



**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI,
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***Progettazione di Impianti di Stoccaggio Automatizzati.
Metodologia di sviluppo generale a partire da un caso
reale***

RELATORE

IL CANDIDATO

Prof. Ing. Gionata Carmignani

Luca Bedini

*Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi,
del Territorio e delle Costruzioni*

luca_bedini@libero.it

Sessione di Laurea del 27/04/2016
Anno Accademico 2014/2015
Consultazione consentita

Sommario

0. PREMESSA	7
1. I MAGAZZINI	9
1.1 GENERALITA'	9
1.2 TIPOLOGIE DI MAGAZZINI	11
1.2.1 Stoccaggio di unità di carico pallettizzate	12
1.2.2 Stoccaggio di unità di carico di piccole dimensioni	16
2. PROGETTAZIONE E SVILUPPO DI UN IMPIANTO DI STOCCAGGIO	19
2.1 SCELTA PRELIMINARE DELLA TIPOLOGIA DI MAGAZZINO.....	22
3. APPLICAZIONE DEL PROCESSO DI PROGETTAZIONE AD UN MAGAZZINO AUTOMATIZZATO.....	24
3.1 MAGAZZINI AUTOMATIZZATI SERVITI DA TRASLOELEVATORI	24
3.1.1 Tipologie di magazzini automatizzati	25
3.2 OGGETTO DELL'ANALISI	27
4. PRINCIPALI FASI DEL PROCESSO DI PROGETTAZIONE DI UN MAGAZZINO AUTOMATIZZATO.....	33
4.1 STUDIO DI FATTIBILITA'	33
4.1.1 Generalità	33
4.1.2 Definizione del Project Scope.....	34
4.1.3 Analisi AS-IS	34
4.1.4 Determinazione dei requisiti	40
4.1.5 L'approccio	41
4.1.6 Valutazione.....	42
4.1.7 Revisione	43
4.2 SCELTA DELL'UBICAZIONE E DEL TERRENO	45
4.2.1 Generalità	45
4.2.2 Fattori ubicazionali a carattere territoriale	45
4.2.3 Scelta del terreno	47
4.3 STUDIO DEL LAYOUT DELL'IMPIANTO	51
4.3.1 Generalità	51
4.3.2 Raccolta e analisi dei dati di partenza	53
4.3.3 Ricerca delle possibili soluzioni	54
4.4 CRITERI DI ALLOCAZIONE DEI PRODOTTI	58
4.5 SIMULAZIONE DINAMICA	64
4.6 COMMISSIONING	70

5. I TRASLOELEVATORI.....	76
5.1 CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI.....	76
5.2 SISTEMA DI GESTIONE E CONTROLLO	83
5.3 L'IMPIEGO DEI TRASLOELEVATORI PER IL PICKING	84
5.4 ULTERIORI ASPETTI SIGNIFICATIVI.....	87
6. DMECA.....	90
6.1 CENNI SULLA <i>FMECA</i>	90
6.2 METODOLOGIA <i>DMECA</i>	92
6.2.1 DMECA in atto	93
6.2.2 Scomposizione funzionale e analisi di criticità	94
6.2.3 Attribuzione dei valori numerici.....	98
6.2.4 Fogli di lavoro e piano di miglioramento.....	99
6.3 APPLICAZIONE AD UN PROCESSO OPERATIVO DEL TRASLOELEVATORE	101
7. CONCLUSIONI	114
8. INDICE DI FIGURE E TABELLE	118
8.1 Indice delle figure	118
8.2 Indice delle tabelle	118
9. BIBLIOGRAFIA	119
10. RINGRAZIAMENTI	121

0. PREMESSA

Questo lavoro di tesi descrive una metodologia, di generale applicabilità, strutturata e sistematica, per la progettazione e lo sviluppo di impianti di stoccaggio.

L'argomento di questa trattazione è stato suggerito dall'attività di stage svolta presso la funzione Logistica Distributiva, appartenente al "*Supply Chain Department*", dell'Azienda Salvatore Ferragamo Spa.

La Salvatore Ferragamo Spa è uno dei principali player del settore lusso, attivo principalmente nella creazione, produzione e vendita di calzature, pelletteria, abbigliamento, prodotti in seta e altri accessori, nonché profumi, per uomo e donna, tutti rigorosamente Made in Italy.

