=5$  e così via. Per ognuno di queste istanze sono stati considerati tre potenziali scenari (in

base al grado di compatibilità tra le classi):  $S$  corrisponde allo scenario definito “semplice” in cui cioè si ipotizza che tutti i prodotti/classi siano compatibili;  $MC$  indica uno scenario mediamente complesso (cioè poche incompatibilità) ed infine  $C$  identifica uno scenario complesso (con tante incompatibilità).

### 5.5.2 Setting dei parametri

Il parametro  $\epsilon$ , che rappresenta il costo per movimentare una unità di carico per un metro, è stato fatto variare tra  $0.1 \div 1$ ; e per ogni valore è stato calcolato sia il tempo di calcolo (in secondi) impiegato da Cplex che il costo complessivo ottenuto (in €), per ciascuna istanza con  $n=5,10,20,50,80,100$  classi, per il solo scenario  $s$  (tutti prodotti compatibili). Ciò è stato fatto al fine di scegliere per questo parametro di controllo il miglior valore possibile nel range.

I parametri di layout sono stati fissati, invece, ai seguenti valori:  $m=h=k=2$ ;  $w=4$ ;  $p_1=10$ ;  $p_2=8$ ;  $p_3=6$ ;  $p_4=4$  e  $p_5=10000$ .

Per la determinazione di  $\epsilon$ , inoltre, sono stati impostati altri due parametri fondamentali che determinano il raggio d'azione del solutore *Cplex*:

- I tempo limite, denominato *CPU budget* (descritto in precedenza): 7200 secondi (2 ore);
- L a memoria limite, denominata *Tree budget* (ossia la dimensione massima in MB dell'albero di *Branch&Bound* costruito dal solutore): 1000 MB.

In tabella 5.1 è riportata l'analisi in questione: i casi in rosso sono rappresentativi di istanze su cui il solutore Cplex fornisce la soluzione ottima; per quelli in nero Cplex fornisce soluzione ammissibile. Per ciascun valore di  $\epsilon$  è stato calcolato il valore medio di tempo di calcolo impiegato da Cplex, sulle istanze considerate, il valore medio di costo e lo scostamento dei valori medi dai valori minimi. Il tempo minimo fra tutti i tempi medi registrati al variare di  $\epsilon$  risulta pari a 4688.193 secondi, mentre il costo medio minimo è di 21218,98 euro. Nell'ultima riga è riportato, quindi, il *Differenziale* rispetto a tali valori. In corrispondenza di  $\epsilon=0.6$  il *Differenziale* tra il tempo medio ed il minimo tempo medio è nullo, mentre per  $\epsilon=0.1$  risulta nullo il differenziale tra il costo medio ed il minimo tra tutti i costi medi. Il giusto compromesso ( *$\epsilon$  best*), è stato individuato, considerando il miglior *trade-off* tra i differenziali dei valori medi dai valori minimi, in corrispondenza di  $\epsilon=0.6$ .

In tabella quindi, è evidenziato in verde, questo che rappresenta il valore ottimo ottenuto.

Quest'ultimo è stato utilizzato per la determinazione del *CPU budget best* da assegnare al solutore per i successivi test. I risultati sono riportati in tabella 5.2.

Problema\eps	0,1		0,2		0,3		0,4		0,5	
	Tempo (s)	Costo (€)	Tempo (s)	Costo (€)	Tempo (s)	Costo (€)	Tempo (s)	Costo (€)	Tempo (s)	Costo (€)
<b>Prob5 S</b>	0,984375	10611,1	0,75	11232,2	0,59375	11846,99	0,578125	12462,66	0,5625	13078,32
<b>Prob10 S</b>	195,5938	41246,902	71,921875	42531,81	42,70313	43812,71	55,765625	45095,61	38,60938	46378,51
<b>Prob20 S</b>	7154,625	42776,854	7170,921875	45583,82	7078,063	48395,73	7137,09375	51210,63	7167,938	54012,492
<b>Prob50 S</b>	7181,047	7168	7183,328125	14336	7180,422	21513,9	7182,109375	28698,8	6873,688	35840
<b>Prob80 S</b>	7179,703	11356,1	7183,59375	22715	7127,594	34059,9	7138,25	45464,8	7144,828	56796
<b>Prob100 S</b>	7168,453	14154,8999	7185,234375	28292,6	7108,875	42438,3	7181,109375	56598	7146,844	70731,5
<b>media</b>	4813,401	21218,976	4799,291667	27448,57	4756,375	33677,92	4782,484375	39921,75	4728,745	46139,47033
<b>differenziale</b>	4813,401	0	4799,291667	6229,595	4756,375	12458,95	4782,484375	18702,77	40,55208	24920,49434

0,6		0,7		0,8		0,9		1	
Tempo (s)	Costo (€)	Tempo (s)	Costo (€)	Tempo (s)	Costo (€)	Tempo (s)	Costo (€)	Tempo (s)	Costo (€)
0,5625	13693,99	0,625	14309,65	0,578125	14925,32	0,609375	15540,98	0,640625	16156,65
49,78125	47661,42	47,82813	48944,32	53,78125	50227,22	73,75	51510,122	56,35938	52793,03
7137,438	56823,39	7181,375	59636,29	7184,0625	62447,26	7147,469	62439,188	7161,797	68058,99
6601,453	43041,6	7178,422	50176	7182,921875	57344	7182,781	64512	7178,89	71747
7150,922	68062,2	7157,938	79408	7140,74	90862,4	7159,484	102213,9	17178,047	113521
7189	81882,6	7148,047	99047,9	7183,296875	113227,2	7152,35	127353,6	7192,969	141508
4688,193	51860,87	4785,706	58587,03	4790,896771	64838,9	4786,074	70594,965	4794,784	77297,44
0	30641,89	97,51302	37368,05	102,7040625	43619,92	97,88125	49375,989	106,5911	56078,47

Tabella 5.1 - Determinazione dell'epsilon best

Problema\CPU budget	1h			2h			3h			4h			5h			6h		
	Tempo (s)	Costo (€)	Gap	Tempo (s)	Costo (€)	Gap	Tempo (s)	Costo (€)	Gap	Tempo (s)	Costo (€)	Gap	Tempo (s)	Costo (€)	Gap	Tempo (s)	Costo (€)	Gap
Prob5_S	0,5625	13693,988	0,57%	0,5625	13693,99	0,57%	0,578125	13693,99	0,57%	0,59375	13693,99	0,57%	0,59375	13693,988	0,57%	0,578125	13693,99	0,57%
Prob10_S	49,46875	47661,4151	0,01%	49,78125	47661,42	0,01%	49,59375	47661,42	0,01%	49,09375	47661,42	0,01%	49,34375	47661,4151	0,01%	49,45313	47661,42	0,01%
Prob20_S	3589,9531	56828,945	0,30%	7137,438	56823,39	0,27%	10771,72	56823,39	0,27%	14361,5625	56823,39	0,26%	17952,55	56823,391	0,26%	21540,8	56823,39	0,25%
Prob50_S	3577,9063	43044	0,26%	6601,453	43041,6	0,26%	10731,64	43033,8	0,23%	14346,14063	43041,6	0,25%	17888,61	43041,6	0,25%	21522,31	43041,6	0,25%
Prob80_S	3584,0156	68062,2	0,10%	7150,922	68062,2	0,09%	10703,02	68062,2	0,09%	14261,90625	68062,2	0,09%	17934,72	68062,2	0,09%	21401,5	68062,2	0,09%
Prob100_S	3592,9844	84883,2	0,09%	7189	81882,6	0,09%	10775,88	84874,2	0,08%	14362,79688	84876	0,08%	17945,86	84876,59999	0,08%	21541,36	84880,8	0,08%
media	2399,1484	52362,29135	0,222%	4688,193	51860,87	0,215%	7172,07	52358,17	0,208%	9563,682292	52359,77	0,210%	11961,95	52359,86568	0,210%	14342,67	52360,57	0,208%
differenziale	0	501,4253517	0,013%	2289,044	0	0,007%	4772,922	497,2997	0,000%	7164,533854	498,8997	0,002%	9562,797	498,9996833	0,002%	11943,52	499,6997	0,000%

Tabella 5.2 - Determinazione del CPU budget best

Per ciascun valore di CPU è riportato anche lo scostamento tra la soluzione fornita dall'euristica e la soluzione fornita da Cplex.

Anche in questo caso, considerando che il tempo medio minimo registrato è pari a 2399,15 secondi, il costo medio minimo è pari a 51860,86 euro e il gap medio minimo è dello 0,007%, la scelta migliore, è basata sul miglior *trade-off* tra queste misure ed è ricaduta sulle 2 ore.

I parametri ritenuti maggiormente incidenti sulla performance del modello sono stati individuati nel numero di classi di prodotti trattati, numero di slot in verticale, numero di slot in orizzontale, numero di livelli, infine, capacità di ogni singolo slot.

Al variare dei suddetti parametri, si è analizzato il comportamento del modello matematico per mezzo di indicatori di performance quali la complessità del modello, la qualità della soluzione fornita dal solutore, il costo computazionale e infine il grado di decentramento della soluzione. In particolare, la complessità del modello è misurata nel numero di variabili e di vincoli dell'istanza presa in considerazione; per qualità della soluzione si intende soluzione ottima oppure ammissibile (nelle tabelle che seguiranno, la convenzione adottata prevede che le istanze per cui si ha la soluzione ottima siano evidenziate in rosso, mentre quelle per cui si ha soltanto una soluzione ammissibile siano scritte in nero); il costo computazionale è rappresentato dal tempo (in secondi) impiegato dal solutore per fornire la soluzione dell'istanza; infine il grado di decentramento della soluzione è valutato attraverso un coefficiente determinato come:

$$1 - \left( \frac{\text{valore peggiore} - \text{valore corrente}}{\text{valore peggiore}} \right) \quad (5.31)$$

dove:

- il *valore peggiore* rappresenta il valore più alto di decentramento ottenibile nell'istanza considerata ed è calcolato come

$$n[(mwh - 1) * p_5] \quad (5.32)$$

in cui  $p_5$  è la penalità pagata per l'occupazione di due o più slot da parte di una classe di prodotto;

- il *valore corrente* è la differenza tra il costo di penalità e lo sconto dell'istanza considerata.

### 5.5.3 Analisi di sensitività

E' stata effettuata quella che in letteratura si chiama *analisi di sensitività* sul modello matematico lineare sviluppato.

Nelle tabelle successive con  $\varepsilon = 0.6$ , facciamo variare i parametri di layout, per ciascuna istanza e per ciascuno dei tre scenari considerati.

Di seguito è riportato l'esito dello studio di sensitività al variare del numero di classi di prodotti trattati. In tabella 5.3 sono riportati i risultati numerici.



Istanza	n	N° variabili	N° vincoli	Scenario	Tempo di calcolo (s)
Prob5	5	3000	7461	S	0,875
				MC	1,234
				C	2,063
Prob10	10	6000	16326	S	2,750
				MC	8,469
				C	47,313
Prob20	20	12000	38556	S	46,000
				MC	105,234
				C	5675,563
Prob50	50	30000	141246	S	7179,438
				MC	7175,609
				C	7188,484
Prob80	80	48000	297936	S	7162,094
				MC	7183,984
				C	7172,344
Prob100	100	60000	432396	S	7159,313
				MC	7177,547
				C	7157,375

Tabella 2.3 - Variazione n con m=4; w=6; h=4;k=2; Cap=100.

Al variare di n, il modello si comporta come un classico modello *NP-hard*, in quanto, la complessità cresce esponenzialmente all'aumentare del parametro considerato. In corrispondenza dell'istanza *Prob20*, nella quale lo scarto tra il tempo impiegato per calcolare la soluzione ottima negli scenari S e MC e il tempo impiegato per calcolare la soluzione ottima nello scenario C è particolarmente elevato. L'analisi del modello matematico relativa al parametro capacità è stata condotta, quindi, su una sola istanza, *Prob20*. Nella tabella 5.4 è sintetizzato l'esito di questa fase di studio.

All'aumentare della capacità di ogni singolo slot diminuisce il grado di difficoltà che il solutore incontra nel calcolare l'allocazione ottimale, in quanto, avendo più spazio a disposizione in ogni slot, è maggiore la probabilità di allocare l'intera domanda di una generica classe di prodotto all'interno di un'unica posizione di stoccaggio. Ciò comporta una riduzione delle potenziali combinazioni da analizzare e quindi una riduzione dell'albero di *Branch&Bound* costruito dal solutore che si riflette nell'ottenimento di una soluzione di qualità migliore.

Con una capacità che va dalle 100 unità di carico in poi, infatti, *CPLEX* trova la soluzione ottima, per l'istanza corrente, indipendentemente dal grado di compatibilità in un tempo ragionevole. È da notare inoltre, la diminuzione del grado di decentramento all'aumentare della capacità. A questo punto viene valutato l'impatto che la variazione, dei parametri *m*, *w* e *h* ha sul costo computazionale sostenuto dal solutore e sulla qualità della soluzione ottenuta.

Capacità (in udc)	Scenario	Tempo di calcolo (s)	Grado decentramento (%)
11	S	7035,047	4,050%
	MC	7176,766	4,103%
	C	7151,766	4,102%
20	S	7175,344	1,999%
	MC	7160,078	1,999%
	C	7111,234	1,999%
30	S	7175,672	1,210%
	MC	7176,844	1,210%
	C	7176,594	1,210%
50	S	7177,063	0,421%
	MC	7164,563	0,421%
	C	7179,156	0,421%
80	S	7176,766	0,158%
	MC	7154,438	0,158%
	C	7136,375	0,158%
<b>100</b>	<b>S</b>	46,000	0,000%
	<b>MC</b>	105,234	0,000%
	<b>C</b>	5675,563	0,000%
<b>150</b>	<b>S</b>	48,344	0,000%
	<b>MC</b>	232,359	0,000%
	<b>C</b>	829,422	0,000%
<b>200</b>	<b>S</b>	45,594	0,000%
	<b>MC</b>	75,406	0,000%
	<b>C</b>	313,828	0,000%

**Tabella 5.4 - Variazione Capacità con  $n=20$ ;  $m=4$ ;  $w=6$ ;  $h=4$**

In particolare, la complessità, in termini di numero di variabili e di vincoli, aumenta in maniera lineare con l'aumentare del valore assegnato ai parametri in esame, mentre per il decentramento la capacità degli slot è impostata ad un valore tale da permettere che il grado di decentramento rimanga costante e quindi ininfluenza ai fini del controllo di performance.

I test sono stati eseguiti considerando tutte le istanze (da *Prob5* a *Prob100*) e tutti e tre gli scenari di compatibilità. Nella tabella 5.7 sono riportati i valori assegnati ai parametri costanti mentre nelle tabelle successive quelli in corrispondenza della variazione dei parametri  $m$ ,  $w$  e  $h$ .

<i>Parametri</i>			
<i>m</i>	<i>variabile</i>	4	4
<i>w</i>	6	<i>variabile</i>	6
<i>h</i>	4	4	<i>variabile</i>
<i>k</i>	2	2	2
<i>Cap</i>	100	100	100
$\varepsilon$	0,6	0,6	0,6
<i>P1</i>	10	10	10
<i>P2</i>	8	8	8
<i>P3</i>	6	6	6
<i>P4</i>	4	4	4
<i>P5</i>	10000	10000	10000

*Tabella 5.7 – Valori dei Parametri costanti al variare del parametro in esame*

Istanza	h	Scenario	Tempo di calcolo (s)	
Prob5	4	S	0,875	
		MC	1,234	
		C	2,063	
	5	S	1,031	
		MC	2,328	
		C	3,094	
	6	S	1,109	
		MC	3,344	
		C	4,063	
	7	S	1,328	
		MC	3,984	
		C	5,938	
	8	S	1,609	
		MC	4,375	
		C	6,688	
	9	S	1,781	
		MC	5,297	
		C	7,031	
	10	S	2,000	
		MC	4,291	
		C	10,063	
	Prob10	4	S	2,750
			MC	8,469
			C	47,313
5		S	3,813	
		MC	13,172	
		C	39,797	
6		S	3,516	
		MC	24,766	
		C	50,641	
7		S	4,344	
		MC	24,813	
		C	58,781	
8		S	5,391	
		MC	23,219	
		C	54,531	
9		S	7,500	
		MC	26,125	
		C	69,969	
10		S	8,344	
		MC	32,219	
		C	84,391	
Prob20		4	S	46,000
			MC	105,234
			C	5675,563
	5	S	66,500	
		MC	187,750	
		C	7106,016	
	6	S	142,109	
		MC	257,891	
		C	7162,250	
	7	S	103,422	
		MC	374,016	
		C	7180,266	
	8	S	106,891	
		MC	443,734	
		C	7136,531	
	9	S	161,375	
		MC	404,063	
		C	7158,078	
	10	S	153,156	
		MC	494,922	
		C	7143,625	

Istanza	h	Scenario	Tempo di calcolo (s)	
Prob50	4	S	7179,438	
		MC	7175,609	
		C	7188,484	
	5	S	7180,734	
		MC	7180,516	
		C	7180,172	
	6	S	7178,234	
		MC	7180,844	
		C	7180,438	
	7	S	7178,750	
		MC	6652,047	
		C	6887,406	
	8	S	7003,875	
		MC	7184,234	
		C	7182,500	
	9	S	7181,359	
		MC	7181,438	
		C	7181,375	
	10	S	7181,578	
		MC	7178,281	
		C	7181,328	
	Prob80	4	S	7162,094
			MC	7183,984
			C	7172,344
		5	S	7182,594
			MC	7182,969
			C	7182,234
		6	S	7185,422
			MC	7182,891
			C	7183,922
7		S	6958,938	
		MC	7184,813	
		C	7184,125	
8		S	7185,094	
		MC	7180,250	
		C	7185,188	
9		S	7185,219	
		MC	7184,609	
		C	7185,453	
10		S	7183,516	
		MC	7187,234	
		C	7185,578	
Prob100		4	S	7159,313
			MC	7177,547
			C	7157,375
		5	S	7177,063
			MC	7190,125
			C	7148,063
		6	S	6974,031
			MC	6489,516
			C	7055,141
	7	S	6920,484	
		MC	7186,203	
		C	7161,125	
	8	S	7160,734	
		MC	7140,500	
		C	7134,960	
	9	S	7126,078	
		MC	6985,609	
		C	6655,156	
	10	S	7085,406	
		MC	7151,047	
		C	7183,563	

Tabella 5.8 Variazione del parametro h con m=4; w=6; Cap=100

Istanza	m	Scenario	Tempo di calcolo (s)	Istanza	m	Scenario	Tempo di calcolo (s)		
Prob5	4	S	0,875	Prob50	4	S	7179,438		
		MC	1,234			MC	7175,609		
		C	2,063			C	7188,484		
	5	S	1,078		5	S	7183,297		
		MC	1,859			MC	7183,281		
		C	2,469			C	7183,313		
	6	S	1,469		6	S	7111,734		
		MC	4,188			MC	7059,828		
		C	4,422			C	6740,750		
	7	S	1,625		7	S	7184,578		
		MC	3,438			MC	7186,188		
		C	3,453			C	7185,531		
	8	S	1,953		8	S	6853,719		
		MC	3,344			MC	7185,984		
		C	4,594			C	7187,141		
	9	S	2,297		9	S	7187,297		
		MC	3,891			MC	7176,516		
		C	6,391			C	7188,438		
	10	S	2,672		10	S	7185,234		
		MC	4,375			MC	7185,859		
		C	6,047			C	7132,641		
	Prob10	4	S		2,750	Prob80	4	S	7162,094
			MC		8,469			MC	7183,984
			C		47,313			C	7172,344
		5	S		5,328		5	S	7099,719
			MC		17,641			MC	7023,844
			C		37,922			C	7189,000
		6	S		7,203		6	S	7006,125
			MC		10,969			MC	7165,750
			C		24,500			C	7135,719
7		S	5,297	7	S		7119,563		
		MC	8,625		MC		7172,375		
		C	15,469		C		7139,828		
8		S	5,938	8	S		7000,906		
		MC	9,906		MC		7176,406		
		C	23,188		C		7155,094		
9		S	7,031	9	S		7183,547		
		MC	12,266		MC		7130,781		
		C	19,391		C		7174,438		
10		S	8,578	10	S		7154,672		
		MC	14,141		MC		6987,391		
		C	23,750		C		7128,344		
Prob20		4	S	46,000	Prob100		4	S	7159,313
			MC	105,234				MC	7177,547
			C	5675,563				C	7157,375
		5	S	86,938			5	S	7162,656
			MC	197,438				MC	7177,672
			C	1081,000				C	7065,750
		6	S	108,781			6	S	6952,000
			MC	159,688				MC	7173,281
			C	940,938				C	7167,281
	7	S	380,766	7		S	7151,750		
		MC	513,578			MC	7116,969		
		C	2397,359			C	7179,281		
	8	S	268,063	8		S	7120,125		
		MC	304,625			MC	7179,450		
		C	1567,563			C	7052,734		
	9	S	326,797	9		S	7177,875		
		MC	333,234			MC	7165,250		
		C	326,797			C	7121,078		
	10	S	344,813	10		S	7199,266		
		MC	268,219			MC	7172,125		
		C	550,953			C	7194,203		