Il progetto di tesi è stato, quindi, realizzato attraverso l'utilizzo di concetti e metodologie approfondite nell'attività operativa durante il periodo di stage poiché, presso l'Azienda, è attualmente in corso un rilevante progetto per la realizzazione di un nuovo magazzino automatizzato, al quale ho avuto modo di prendere parte, per un periodo di sei mesi.

Proprio a partire dalle attività di mappatura dei processi e dei flussi logistici futuri e dalla definizione delle specifiche di progetto svolte durante il lavoro di stage, si è generata l'idea della definizione di un modello ed una metodologia, di applicabilità generale, che possano supportare la progettazione di un magazzino, sia esso automatico o meno.

L'idea iniziale che è stata sviluppata si basa sull'applicazione del processo di progettazione e sviluppo di un nuovo prodotto, attraverso un suo adattamento al processo di progettazione e realizzazione di un nuovo magazzino.

Quindi, la considerazione iniziale che è stata approfondita è relativa alla possibilità di considerare un impianto di stoccaggio alla stregua di un nuovo prodotto manifatturiero, e per questo sviluppare l'intero processo di progettazione, dalle fasi preliminari di ideazione e studio di fattibilità fino alle fasi conclusive di installazione, test ed avviamento dell'impianto.

1. I MAGAZZINI

1.1 GENERALITA'

I sistemi di stoccaggio e distribuzione dei materiali sono parte integrante di ogni sistema logistico e rappresentano l'anello della catena che congiunge produttori e consumatori. Negli anni il ruolo e l'importanza del “*sistema magazzino*” è notevolmente mutato all'interno della *supply chain*, passando da uno tra i tanti anelli della catena logistica ad anello fondamentale per far sì che il sistema logistico sia in grado di erogare servizio logistico, inteso nella sua concezione più ampia come capacità di rendere disponibile il prodotto giusto nel posto giusto, al momento giusto ed al costo giusto.

I magazzini, all'interno della rete logistica, svolgono una duplice funzione: quella di contenitore delle merci mantenute a scorta e quella di trasformatrici dei flussi in ingresso in flussi in uscita. In particolare i magazzini industriali sono chiamati a svolgere i seguenti compiti:

- conservare i materiali, direttamente o indirettamente impiegati e ottenuti nei processi produttivi dell'azienda, siano essi materie prime, semilavorati o prodotti finiti;
- assicurare la disponibilità dei materiali e dei prodotti finiti necessari alla lavorazione e alla vendita, garantendo una scorta minima che assicuri la continuità della produzione e delle consegne;
- consentire una disposizione razionale del materiale al fine di minimizzare lo spazio necessario per la conservazione della merce, di limitare il costo dell'immagazzinamento, di consentire facili controlli e movimentazioni dei materiali stoccati.

Fino a non molto tempo fa il magazzino era visto e concepito come il luogo in cui accumulare la maggiore quantità possibile di merce, non solo per soddisfare le esigenze produttive, ma anche perché un magazzino pieno era sinonimo di prestigio e fiducia.

Da qualche anno a questa parte è andata diffondendosi una nuova tendenza, tesa ad ottimizzare la gestione delle scorte ed a progettare in modo ottimale la struttura dedicata alla conservazione delle merci, in quanto tale struttura:

- *rappresenta un sostanziale peso economico* per le aziende dal momento che le giacenze, in altre parole gli stock di materiale conservato in magazzino, sono dei capitali immobilizzati impiegati in beni tangibili, molto costosi per interessi passivi e soggetti ad obsolescenza e deprezzamento;
- *necessita di notevole spazio* al quale viene destinata una quota di capitale elevata legata alle esigenze di riscaldamento, illuminazione e ammortamento dell'impianto. A questo investimento non corrisponde quasi mai un vantaggio e quindi si comprende come sia importante ridurre al minimo l'area ed il volume dello stabilimento adibito a magazzino;
- *deve rispondere ad esigenze di funzionalità*: un magazzino industriale è a contatto diretto con i reparti di lavorazione, dai quali provengono materiali che in un successivo istante saranno dirottati verso altri centri di lavoro. Pertanto il magazzino deve essere tale da non alterare i flussi dei materiali stessi. Inoltre la sosta delle merci deve essere minima, richiedere il minor numero possibile di movimentazioni e comportare operazioni di carico/scarico e immagazzinamento semplici ed economiche, eseguite con impianti e attrezzature razionali;
- *deve consentire una conservazione dei materiali idonea* rispetto alla tipologia di prodotto oggetto di immagazzinamento, ad esempio: eventuali esigenze di fragilità potrebbero richiedere particolari prestazioni al sistema di handling; fattori di tipo ambientale, quali ad esempio temperatura o umidità potrebbero degradare i prodotti, inoltre esigenze di sicurezza potrebbero richiedere misure di protezione e prevenzione da incendi, quali ad esempio i liquidi infiammabili, il cui stoccaggio deve avvenire con particolari modalità in tema di sicurezza, ed anche vincoli di sicurezza legati al valore degli oggetti e alla loro possibilità di sottrazione.

Un magazzino può essere visto come un insieme integrato di aree funzionali, all'interno delle quali vengono svolti specifici processi ed operazioni. L'organizzazione e la progettazione razionale e coerente delle diverse aree e l'integrazione tra le stesse costituiscono la base che permette al magazzino di svolgere la sua funzione in maniera efficiente ed efficace.

Le principali aree funzionali di un magazzino possono quindi essere classificate come:

- Area di ricevimento e controllo (quantitativo e qualitativo) della merce,
- Area di stoccaggio della merce,
- Area di allestimento ordini,
- Area di imballaggio e consolidamento della merce,

- Area di spedizione.

Accanto a queste cinque aree, per così dire tradizionali, negli ultimi tempi se ne è aggiunta una sesta, rappresentata da:

- Area di gestione resi (*'reverse logistics'*), imballaggi e prodotti dismessi.

Queste vengono rappresentate nella Figura 1. È da notare come la successione delle diverse aree funzionali rispecchi l'andamento del flusso dei materiali all'interno del magazzino stesso. Questa è la tendenza che si cerca infatti di perseguire nella realizzazione del layout del magazzino, in modo da minimizzare i costi di movimentazione della merce (fa eccezione l'area funzionale di gestione del sistema rappresentata dall'area 'uffici', la quale non è interessata da flussi di materiale).

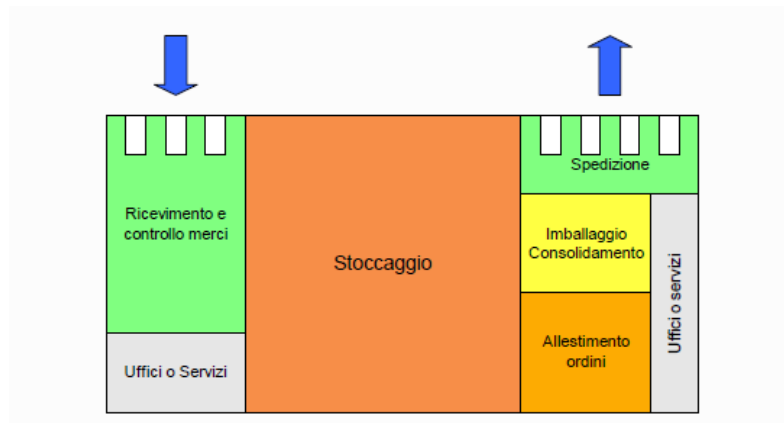


Figura 1 Schema delle aree funzionali di un magazzino

1.2 TIPOLOGIE DI MAGAZZINI

Esistono diverse tipologie di magazzini che si differenziano in base alle modalità di immagazzinamento e che dipendono innanzitutto dalle caratteristiche dei materiali. Di seguito, sono state illustrate alcune modalità di immagazzinamento tipiche dei materiali che più frequentemente devono essere stoccati nei magazzini industriali.

In generale, si può dire che la scelta del sistema di immagazzinamento più conveniente deve essere fatta alla luce dei due seguenti fattori: tecnico ed economico.

Il *fattore tecnico* tiene conto delle caratteristiche del materiale e del relativo imballo primario da immagazzinare (granulometria, peso specifico, igroscopicità, ecc.), del

peso e del volume del materiale stesso o delle relative unità di carico, della frequenza e dell'entità dei prelievi e dei depositi, delle esigenze di sicurezza e di igiene.