Tabella 5.9 - Variazione del parametro m con w=6; h=4; Cap=100

Istanza	w	Scenario	Tempo di calcolo (s)	Istanza	w	Scenario	Tempo di calcolo (s)
Prob5	6	S	0,875	Prob50	6	S	7179,438
		MC	1,234			MC	7175,609
		C	2,063			C	7188,484
	8	S	1,125		8	S	6818,844
		MC	1,984			MC	7181,375
		C	3,766			C	7182,203
	10	S	1,516		10	S	7184,781
		MC	2,641			MC	7182,266
		C	5,141			C	7183,063
	12	S	1,828		12	S	7184,000
		MC	4,563			MC	7173,516
		C	6,594			C	7181,750
	14	S	2,375		14	S	7184,234
		MC	4,000			MC	7184,453
		C	9,609			C	7184,281
	16	S	2,891		16	S	7184,922
		MC	4,750			MC	7178,656
		C	6,563			C	7185,719
18	S	3,422	18	S	7187,938		
	MC	5,641		MC	7187,266		
	C	18,719		C	7187,859		
Prob10	6	S	2,750	Prob80	6	S	7162,094
		MC	8,469			MC	7183,984
		C	47,313			C	7172,344
	8	S	5,359		8	S	7008,984
		MC	16,516			MC	7181,453
		C	62,406			C	6766,969
	10	S	7,969		10	S	7084,953
		MC	22,563			MC	7154,547
		C	91,250			C	7092,969
	12	S	9,313		12	S	7143,109
		MC	27,984			MC	7165,016
		C	95,688			C	7192,688
	14	S	10,453		14	S	7153,625
		MC	27,813			MC	7057,594
		C	181,750			C	7182,734
	16	S	16,016		16	S	7149,625
		MC	34,016			MC	7131,875
		C	170,375			C	7183,656
18	S	16,797	18	S	7197,109		
	MC	44,766		MC	7192,000		
	C	212,672		C	7169,563		
Prob20	6	S	46,000	Prob100	6	S	7159,313
		MC	105,234			MC	7177,547
		C	5675,563			C	7157,375
	8	S	97,063		8	S	7129,594
		MC	222,797			MC	7174,016
		C	7161,641			C	6988,531
	10	S	90,266		10	S	7169,256
		MC	301,281			MC	7190,422
		C	7180,281			C	7158,141
	12	S	108,469		12	S	7156,594
		MC	311,656			MC	7141,890
		C	7145,672			C	7156,188
	14	S	172,750		14	S	7164,516
		MC	306,516			MC	7091,563
		C	7181,359			C	7129,200
	16	S	150,234		16	S	7172,656
		MC	537,109			MC	7193,484
		C	7166,406			C	7189,594
18	S	372,031	18	S	6961,750		
	MC	475,797		MC	7006,672		
	C	7152,219		C	7158,828		

Tabella 5.10 - Variazione del parametro w con m=4; h=4; Cap=100

Dal punto di vista della qualità della soluzione, si può concludere che per le istanze che presentano un numero maggiore di 20 classi di prodotti, il solutore non riesce a convergere verso l'ottimo globale, indipendentemente dal valore assunto dai tre parametri in esame. Ciò testimonia, in maniera ancora più evidente, la notevole sensibilità del modello matematico, in termini di complessità, al numero di prodotti trattati. Per le istanze con un valore di  $n$  al di sotto delle 20 unità, invece, CPLEX riesce a trovare una soluzione ottima con qualsiasi grado di compatibilità soltanto al variare del numero di slot in verticale. Per i restanti due parametri, infatti, accade che lo scenario C, in corrispondenza di determinati valori, inizia ad incidere in modo tale da richiedere un tempo maggiore di quello concesso al solutore per trovare l'ottimo globale.

## 5.6 Implementazione di un approccio euristico

Il PAP non può essere risolto, in tempi ragionevoli, in maniera esatta, su istanze realistiche in quanto queste risultano complesse dal punto di vista computazionale, cioè caratterizzate da un elevato numero di vincoli e di variabili (elevato numero di prodotti da allocare; elevato numero di livelli per slot ecc.). È stato, quindi, ritenuto indispensabile progettare e implementare un algoritmo euristico al fine di risolvere, sebbene in maniera approssimata, il PAP su grandi istanze, fornendo soluzioni sub ottime ma comunque di buona qualità in confronto a quelle ottime, ottenute dal modello.

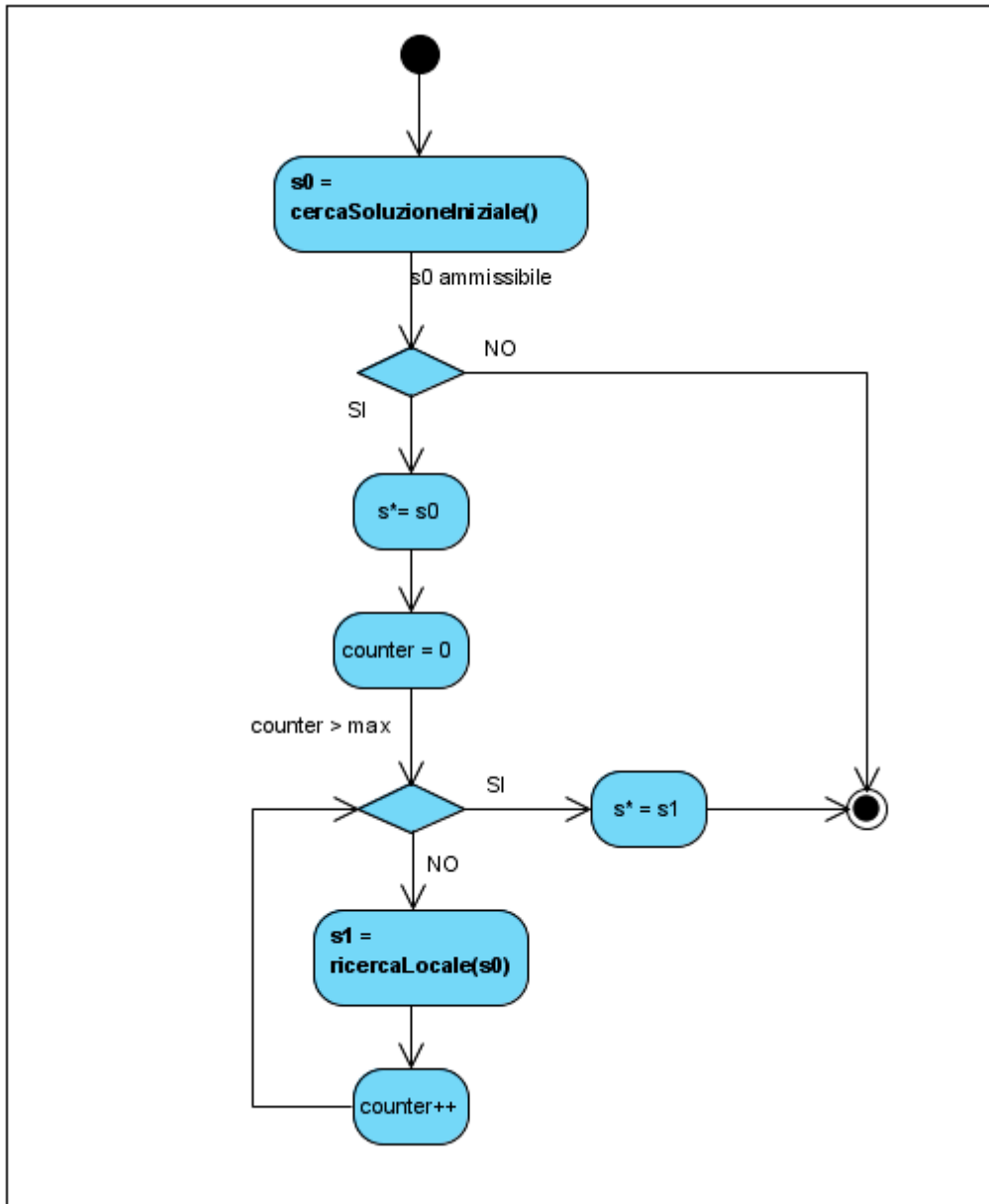
Viene, quindi ora descritta l'euristica concepita e un confronto tra le soluzioni fornite dalla stessa con le soluzioni ottenute dal solutore CPLEX, utilizzando il modello matematico definito precedentemente nel paragrafo 5.2

L'obiettivo è di individuare una "buona" soluzione ammissibile iniziale in tempi di calcolo "ragionevoli", e di migliorarne la qualità con tecniche di ricerca locale come mostrato in figura 5.3.

La soluzione iniziale viene individuata attraverso una strategia di tipo costruttivo.

La procedura seguita può essere schematizzata nelle seguenti fasi:

- Si ordina i prodotti per valori decrescenti rispetto alla domanda all'interno della lista LP (*List Products*).
- Si ordina le postazioni di stoccaggio per valori crescenti rispetto alla distanza dai punti I/O all'interno della lista LS (*List Slots*).
- Si assegnano i prodotti della lista LP alle postazioni, partendo dal primo slot libero e compatibile, saturando lo slot prima di passare ad un altro. Se lo slot non è sufficiente a contenere l'intera domanda di un prodotto, si procede con l'allocazione percorrendo la terza dimensione (livelli) prima di spostarsi al blocco adiacente. Si va a riempire la CP (Coda Prodotti) non allocati o di cui è stato possibile allocare soltanto una frazione di domanda.
- Si chiama la procedura ISR (Insertion-Swap-Remove) applicata ai prodotti nella coda CP e definita da un set di 3 mosse alternative.