Il *fattore economico*, invece, esige il minimo costo di: ammortamento del capitale da investire, manodopera, esercizio e manutenzione. Inoltre, il fattore economico tiene conto dell'immobilizzo di capitale, sotto forma di materiale giacente a magazzino, e dell'eventuale perdita di valore della merce immagazzinata.

Esistono due tipologie principali di magazzini:

- i) magazzini per lo stoccaggio di unità di carico pallettizzate, a cui possono essere ricondotti i magazzini per le materie prime e per i prodotti finiti;
- ii) magazzini per lo stoccaggio di unità di carico di piccole dimensioni, come i magazzini inter-operazionali, i magazzini per il *picking* (prelievo frazionato) e per il *kitting* (magazzini di parti per il rifornimento di linee di assemblaggio).

Gli impianti di stoccaggio possono essere inoltre classificati in magazzini di tipo statico e magazzini di tipo dinamico. Nei primi, le unità di carico rimangono in posizione fissa per l'intero periodo di permanenza a magazzino; nei secondi invece la posizione delle unità di carico nel magazzino varia tra il momento di carico a magazzino e quello di prelievo.

1.2.1 Stoccaggio di unità di carico pallettizzate

La tipologia più semplice di magazzino per unità di carico è quella del *magazzino statico a catasta* (Figura 2). Le unità di carico vengono stoccate le une sulle altre costituendo delle cataste. Tra le file vengono lasciati dei corridoi per il passaggio dei carrelli utilizzati per la movimentazione delle unità di carico. Perché sia possibile costituire delle cataste di unità di carico, è necessario che i pallet utilizzati siano reversibili e che, ovviamente, le unità di carico stesse siano sovrapponibili così che possano sostenere il carico senza schiacciarsi.

Con i magazzini a catasta è possibile conseguire alti coefficienti di sfruttamento superficiale¹ e volumetrico² grazie allo sviluppo superficiale della catasta stessa. Per contro i magazzini a catasta sono caratterizzati da bassa selettività³ che può crescere

¹ Il coefficiente di sfruttamento superficiale rappresenta il rapporto tra la superficie di stoccaggio utilizzata e la superficie totale.

² Il coefficiente di sfruttamento volumetrico rappresenta il rapporto tra il volume medio dell'unità di carico e il volume del vano di stoccaggio.

³ L'indice di selettività è il rapporto tra il numero di unità di carico direttamente accessibili in fase di prelievo e la ricettività del magazzino.

leggermente qualora si costituiscono cataste omogenee. Inoltre anche la potenzialità di movimentazione può risultare ridotta, visto che può essere difficoltoso l'accesso alle varie unità di carico. Lo stoccaggio a catasta si adatta ad articoli caratterizzati da elevata giacenza.

I magazzini a catasta hanno il vantaggio che i costi da sostenere sono ridotti poiché non sono necessarie apposite strutture di immagazzinamento delle unità di carico come, ad esempio, le scaffalature metalliche. Grazie alla disposizione delle unità di carico in cataste è possibile inoltre effettuare agevolmente riconfigurazioni del layout del magazzino.



Figura 2 Magazzino statico a catasta

I magazzini a *scaffalatura di tipo drive in o drive through*, adatti quando le unità di carico non sono sovrapponibili, sono un'altra tipologia di magazzino statico. Una scaffalatura metallica si compone di elementi verticali chiamati 'montanti' e di elementi orizzontali chiamati 'correnti'. Lo spazio di scaffalatura compreso tra due correnti consecutivi e due montanti consecutivi viene chiamato 'vano'. Nelle scaffalature drive in o drive through i correnti sono mensole sulle quali vengono appoggiate le estremità dei pallet. Questo consente al sistema di movimentazione (tipicamente un carrello a forche o un transpallet) di entrare direttamente all'interno della scaffalatura per effettuare il prelievo e il deposito delle unità di carico, che sono stoccate per il lato lungo. Le scaffalature drive in consentono lo stoccaggio ed il prelievo dei pallet solo

da un lato della scaffalatura; in quelle drive through queste due operazioni avvengono da lati opposti della scaffalatura. Nel primo caso si esegue una gestione delle merci del tipo LIFO (*last in - first out*), mentre nel secondo una gestione FIFO (*first in - first out*) che risulta particolarmente adatta per merci soggette a deperimento.