*Figura 5.3 Procedura euristica basata sulla ricerca locale*

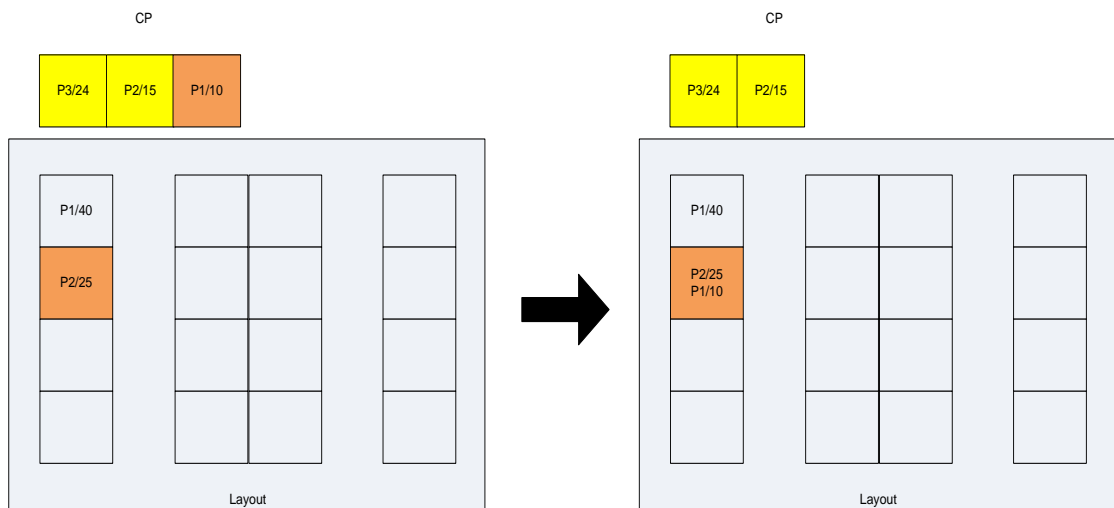
**La fase di Inserzione (Insert)** ricerca una postazione compatibile in cui allocare il prodotto o anche porzioni di prodotto. Se esso viene interamente allocato allora viene eliminato da CP. Ad esempio, supponendo che il prodotto P1 (di cui occorre inserire 10 unità) sia compatibile con P2 e che la capacità di uno slot sia di 40 unità di carico, si può posizionare le 10 unità di P1 nel medesimo slot già destinato a P2 in quanto vengono sia rispettate le condizione di compatibilità che quelle di capacità per slot. Pertanto, la mossa di *Insert* al determina una configurazione descritta a destra della figura 5.3.

**La fase di Scambio (Swap)** ricerca uno scaffale (set di 4 slots verticali) già contenente il prodotto in esame, Individuato lo scaffale si cercano prodotti incompatibili con  $P_i$  che possano essere rimossi per far spazio a quest'ultimo. Se tali prodotti esistono, allora vengono eliminati dallo slot (allo scopo di

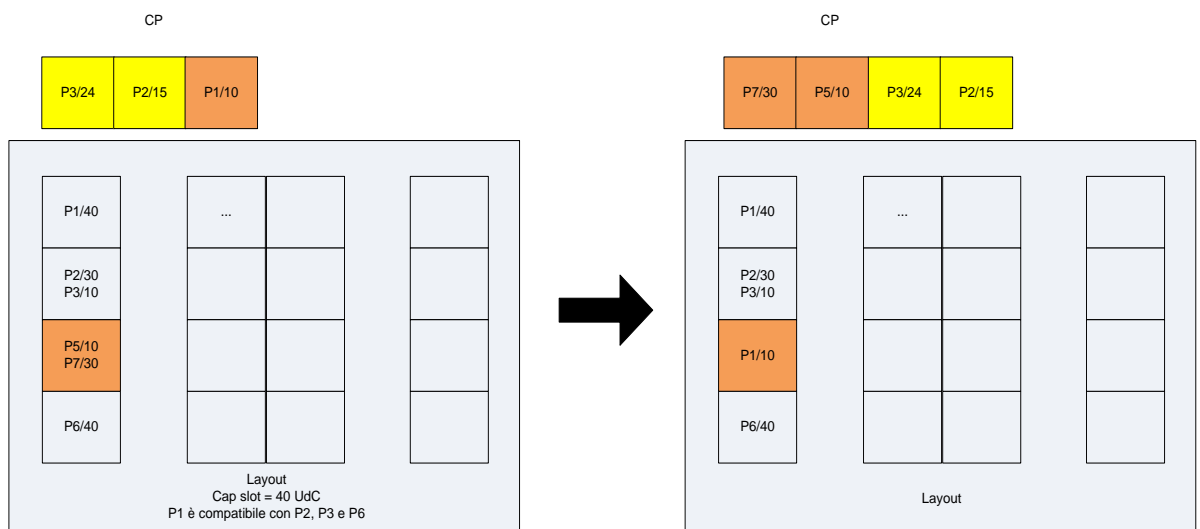


compattare il più possibile i prodotti con se stessi e con quelli compatibili riducendo il decentramento) e inseriti in CP. Altrimenti, si cerca un altro scaffale contenente  $P_i$  e così via.

La fase di Rimozione (**Remove**), esamina la prima postazione e i prodotti in essa presenti. Li ordina in valori decrescenti di quantità allocata e cerca di scambiare il primo di questi con il prodotto da allocare  $P_i$ ; se ciò è possibile il prodotto rimosso è inserito in una CP temporanea, altrimenti viene rimosso anche il secondo e viene posizionato  $P_i$ . Dopo aver esaminato tutti i prodotti se  $P_i$  non ha ancora trovato allocazione si va ad analizzare il secondo slot e così via finché l'allocazione non riesce. Solo nel caso in cui  $P_i$  non può essere posizionato in nessuna postazione, viene inserito in un a coda temporanea.



**Figura 5.3** *Illustrazione della Modalità Insert della procedura ISR*



**Figura 5.4:** *Illustrazione della Modalità Swap della procedura ISR*

In figura 5.4 è illustrata la mossa Swap: per inserire le 10 unità di  $P_1$ : si individua come scaffale quello in cui sono già inserite 40 unità di  $P_1$ ; assumendo che i prodotti incompatibili con  $P_1$  siano  $P_5$  e  $P_7$  si toglie il prodotto  $P_5$ , lo si inserisce in CP e si prova ad inserire  $P_1$ . Quest'ultimo non può

ancora essere inserito in quanto è presente il prodotto P7. Allora si rimuove anche P7, lo si inserisce in CP e si allocano nello slot le 10 unità di P1.

La procedura ISR termina fornendo una soluzione iniziale che può essere ammissibile o non ammissibile (nel caso di istanza non ammissibile oppure di forte incompatibilità tra i prodotti). Se la soluzione iniziale è non ammissibile la procedura ricomincia e termina solo fornendo una soluzione ammissibile che diventa soluzione iniziale per la procedura di ricerca locale. Nel presente lavoro di tesi, è stata adottata una strategia di esplorazione del vicinato della soluzione corrente che ricerca un miglioramento della soluzione corrente in un numero finito di iterazioni (fissato dall'utente).

La ricerca locale è definita da due fasi:

- *Riduzione del numero di slots occupati.* Per ciascun prodotto viene data una lista di slots possibili in cui cioè, il prodotto  $P_i$  sia presente al fine di costruire *catene* (per ogni classe di prodotto, cioè una lista degli slot che contengono prodotti appartenenti ad essa). E la procedura cerca di assegnare insieme domanda o anche porzioni di domanda in tali slots.
- *Recupero delle vicinanza.* La procedura cerca di ridurre la distanza tra slots in cui una data classe di prodotti è allocata, costruendo una lista di slots e computando il loro relativo rango .

La riduzione del numero di slots avviene in due modi :

1. si prova a compattare le *unit* (coppia *domanda allocata-classe* in uno slot) di una classe/prodotto  $P_i$  semplicemente cercando di accorparle negli slot appartenenti alla catena di  $P_i$  che non sono ancora saturi;
2. si tenta di raggiungere lo stesso obiettivo come in 1 però procedendo con uno scambio con unità di classi diverse da  $P_i$  che sono allocate negli slot della catena di  $P_i$ .

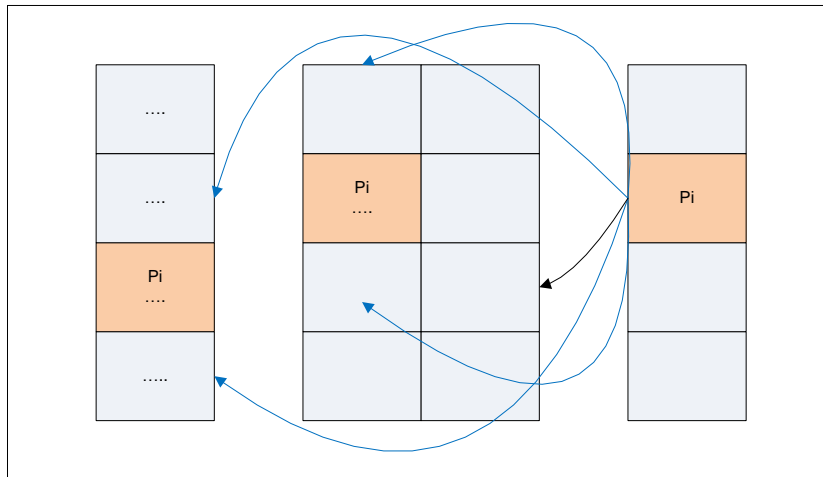
La mossa si conclude con il recupero degli slot vuoti. Per via delle incompatibilità, infatti, si potrebbero avere degli slot vuoti che, tuttavia, potrebbero essere adatti ad ospitare determinati prodotti. Si costruisce allora la lista degli slot vuoti e per ogni slot SE (*Slot Empty*):

1. si verifica quali siano i prodotti che potrebbero essere allocati in esso;
2. si sceglie quello che, attraverso lo spostamento delle sue unità, per intero, in SE, permette di ottenere un maggior risparmio di penalità e lo si alloca in SE;
3. si aggiorna la lista degli slot vuoti e si ripete la procedura finché si riescono a recuperare nuovi slot.