I magazzini drive in o drive through consentono un maggior sfruttamento volumetrico rispetto ai magazzini a catasta, poiché le altezze di impilamento risultano superiori, a scapito di una bassa selettività e di maggiori costi dovuti alla presenza di scaffalature. Nei magazzini con *scaffalature tradizionali* (Figura 3), rispetto ai magazzini drive in o drive through, i correnti sono dei veri e propri ripiani su cui vengono appoggiate le unità di carico.

Tali magazzini sono caratterizzati da una selettività unitaria poiché tutte le unità di carico possono essere prelevate direttamente, ma richiedono, rispetto allo stoccaggio a catasta, maggiori investimenti connessi principalmente all'acquisto delle scaffalature. Inoltre hanno dei coefficienti di utilizzazione superficiale e volumetrico inferiori rispetto ai magazzini a catasta. Le effettive prestazioni di un magazzino con scaffalature tradizionali dipendono fortemente dal tipo di sistema utilizzato per la movimentazione delle unità di carico. Infatti quest'ultimo influenza le ampiezze dei corridoi e l'altezza massima a cui è possibile posizionare le unità di carico.



Figura 3 Magazzino con scaffalature tradizionali

Un' ulteriore tipologia di magazzini statici è quella dei *magazzini automatici*, costituiti da scaffalature, in cui le operazioni di carico e scarico sono effettuate da trasloelevatori che si muovono all'interno dei corridoi del magazzino. Esistono versioni in cui è

presente un trasloelevatore per corridoio e versioni in cui il trasloelevatore si può muovere da un corridoio ad un altro. Questi magazzini, che risultano intensivi con corridoi di larghezza minima pari ad 1 metro, hanno selettività unitaria (ogni vano è direttamente accessibile) e possono essere gestiti in maniera ottimizzata automaticamente tramite sistema centrale computerizzato. Tali sistemi di stoccaggio hanno bassi costi di esercizio, elevate prestazioni in termini di potenzialità di movimentazione, ricettività e controllo (tracciabilità) dei materiali mantenuti a scorta. Comportano peraltro elevati costi di investimento connessi con la struttura del magazzino, autoportante e prefabbricata, e con il sistema di movimentazione e controllo. Perciò questi magazzini sono adatti solo quando sono richieste elevate ricettività e potenzialità di movimentazione. Infine tali magazzini non consentono facili riconfigurazioni a meno di elevati costi.

Nel corso di questa trattazione verranno affrontate con maggior dettaglio le principali fasi per la progettazione e lo sviluppo di magazzini automatizzati serviti da trasloelevatori. Inoltre il capitolo 6 è dedicato ad una dettagliata descrizione dei componenti e del funzionamento dei trasloelevatori stessi.

La prima tipologia di magazzino dinamico per lo stoccaggio di unità di carico pallettizzate è quella dei *magazzini a scaffali mobili* (o 'magazzino compactus'). Questi magazzini sono adatti allo stoccaggio di unità di carico caratterizzate da movimentazioni ridotte, dal momento che i tempi di movimentazione, comportando lo spostamento delle scaffalature, risultano elevati. Comportano costi di investimento piuttosto alti a causa delle scaffalature mobili. Un vantaggio connesso con questi tipi di magazzini è quello dell'elevato sfruttamento superficiale e volumetrico (questo li rende adatti laddove gli spazi a disposizione siano particolarmente ridotti), a discapito però della ridotta selettività.

Un'altra tipologia di magazzini dinamici, particolarmente adatti alla gestione FIFO delle unità di carico, sono i *magazzini live storage* (Figura 4). Si hanno scaffalature inclinate sulle quali scorrono le unità di carico; solitamente il piano di scorrimento è costituito da rulli dotati di un sistema frenante così da facilitare lo scorrimento stesso.

Le operazioni di stoccaggio e di prelievo avvengono da parti opposte, consentendo così che la prima unità di carico depositata sia anche la prima ad essere prelevata.

Poiché in genere ad ogni canale della scaffalatura è assegnata una ben precisa linea d'ordine, è possibile conseguire elevate selettività del magazzino (valutata a livello di

gruppo). I coefficienti di utilizzazione superficiale e volumetrico risultano elevati qualora si abbia un elevato numero di unità di carico stoccate per ogni gruppo.

Un'altra tipologia di magazzini dinamici è quella dei magazzini con scaffalature in contropendenza idonei per una gestione dei materiali di tipo LIFO. I canali vengono caricati e scaricati da un'unica estremità: nella fase di carico il pallet risale il canale, nella fase di scarico lo discende.

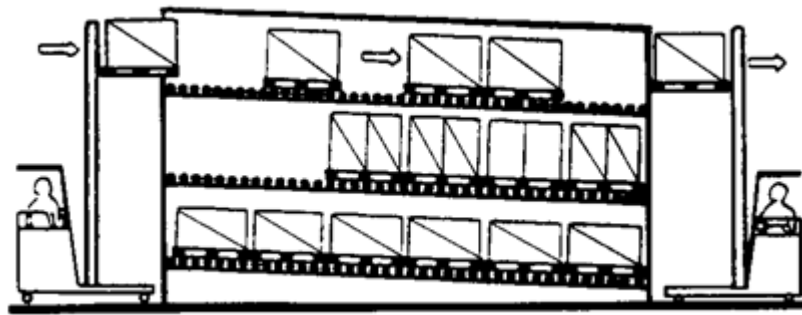


Figura 4 Magazzino dinamico live storage

1.2.2 Stoccaggio di unità di carico di piccole dimensioni

Nei magazzini utilizzati per lo stoccaggio di unità di carico di piccole dimensioni possono essere effettuate operazioni di picking (prelievo frazionato di diverse linee d'ordine) o di kitting (prelievo di parti per il rifornimento di linee di assemblaggio).

In questo ambito esistono due tipologie di gestione del magazzino. Nella prima i materiali rimangono fissi e l'operatore si muove ("operatore verso materiale"), prelevando di volta in volta i materiali che sono sulla lista dell'ordine (magazzini statici). Nella seconda ("materiale verso operatore") invece i materiali sono opportunamente movimentati e l'operatore rimane fermo durante le operazioni di prelievo (magazzini dinamici). La gestione "operatore verso materiali" viene effettuata nei magazzini con scaffalature e con cassettiere. La gestione dei "materiali verso operatore" è tipica invece dei magazzini a carosello (orizzontali e verticali) e dei minitraslo. •

Nei sistemi "operatore verso materiale", le linee d'ordine rimangono fisse all'interno del magazzino mentre l'operatore si muove a piedi o a bordo di carrelli commissionatori tra i vari corridoi prelevando di volta in volta i materiali necessari per evadere l'ordine. Le *scaffalature* comportano costi non elevati garantendo un'elevata riconfigurabilità. Il coefficiente di sfruttamento volumetrico è però piuttosto basso poiché i materiali sono appoggiati sopra ai ripiani delle scaffalature ed è necessario lasciare uno spazio adeguato per la loro movimentazione.

Il sistema *a cassettiere* consente, a scapito di un costo maggiore rispetto alle scaffalature (circa 2÷4 volte), uno stoccaggio più intensivo e una protezione ai materiali stoccati, che devono essere di dimensione molto ridotta. Il sistema a cassettiere è altamente riconfigurabile variando la disposizione delle cassette e lo spazio disponibile per ciascuna linea d'ordine.

Quando la potenzialità richiesta di movimentazione risulta particolarmente elevata e i materiali da movimentare sono di dimensioni ridotte è conveniente utilizzare uno stoccaggio di tipo "materiali verso operatore", in cui l'operatore rimane fermo e i materiali si muovono portandosi in prossimità dell'operatore stesso. Così facendo vengono eliminati i tempi persi per gli spostamenti dell'operatore, che costituiscono la quota maggiore del tempo totale di prelievo nei sistemi "operatore verso materiale".

I sistemi di stoccaggio più diffusi del tipo "materiale verso operatore" sono i magazzini *a carosello* e i *minitraslo*.