Si ottiene, così, una soluzione parziale sulla quale applicare la mossa di recupero delle *vicinanze*. Con tale mossa si tenta, attraverso degli scambi, di ridurre il decentramento delle unit di ogni prodotto, posizionandole in quegli slot che consentono di ottenere degli sconti nella funzione obiettivo. In accordo con il seguente ordine di priorità: per ogni prodotto  $P_i$ , dopo aver costruito la sua catena, si cerca di migliorare il più possibile il suo grado di decentramento. Ciò significa che si cerca di trasferire le unità di  $P_i$  in slot che consentono di ottenere sconti per adiacenza (prima per blocco e poi per corridoio), altrimenti per posizione opposta, altrimenti per posizione posteriore. Questo concetto è stato codificato calcolando un *rank* per ogni slot appartenente alla catena di  $P_i$  che dipende dal numero di *vicinanze* che lo slot ha nella catena stessa. Agli slot che hanno posizioni adiacenti spetta il punteggio più alto; successivamente hanno più importanza gli slot che hanno posizioni opposte nella catena ed infine gli slot che hanno posizioni posteriori nella catena. Gli slot che non hanno nessun tipo

di *vicinanza* sono quelli ai quali viene assegnato un punteggio nullo. Se uno slot ha nella catena due o più tipi di *vicinanza*, allora il punteggio totale è la somma dei singoli punteggi. L'idea è quella di scambiare le unità che sono allocate negli slot che non hanno adiacenze (che corrispondono agli slot con punteggio più basso). L'applicazione di queste mosse potrebbe portare anche ad una configurazione peggiore di quella corrente dal punto di vista del costo totale. Se così fosse, allora, si annullano le mosse applicate (*rollback*) e si tenta di farne altre.

In figura 5.5 è rappresentata la mossa del recupero delle vicinanze: il prodotto  $P_i$  è contenuto in tre slot di cui due sono opposti e uno è generico (non consente di ottenere sconti). Si tenta allora di trasferire l'unità contenuta in quest'ultimo dapprima negli slot a cui puntano le frecce blu, perché consentono di ottenere uno sconto per adiacenza e, in caso negativo, nello slot a cui punta la freccia nera, che consente di ottenere uno sconto per posizione opposta. Se anche in questo caso l'esito è negativo, non potendo fare più alcuno scambio, si passa ad un altro prodotto.



**Figura 5.5 – Esempio esplicativo della mossa di recupero delle vicinanze**

### 5.7 Valutazione della bontà della procedura euristica

Al fine di verificare la qualità delle soluzioni fornite dall'algorithmo euristico, sono stati messi a confronto i risultati ottenuti con quelli forniti dal solutore *CPLEX*, selezionando alcune tra le istanze già adoperate durante l'analisi di sensitività condotta sul modello. In particolare, sono state selezionate le istanze in cui la variabile è rappresentata dalla capacità di ogni singolo slot e lo scenario è quello con il massimo grado di incompatibilità tra i prodotti. Dall'analisi dei risultati della fase di *testing* del modello, infatti, quest'ultime si sono rivelate essere le più adatte a verificare il corretto funzionamento della procedura euristica, a causa della presenza di valori più elevati di penalità e di sconti.

Di seguito sono riportati i risultati (sia numerici che grafici) del confronto eseguito fissando un numero di iterazioni per l'euristica pari a 3.

La Tabella 5.11 mette a confronto l'euristica e CPLEX sia dal punto di vista del costo totale della soluzione che dell'onere computazionale. Analizzando la colonna Gap costo totale (%), calcolata come

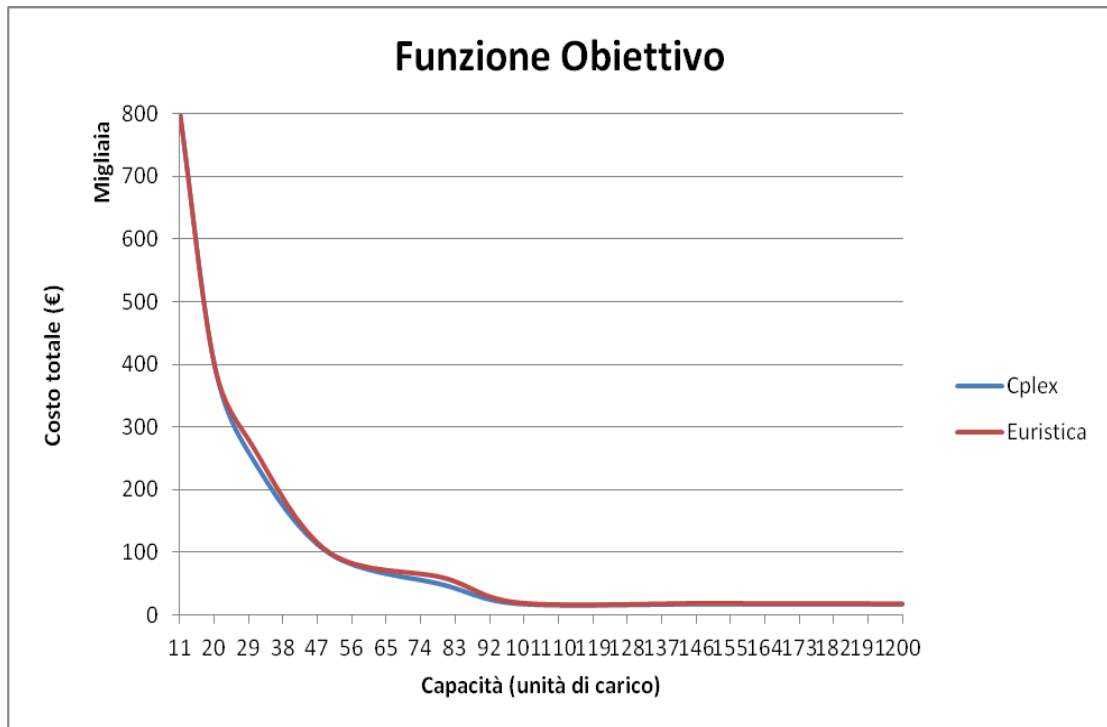
$$\frac{\text{costo totale euristica} - \text{costo totale cplex}}{\text{costo totale cplex}} * 100 \quad (5.33)$$

si nota come il divario cresca all'aumentare della capacità.

CPLEX			EURISTICA		CONFRONTO	
Capacità (udc)	Tempo di calcolo (s)	Costo totale (€)	Tempo di calcolo (s)	Costo totale (€)	Gap costo totale (%)	Scostamento tempo di calcolo (s)
11	7151,766	801013,94	6,546	802154,90	0,14%	7145,219625
20	7111,234	399590,69	3,39	400405,44	0,20%	7107,844375
30	7176,594	248789,17	1,812	270187,79	8,60%	7174,78175
50	7179,156	97802,6	1,296	100052,04	2,30%	7177,86025
80	7136,375	47204,94	0,844	59362,65	25,76%	7135,531
100	5675,563	16835,99	0,75	19349,16	14,93%	5674,8125
150	829,4219	16466,4	0,797	18571,80	12,79%	828,624875
200	313,8281	16271,99	0,828	17826,69	9,55%	313,000125

**Tabella 5.31 – Confronto tra i risultati forniti da Cplex e quelli ottenuti con l'Euristica**

Considerando solo questa informazione si potrebbe esprimere un giudizio negativo sulla qualità della procedura euristica che peggiora laddove l'algorithmo esatto trova la soluzione ottima (righe della Tabella 5.11 evidenziate in rosso). In realtà, per esprimere un giudizio corretto sull'euristica, la sola informazione sul gap non è sufficiente, in quanto, esprime, in termini percentuali, l'incremento del costo totale della soluzione esatta se si utilizza l'approccio euristico. Essendo il valore della penalità  $p_5$  molto elevato, è naturale che, in presenza di una soluzione esatta che ha un valore relativamente basso, anche il solo incremento di una penalità, in termini percentuali, risulta essere elevatissimo. In combinazione con il gap bisogna anche valutare il confronto numerico tra i due approcci (figura 5.6) che, sicuramente peggiora laddove CPLEX trova la soluzione ottima ma che, visto nel complesso e con particolare riguardo alle istanze più complesse, evidenzia uno scostamento contenuto.



**Figura 1.6 - Confronto tra il costo totale della soluzione fornita da Cplex e quello della soluzione fornita dall'Euristica.**

Prendendo in considerazione anche il tempo di calcolo, si nota che questo è nettamente inferiore usando l'euristica per le istanze complesse, con uno scostamento (*tempo di calcolo cplex – tempo di calcolo euristica*) elevato che si riduce man mano che ci si avvicina alle soluzioni ottime calcolate da *CPLEX* in quanto aumenta la capacità degli slot e di conseguenza si riduce il grado di difficoltà dell'istanza.

Nella figura 5.6 è riportata la curva di costo totale in funzione della capacità del singolo slot ottenuta, con un numero di iterazioni per il calcolo dell'euristica pari a 3, in corrispondenza dello scenario C e con il seguente settaggio dei parametri:  $n=20$ ;  $m=4$ ;  $w=6$ ;  $h=4$ ;  $k=2$ .

Si può affermare, quindi, che la procedura euristica fornisce soluzioni di buona qualità, soprattutto quando si tratta di risolvere istanze complesse, per le quali il tempo di calcolo impiegato da *CPLEX* è nettamente superiore rispetto a quello dell'approccio euristico.