I caroselli orizzontali sono costituiti da una scaffalatura motorizzata in cui tutti i vani, o contenitori, si muovono contemporaneamente e orizzontalmente in modo da presentare la colonna da cui effettuare i prelievi in corrispondenza della posizione fissa dell'operatore. La produttività di prelievo utilizzando questi sistemi può arrivare sino a un massimo di circa 250 linee/h. 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.

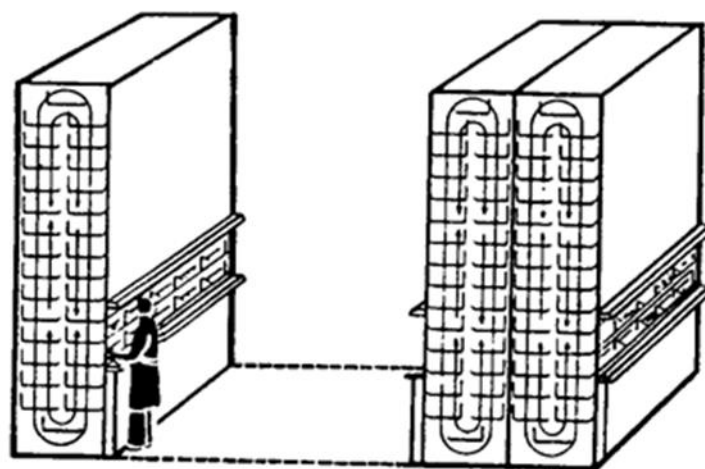


Figura 5 Magazzino a carosello verticale

Nei caroselli verticali (Figura 5) la direzione del moto è invece verticale e il prelievo viene effettuato da un operatore sempre alla stessa altezza su un piano orizzontale. Rispetto ai caroselli orizzontali, quelli verticali, costando circa il 40% in più, consentono un prelievo più ergonomico, uno sfruttamento volumetrico maggiore ed una maggior protezione delle merci stoccate.

I *minitraslo* (o miniload) hanno un funzionamento simile a quello di un magazzino automatizzato con trasloelevatore, da cui si differenziano essenzialmente per le dimensioni. Poiché gli oggetti da movimentare hanno piccole dimensioni, è possibile adottare elevate velocità di spostamento. Inoltre i minitraslo offrono un'elevata protezione dei materiali che sono inaccessibili dall'esterno del sistema.

2. PROGETTAZIONE E SVILUPPO DI UN IMPIANTO DI STOCCAGGIO

Lo studio realizzato in questo lavoro di tesi nasce dall'idea di svolgere un'analisi del processo di progettazione e sviluppo di un nuovo prodotto nell'ottica di un suo adattamento al processo di progettazione e sviluppo di un nuovo magazzino, approfondendo in seguito l'analisi nel dettaglio facendo riferimento ad i magazzini automatizzati. L'intera analisi prende inizio dagli studi sul processo di progettazione di un nuovo prodotto realizzati da K.T. Ulrich e S.D. Eppinger riportati nel testo *"Progettazione e sviluppo di prodotto"*, edito da McGraw-Hill. Ovviamente saranno necessarie opportune modifiche ed adattamenti da apportare al processo di progettazione descritto dai due autori sopracitati poiché un magazzino in quanto tale non può essere completamente assimilato ad un prodotto dell'industria manifatturiera. Verrà di seguito evidenziato, quindi, il modello generale che descrive il processo di progettazione e sviluppo di un nuovo magazzino; successivamente, il modello descritto sarà applicato alla progettazione ed alla realizzazione di un magazzino automatizzato servito da trasloelevatori; inoltre, nel corso della trattazione verranno approfondite le fasi principali e maggiormente caratterizzanti di tale processo.

La progettazione di un nuovo magazzino o la ristrutturazione di uno esistente è un'attività che viene molte volte sottovalutata ed affrontata con un metodo e con risorse non sempre corretti ed adeguati.