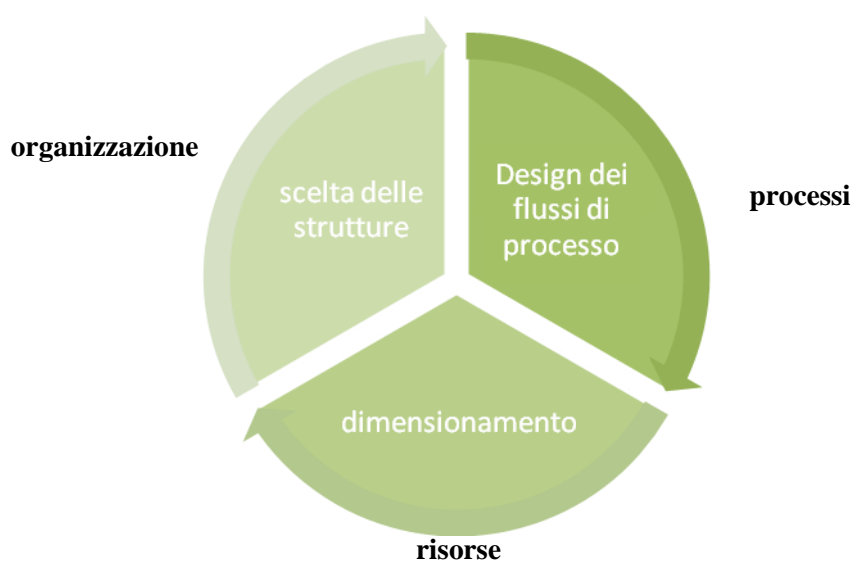
## Conclusioni

La logistica di un Centro di distribuzione è fortemente influenzata dalla razionalizzazione dei processi gestionali e logistici di magazzino. La ricerca, tipicamente, si focalizza sui processi di stoccaggio e di order picking, dal momento che queste essi sono quelli che hanno maggior impatto sulle performance operative del magazzino (capacità di stoccaggio, utilizzazione dello spazio, efficienza nelle operazioni di prelievo). In particolare, una corretta gestione del processo di *Order Picking* consente di aumentare l'efficienza e l'efficacia degli addetti alle operazioni di movimentazione dei prodotti con un positiva ricaduta, in termini economici, per l'azienda. Infatti, l'attività di *order picking* pesa su circa la metà delle spese di gestione dell'intero magazzino.

Tuttavia, l'interesse dei ricercatori non è stato ben bilanciato: alcuni problemi ricevono più attenzione di altri nella comunità scientifica. Per esempio i problemi di *routing* e di *storage Assignment* interessano rispettivamente il 32% ed il 38% della letteratura di settore, mentre lo *zoning problem*, ad esempio, riguarda meno del 6%. Appare, quindi, evidente una scarsa collaborazione della comunità scientifica con il mondo dell'industria, che non riesce ad avere un impatto significativo sulle decisioni operative prese nell'ambito della *supply chain*.

In questo lavoro di tesi si è cercato di dare una visione d'insieme delle problematiche connesse ai centri di distribuzione dal punto di vista dei processi, delle risorse e dell'organizzazione, sia a livello strategico, che tattico ed operativo. I differenti processi sono stati analizzati in modo congiunto, considerando le varie problematiche dal punto di vista dinamico e fissando obiettivi multipli.

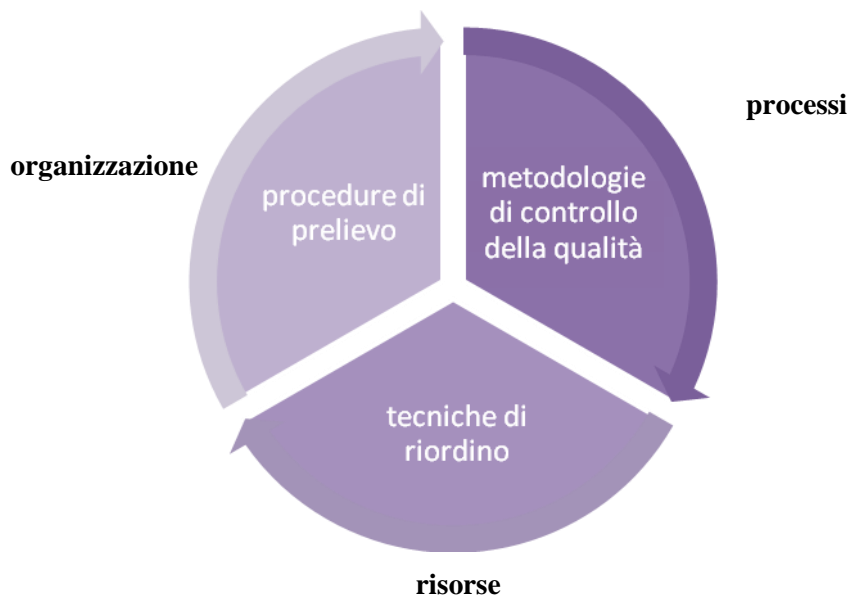
In sintesi si riporta una rappresentazione grafica riassuntiva delle problematiche inerenti una progettazione ottimale del centro di distribuzione mettendone in evidenza la stretta interconnessione.



*Livello strategico: decisioni a lungo termine (5 anni)*



*Livello tattico: decisioni a medio termine (2 anni)*



*Livello operativo: decisioni a breve termine (6-12 mesi)*

I problemi discussi più ampiamente in questa tesi sono, principalmente, problemi operativi che riguardano decisioni la cui influenza è tipicamente a breve termine e circoscritta. Tali decisioni richiedono tipicamente tempi brevi, questo tende ad incoraggiare l'uso di procedure euristiche che riescono a dare soluzioni buone in un tempo ragionevole. D'altra parte da un

punto di vista del *management*, la soluzione ideale deve essere semplice, intuitiva e capace di minimizzare i costi.

Nel panorama letterario, solitamente tali problemi vengono trattati staticamente, concentrando l'attenzione su fissati parametri di performance, ad esempio il costo totale delle operazioni di *order picking*. In molte situazioni pratiche può risultare maggiormente significativo considerare i problemi dinamicamente, con la possibilità di includere in ogni momento nuove informazioni, concentrando l'attenzione su parametri quali il *tardiness* o il tempo di ciclo.

Negli ultimi anni le aziende prestano sempre più attenzione alle problematiche riguardanti le quantità di materiali costituenti le scorte, non solo perché esse danno luogo a problemi di gestione operativa, ma anche e soprattutto perché rappresentano una parte consistente del capitale circolante. Le scorte di magazzino rivestono un'importanza fondamentale spesso per la stessa sopravvivenza dell'azienda, non tanto in regime deterministico (cioè quando sono noti in maniera certa i parametri del processo e di mercato), quanto nei casi in cui è incerta la quantità di materiale richiesta dalla utenza durante il ritardo caratteristico di rifornimento. Infatti, è dalle scorte di magazzino che si attingerà in caso di emergenza, evitando così il rischio di perdere una fetta del mercato per inadempienza, di registrare un mancato guadagno e di pagare delle penali ai clienti.

Le crescenti difficoltà incontrate nella conduzione degli impianti industriali rendono ogni giorno più impellente il ricorso a metodi analitici in grado di assicurare una razionale pianificazione ed un efficace controllo della gestione dei materiali. Se per un verso, le metodologie di controllo degli inventari sviluppate in occidente sono state orientate ad elaborazioni via via più sofisticate e complesse, basate sull'impiego di moduli integrati in sistemi informativi di produzione, in Giappone, per contro, si è messa in discussione l'opportunità stessa dell'investimento in scorte, in un più ampio sforzo rivolto al contenimento degli sprechi.

### ***Il Livello di Servizio risulta senz'altro un fattore strategico nel Supply Chain Management.***

Esso è un concetto di estrema importanza in tutto il contesto della Logistica Industriale, per cui le sue applicazioni non si fermano solo esclusivamente alla gestione delle scorte, ma piuttosto devono allargarsi a tutta la *SC*. Infatti, per poter mettere a punto un sistema logistico efficiente ed efficace, occorre valutare i rapporti fra i costi ed il livello di servizio. L'obiettivo strategico dell'*SCM* è, tra gli altri, quello di sviluppare e realizzare un sistema logistico integrato, in grado di offrire un prefissato livello di servizio al consumatore finale al minimo costo totale. È importante la definizione del livello di servizio, in maniera tale che risulti conforme alle esigenze del mercato e alle possibilità tecniche ed operative delle singole aziende che compongono la catena.

Sviluppare strategie per incrementare il livello di servizio aumenta l'efficacia del canale, ma in funzione della limitata disponibilità delle risorse, occorre guardare anche al profilo dell'efficienza, con l'obiettivo di contenere il costo logistico globale. Ogni componente della catena di fornitura può, di volta in volta, privilegiare obiettivi di efficacia o di efficienza. Ad ogni alternativa progettuale si manifesta un *trade-off* tra il livello di servizio offerto ed i costi



necessari per sostenerlo. Si pensi, ad esempio, alla tipologia dei trasporti fra gli anelli della catena: si possono utilizzare sistemi poco costosi, ma generalmente lenti, quali i trasporti via mare, oppure avvalersi di trasporti veloci, come i trasporti aerei, certamente più costosi. Pertanto la progettazione del sistema logistico non deve essere finalizzata all'ottimizzazione del rapporto costo/servizio di ogni singola azienda, ma all'ottimizzazione globale, valutando attentamente le reciproche interdipendenze che si instaurano fra le attività logistiche dei differenti elementi del canale. Ogni possibile alternativa deve essere valutata in considerazione della specificità della merce, del settore commerciale, degli elementi tecnici e della convenienza economica.

Appare chiaro che, a fronte di un incremento del livello di servizio, ottenibile in vari modi, si determina un correlato innalzamento dei costi, in misura più che proporzionale.

Al momento quindi di decidere la strategia logistica integrata, il problema importante è quello di stabilire il livello desiderato di prestazioni che si vuole fornire e di determinare il costo necessario per sostenerlo. Raramente il costo totale più basso o il livello di servizio più alto, costituiscono la migliore politica logistica per un'azienda. La variazione del livello di servizio incide sia sui costi che sulle vendite, cioè sui ricavi.

È opportuno sottolineare che la strategia logistica, volta alla massimizzazione del servizio ed alla minimizzazione dei costi, risulta eccellente in un approccio teorico, ma in specifiche realtà di mercato, risulta più valido un approccio focalizzato maggiormente sul costo oppure sul servizio, purché la scelta sia frutto di considerazioni in linea con le attese del mercato. Non esistono scelte progettuali ideali a priori, ma dei contesti reali per i quali, a causa della tipologia del prodotto o del mercato, risulta più opportuno un approccio piuttosto che un altro. Appare evidente che all'interno di una stessa SC possono coesistere canali del sistema logistico globale orientati diversamente. In altre parole la strategia logistica può mutare per adattarsi alle necessità competitive reali, differenziando il servizio laddove si manifesti la concreta possibilità: tipicamente orientata verso l'efficienza, a monte, per ridurre al minimo i costi nei livelli alti del canale dei costi, mentre è orientata verso l'efficacia, a valle, dove la qualità del servizio offerto diventa un fattore strategico. L'importante è che tutte le aziende dell'intera SC abbiano un'opportuna definizione della strategia logistica globale ed attivino un coerente sistema operativo in grado di supportarla, con crescita attraverso gradualmente miglioramenti in ogni parte, al fine di ridurre ed eliminare tutte le possibili fonti di inefficienza ed inefficacia del sistema. Non di rado accade che nella stessa struttura convivano logiche differenti, armonicamente fuse in sistemi logistici misti, strutturati in modo da perseguire congiuntamente diversi obiettivi.

L'importanza di questo lavoro si è concretizzata nell'analisi attenta e scrupolosa di un particolare problema che risulta rilevante per la gestione efficiente di un Centro di Distribuzione: l'allocazione ottimale dei prodotti (o classi di prodotti) alle postazioni di stoccaggio. Un tale problema, che tuttora risulta una *open issue* per i ricercatori operativi, è stato analizzato sia con riferimento ai classici metodi e modelli proposti in letteratura che con focus su quelli più innovativi ancora in fase di validazione e sviluppo.

A tal proposito, è stato definito un modello di ottimizzazione per una specifica versione del suddetto problema: l'*allocazione dei prodotti alle postazioni di stoccaggio in un magazzino multi-livello con vincoli di compatibilità*. Tale problematica che, ad oggi, costituisce un campo di ricerca non completamente esplorato, è stato analizzato sia dal punto di vista modellistico che metodologico. Per quanto riguarda il primo aspetto, si è definito un modello matematico che tenesse conto, nel processo decisionale, sia della possibilità di avere postazioni in altezza nell'area di stoccaggio che vincoli di compatibilità tra le classi di prodotti da allocare. Tale modello è stato quindi validato e testato su insieme di problemi generati in maniera da coprire, ampiecampi di applicazione. A valle di ciò, si è anche condotta un'attenta analisi di sensitività, andando ad individuare i parametri che maggiormente influenzano le performance del modello. Alla luce di questi risultati, è stata definita una procedura di ricerca locale in grado di risolvere il problema su istanze complesse caratterizzate da un elevato grado di incompatibilità tra le classi. L'euristica ottenuta fornisce risultati comparabili con le soluzioni ottime del modello, con un tempo computazionale che risulta essere notevolmente ridotto. Parte di questi risultati sono stati presentati anche alla *Conferenza AIRO 2011*.

## **Bibliografia**

A. Abraham, R. Buyya, B. Nath, Nature's heuristics for scheduling jobs on computational grids, in: The 8th IEEE International Conference on Advanced Computing and Communications, ADCOM 2000, India, 2000.

Armour, G.C. e Buffa, E.S. (1963). "A heuristic algorithm and simulation approach to relative allocation of facilities". *Management Science* 9(2) 294-300.

R. Balocco e A. Rangone, *Le Applicazioni B2b e il Ruolo degli E-Marketplace*. Mondodigitale n. 3, settembre 2002.

Bartholdi, J.J., (1993), "Balancing two-sided assembly lines: A case study", *International Journal of Production Research*, Vol. 31, pp. 2447-2461.

Bartholdi, J.J. and Eisenstein, D., (1996), "Bucket brigades: A self organizing order-picking system for a warehouse", Report, School of Industrial Engineering, Georgia Tech, Atlanta, USA.

Bartholdi, J.J., Bunimovich, L.A. and Eisenstein, D., (1999), "Dinamics of twoand three-worker "bucket brigade" production lines", *Operations Research*, Vol. 47, pp. 488-491.

Bartholdi, J.J. and Eisenstein, D., (1996), "Bucket brigades on in-tree assembly networks", *European Journal of Operational Research*, Vol. 168, pp. 870-879.

Bartholdi, J.J., Eisenstein, D.D. and Foley, R.D., (2001), "Perfomance of bucket brigades when work is stochastic", *Operations Research*, Vol. 49, pp. 710-719.

Bartholdi, J.J., Hackman, S.T., (2002), "Warehouse and Distribution Science", On-line at: <http://www.warehouse-science.com>.

Bartholdi, J.J. and Eisenstein, D., (2005), "Bucket brigades", On line at <http://www.isye.gatech.edu/~jjb/bucket-brigades.html>.

Bartholdi, J.J. and Eisenstein, D., (2005), "Using bucket brigades to migrate from craft manufacturing to assembly lines", *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 7, pp. 121-129.

Bassan, Y., Roll, Y. and Rosenblatt, M. (1980), "Internal layout design of warehouse", *AIIE Transaction*.

- R. Bellman, "Dynamic Programming", Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1957).
- Berg, J.P. Van den, (1999), "A literature survey on planning and control of warehousing systems", *IEE Transactions*, Vol. 31, pp. 751-762.
- Berry J.R., (1968), "Elements of warehouse layout", *International Journal of Production Research*, Vol. 7, pp. 105-121.
- Bischoff E. E. and M. D. Marriott. A comparative evaluation of heuristics for container loading. *European Journal of Operational Research*, 44(2):267 – 276, 1990.
- Bischoff E. E. and M. S. W. Ratcliff. Loading Multiple Pallets. *The Journal of the Operational Research Society*, 46(11):1322 – 1133, Nov. 1995.
- E. E. Bischoff, F. Janetz, and M. S. W. Ratcliff. Loading pallets with non-identical items. *European journal of operational research*, 84(3):681 – 692, 1995.
- J. Blazewicz, K. H. Ecker, E. Pesch, G. Schmidt, J. Weglarz "Scheduling of Processor and Manufacturing Systems", Springer-Verlag, 1996.
- Brandolese A., Pozzetti A., Sianesi A., *Gestione della Produzione industriale. Principi, metodologie, applicazioni e misure*. Hoepli, Milano, 1991.
- Buffa, E.S., Armour, G.C. e Vollmann, T.E. (1964). "Allocating facilities with CRAFT". *Harvard Business Review* 42, 136-158.
- Caron, F., Marchet, G. and Perego, A., (1998), "Routing policies and COI-based storage in picker-to-part systems", *International Journal of Production Economics*, Vol. 36, pp. 713-732.
- Caron, M., Marchet, G. and Perego, A., (2000), "Layout design in a manual picking systems: a simulation approach", *Integrated Manufacturing*, Vol. 11, No. 2, pp. 94-104.
- Chen J-F. A hybrid heuristic for the uncapacitated single allocation hub location problem. *Omega* 2007;35(2):211–20.
- Chew, E.P. and Tang, L.C., (1999), "Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse", *European Journal of Operational Research*, Vol. 112, pp. 582-597.

Coley, J.J., Bardi, E.J. and Langley, C.J., (1996), "*The management of business logistics*", St.Paul, MN: West.

T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein, "*Introduzione agli Algoritmi*" (2 Ed), McGraw-Hill, 2005

De Rossi F., Salzano A., *Introduzione all'analisi di convenienza economica degli investimenti industriali*. Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno d'Italia. Quaderno n°82, Napoli 1974.

Duc, T. Le and Koster, R. De, (2003), "An approximation for determining the optimal picking batch size for order picker in single aisle warehouse", In Meller, R., Ogle, M.K., Peters, B.A., Taylor, G.D. and Usher, J. (Eds.), *Progress in Material Handling Research*, (2002), pp. 267-286.

Duc, T. Le and Koster, R. De, (2005), "Determining the optimal number of zones in a pick-and-pack order picking system", Report ERS-2005-029-LIS, RSM Erasmus University, the Netherlands.

Duc, T. Le and Koster, R. De, (2007), "Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse", *European Journal of Operational Research*, Vol. 176, pp. 374-388.

Elsayed, E.A., Lee, M.K., Kim, S. and Scherer, E., (1993), "Sequencing and batching procedures for minimizing earliness and tardiness penalty of order retrievals", *International Journal of Production Research*, Vol. 31, pp. 727-738.

EPAL, *European Pallet Association* 1991. [www.epal-pallets.org](http://www.epal-pallets.org)

Faroe O. , D. Pisinger, and M. Zachariasen. Guided local search for the three-dimensional bin packing problem. Technical Report 99/13, Dept. of Computer Science, University of Copenhagen, 1999.

Francis, R. L., (1967), "On some problems of rectangular warehouse design and layout", *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. 18, No. 10.

Frazelle, E., (2002), "*World-class warehousing and Material Handling*", McGraw-Hill, NY.

Frazelle, E. (2002) *Supply Chain Strategy: The Logistics of Supply Chain Management*, New York: McGraw-Hill.

S. French. "Sequencing and Scheduling: an introduction to the mathematics of the job-shop". Ellis Horwood Limited, 1982.

Forrester Research: *Net Marketplaces Grow Up*.1999, <http://www.forrester.com>

- Garey M.R., e D.S. Jhonson, Complexity results for multiprocessor scheduling under resource constraints, *SIAM J. Comput.* 4 (1979) 397-411.
- Garey M.R., Tarjan R.E., Wilfong G.T., “One-processor scheduling with symmetric earliness and tardiness penalties”, *Mathematics of Operations Research*, 13 (1988) 330-348.
- Gehring H., K. Menschner, and M. Meyer. A computer-based heuristic for packing pooled shipment containers. *European Journal of Operational Research*, 44(2):277 – 288, 1990.
- Ghiani G., Musmanno R., (2000), *Modelli e metodi per l'organizzazione dei sistemi logistici*, Pitagora Editrice
- Gibson, D.R. and Sharp, G.P. (1992), “Order batching procedures”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 58, pp. 57-67.
- P. C. Gilmore, R. E. Gomory, ***Multistage cutting problems of two and more dimension***, *Operations Research* 13 (1965) 94-119.
- Grando A., *Organizzazione e gestione della produzione industriale*, EGEA, Milano, 1995.
- Graves, S.C., Hausman, W.H. and Schwarz, L.B., (1977), “Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems”, *Management Science*, Vol. 23, pp. 935-945.
- Gray, A.E., Karmarkar, U.S. and Seidmann, A., (1992), “Design and operation of an order-consolidation warehouse: models and application”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 58, pp. 3-15.
- Gue, K.R., and Meller, R.D., (2006), “Aisle configurations for unit-load warehouse”.
- Hall, R.W., (1993), “Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse”, *IEE Transactions*, July, Vol. 25, pp. 76-87.
- Harmatuck, D.J., (1976), “A comparison of two approaches to stock location”, *The Logistics and Transportation Review*, Vol. 12, pp. 282-284.
- Hausman, W.H., Schwarz, L.B. and Graves, S.C., (1976), “Optimal storage assignment in automatic warehousing systems”, *Management Science*, Vol. 22, pp. 629-638.
- Heskett, J.L., (1963), “Cube-per-order index – A key to warehouse stock location”, *Transport and Distribution Management*, Vol. 3, pp. 27-31.

Heskett, J.L., (1964), "Putting the cube-per-order index to work in a warehouse layout", *Transport and Distribution Management*, Vol. 4, pp. 23-30.

Hsieh, L. and Tsai, L., (2006), "The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency", *International Journal of manufacturing and Technology*, Vol. 28, pp. 626-637.

Hwang, H., Oh, Y.H. and Cha, C.N., (2003), "A stock location rule for low level picker-to-part system", *Engineering Optimization*, Vol. 35, No. 3, pp. 285-295.

Hoover E.M., (1948) "The location of Economic Activities" , McGraw-Hill, New York

Ishikawa K., "Introduction to quality control" 3A Corporation, 1990 - 435 pp

Jane, C.C., (2000), "Storage location assignment in a distribution center", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 30, No. 1, pp. 56-71.

Jane, C.C. and Lai, Y.W., (2005), "A clustering algorithm for item assignment in a synchronized zone order picking system", *European Journal of Operational Research*, Vol.166, pp. 489-496.

Jarvis, J.M. and McDowell, E.D., (1991), "Optimal product layout in an order picking warehouse", *IEE Transactions*, Vol. 23, pp. 93-102.

Jewkes, E., Lee, C. and Vickson, J., (2004), "Production location, allocation and server home base location for an order picking line with multiple servers", *Computers & Operations Research*, Vol. 31, pp. 623-626.

D.S. Johnson, *Near-optimal bin packing algorithms*, Ph. D. Thesis, MIT, Cambridge, MA, 1973  
Juran J. M., "*Quality Control handbook*" , 1951 New York, McGraw-Hill

Kaplan S, Sawhney M: E-hubs: The new B2B marketplaces. *Harvard Business Review*, May-June 2000, p. 97-105.

Kallina, C. and Lynn, J., (1976), "Application of the cube-per-order index rule for stock location in a distribution warehouse", *Interfaces*, Vol. 7, pp. 37-46.

Korf, R. 1985. Depth-first iterative deepening: An optimal admissible tree search. *Artificial Intelligence* 27(1):97-109.

Korf, R. 1995. Linear-space best-first search. *Artificial Intelligence* 62(1):41-78.

- Koster, R. De, Poort, E.S. Van der and Wolters, M., (1999), "Efficient order batching methods in warehouses", *International Journal of Production Research*, Vol. 37, pp. 1479-1504.
- Koster, R. De, (2004), "Performance approximation of pick-to-belt order picking systems", *European Journal of Operational Research*, Vol. 72, pp. 558-575.
- Li, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T.S. and Subba Rao, S., (2006), "The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance", *Omega*, Vol. 34, pp. 107-124.
- Losch, A., 1954, *The Economics of Location*, New Haven, Yale University Press.
- Mallette, A.J. and Francis, R.L., (1972), "A generalized assignment approach to optimal facility layout", *AIIE Transactions*, Vol. 4, pp. 144-147.
- Malmborg, C.J. and Bhaskaran, K., (1987), "On the optimality of the cube per order index for conventional warehouse with dual command cycles", *Material Flow*, Vol. 4, pp. 169-175.
- Malmborg, C.J. and Bhaskaran, K., (1989), "Optimal storage assignment policies for multiaddress warehousing systems", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 9, pp. 197-204.
- Malmborg, C.J. and Bhaskaran, K., (1990), "A revised proof of optimality of cube-per-order index rule for stored item location", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 14, pp. 87-95.
- S. Martello, D. Pisinger, and D. Vigo. The Three-Dimensional Bin Packing Problem. *Operations Research*, 48(2):256 – 267, Mar. -Apr. 2000.
- S. Martello and P. Toth (1990), *Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations*, Wiley, Chichester.
- Masturzi E., *Organizzazione e gestione della produzione industriale III*, Liguori Editore, Napoli, 1990.
- McKinsey & CAPS Research: *Coming into focus using the lens of economic value to clarify the impact of B2B e-marketplaces*. 2000, [www.capsresearch.org/B2B/eMarketsWhitePaper.pdf](http://www.capsresearch.org/B2B/eMarketsWhitePaper.pdf).
- MHIA, *Material Handling Industry of America*, 1996, [www.mhia.org](http://www.mhia.org).



- Napolitano, M., (1998), "Using Modelling to Solve, Warehousing Problems", *Warehousing Education and Research Council*, Oak Brook, IL.
- Oudheusden, D.L. Van, Tzen, Y.J. and Ko, H., (1988), "Improving storage and order picking in a person-on-board AS/RS system", *Engineering Costs and Production Economics*, Vol. 13, pp. 273-285.
- Oudheusden, D.L. Van and Zhu, W., (1992), "Storage layout of a AS/RS racks based on recurrent orders", *European Journal of Operational Research*, Vol. 58, pp. 48-56.
- Pan, C.H. and Liu, S.Y., (1995), "A comparative study of order batching algorithms", *Omega, International Journal of Management Science*, Vol. 23, pp. 691-700.
- C.H. Papadimitriou and K. Steiglitz (1982), *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*, Prentice Hall, Engelwood Cliffs.
- Pareto, V., (1896), "*Cours d'economie politique, I*", F. Rouge, Lausanne.
- Petersen, C. G., (1995), "Routeing and storage policy interaction in order picking operations", *Decision Sciences Institute Proceedings*, Vol. 32, No. 11, pp. 1614-1616.
- Petersen II, C. G., (1997), "An evaluation of order picking routeing polices", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 17, No. 11, pp. 1096-1111.
- Petersen II, C.G. and Schmenner, R.W., (1999) "An evaluation of routeing and volume-based storage polices in an order picking operation", *Decision Sciences*, Vol. 20, No. 2, pp. 481-501.
- Petersen II, C.G., (1999), "The impact of routing and storage policies on a warehouse efficiency", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 19, No. 10, pp. 1053-1064.
- Petersen, C.G., (2002), "Considerations in order picking configuration", *International Journal of Operation & Production Management*, Vol. 22, No. 7, pp. 793-805.
- Petersen, C.G., Aase, G.R. and Heiser, D.R., (2004), "Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 43, No. 7, pp. 534-544.
- Petersen, C.G., Aase, G., (2004), "A comparison of picking, storage, and routing policies in a manual order picking", *International Journal of Production Economics*, Vol. 92, pp. 11-19.

Petersen, C.G., Siu, C., Heiser, D.R., (2005), "Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25, pp. 997-1012.

S.Petrovic, "Introduction to scheduling" in *Automated Scheduling*, School of Computer Science and IT, University of Nottingham, 2002.

D. Pisinger. Heuristics for the container loading problem. *European Journal of Operations Research*, 141(3):382 – 392, 2002.

Ratliff, H.D. and Rosenthal. A.S., (1983), "Order picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the travelling salesman problem", *Operations Research*, Vol. 31, No. 3, pp. 507-521.

Roodenberg, K.J. and Koster, R., (2001), "Routing order pickers in a warehouse with middle aisle", *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, pp.32-45.

Rosenblatt, M. J., Eynan, A., 1989, *Deriving the Optimal Boundaries for Class-Based Automatic Storage/Retrieval Systems. Manage Science*, 35, 1519–1524.

Rosenwein, M.B., (1994), "An application of cluster analysis to the problem of locationing items within a warehouse", *IEEE Transactions*, Vol. 22, pp. 101-105.

Ruben, R.A. and Jacobs, F.R., (1999), "Batch construction heuristics and storage assignment strategies for walk/ride and picking systems", *Management Science*, Vol. 45, pp. 575-596.

Scheithauer G. Algorithms for the container loading problem. *Operations Research Proceedings*, 1991.

Schmenner R.W., *Production/operations management. Concepts and situations*, Science Research Associates, 1984.

Schwarz, L.B., Graves, S.C. and Hausman, W.H., (1978), "Scheduling policies for automatic warehousing systems: simulation results", *AIIE Transactions*, Vol. 10, pp. 260-270.

Scriabinn, M. e Vergin R.C., (1985). "A cluster-analytic approach to facility layout". *Management Science* 31(1), 33-49.

Seehof J.M. e Evans W.O. (1967). "Automated layout design program". *The journal of industrial Engineering* 18(2), 690-695.

Shigeo Shingo (1989) *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint (Produce What Is Needed, When It's Needed)*, Productivity Press

Tang, L.C. and Chew, E.P., (1997), "Order picking systems: batching and storage assignment strategies", *Computer & Industrial Engineering*, Vol. 33, pp. 817-820.

Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A. and Trevino, J., (1996), "*Facilities Planning*", 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, New York, NY.

F.Turco, "Principi generali di progettazione degli impianti industriali", Ed. Città Studi, 1993

Asim YarKhan and Jack J. Dongarra. "Experiments with Scheduling Using Simulated Annealing in a Grid Environment" "Lecture Notes in Computer Science, 2002, Volume 2536/2002, 232-242, DOI: 10.1007/3-540-36133-2\_21.

J. David Viale, *La gestione del magazzino: dal deposito al centro di distribuzione*, Franco Angeli

Gianfranco Vignati, *Manuale di Logistica*, Hoepli

VON THUENEN, Johann Heinrich. The Isolated State. **1826/1851/1966**

Weber A., (1929) "Theory of the Location of industry" Chicago University Press, Chicago.

Womack, James P., Jones, Daniel T., and Roos, Daniel (1991), *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*, HarperBusiness, 2003

Womack, James P. and Jones, Daniel T. (2003), *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Revised and Updated*, HarperBusiness, 2003

Womack James P., Jones Daniel T., *Lean Thinking. Come creare valore e bandire gli sprechi*, Milano, Guerini e Associati, 2006.

## *Sitografia*

- <http://www.logisticamente.it>
- <http://www.logisticamanagement.it>
- <http://www.logista.it/>
- <http://www.mecalux.it>
- <http://www.wikipedia.org>

- dia.org" | [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)}