Il magazzino di una azienda moderna, sia esso destinato allo stoccaggio di materie prime, di semilavorati o di prodotti finiti, incide in modo significativo sull'ammontare complessivo dei costi sostenuti e sul livello di servizio espresso nei confronti dei clienti (interni od esterni) divenendo in tal modo un elemento importante per la competitività. Mediamente, valutando nel complesso grandi, medie e piccole aziende appartenenti a tutti i settori merceologici, i costi della distribuzione incidono circa per l' 8,3% del fatturato di una media azienda e, nell'ambito di questi, l'ammontare dei costi del magazzino (in questo caso ci si riferisce al magazzino prodotti finiti) valgono, per le attività di housing (attinenti lo stoccaggio dei prodotti: ammortamento o affitto magazzino, consumi, ammortamento scaffalature, ecc.), di handling (relative alla movimentazione dei prodotti: ricevimento e controllo, messa a dimora, rimpiazzi, preparazione degli ordini, imballaggio, ecc.) e per le attività accessorie, poco meno del

2% del fatturato di un'azienda media⁴. Deve essere inoltre evidenziato che normalmente le aziende di piccole e medie dimensioni hanno un'incidenza di costo più alta rispetto ai valori medi e per questo motivo tali aziende devono essere molto più attente alla gestione del magazzino rispetto alle imprese di grandi dimensioni che, in genere, godono di benefici correlati sia alle economie di scala sia alle maggiori risorse economiche e manageriali disponibili.

Quando si interviene in modo incisivo sull'assetto fisico ed organizzativo del magazzino è opportuno coinvolgere nella giusta misura, che può variare da caso a caso, oltre alla funzione Logistica anche altre funzioni aziendali quali Produzione, Sistemi Informativi, Approvvigionamenti, Qualità, Commerciale, ecc. Le loro aspettative e i loro condizionamenti devono essere messi sul tavolo della discussione assieme alle necessità e alle proposte di miglioramento avanzate dalla Logistica. Pertanto, affrontare un progetto di riorganizzazione del magazzino senza allargare l'orizzonte di indagine dalla sfera prettamente fisica a quella organizzativa e gestionale risulta pertanto un approccio parziale, che produce quasi sempre risultati non ottimali.

Occorre essere consapevoli che per affrontare processi radicali di innovazione non si può assolutamente fare a meno del contributo della tecnologia che, in ogni caso, può riguardare ambiti ed attività diverse del magazzino.

È necessario prendere in esame, in modo parallelo ma integrato, sia risorse quali strumenti, attrezzature, sistemi per la movimentazione fisica e lo stoccaggio delle merci sia risorse quali i sistemi di ICT (*Information Communication Technology*) che permettono di sincronizzare i flussi delle informazioni con quello dei prodotti e di mettere in atto modalità operative efficienti ed accurate.

Appartengono alla prima categoria di risorse: scaffalature, mezzi di movimentazione convenzionale (tipicamente i carrelli elevatori), mezzi di movimentazione e stoccaggio automatici (carrelli robotizzati, trasloelevatori di vario tipo, armadi automatici, caroselli orizzontali, shuttle, ecc.), sistemi di movimentazione continua meccanizzati (trasportatori a rulli, a nastro, con decision point, ecc.), attrezzature di "fine linea" (nastratrici, etichettatrici, reggitrici, filmatrici, sistemi di pesatura, sistemi di smistamento, ecc.), mezzi di raccolta (pallet, contenitori, cassette) e di formazione delle unità di carico (pallettizzatori, robot antropomorfi e ad assi cartesiani, ecc.).

⁴ Fonte: www.simcoconsulting.it

Alla seconda categoria di risorse possiamo ascrivere i software di gestione operativa (WMS, *Warehouse Management System*, che possono essere un modulo dello ERP (*Enterprise Resource Planning*) aziendale oppure dei prodotti specifici che con esso si integrano), i sistemi di identificazione automatica (con in testa il “vecchio” bar-code ma con applicazioni che non devono trascurare le “nuove” tecniche di *Radio Frequency-Identification*), i sistemi di comunicazione che pur basandosi su tecnologia radio frequenza possono prevedere l’uso di terminali portatili o l’impiego di sistemi di ricognizione vocale, pick to light e put to light.

In questa trattazione si proverà a descrivere quale possa essere il miglior modello per il processo di progettazione di un magazzino, che consenta di produrre risultati “eccellenti”, partendo dalla considerazione che ormai quelli “buoni”, nel business moderno ed altamente competitivo, non sono più sufficienti. Il modello che viene suggerito e che viene descritto nei successivi capitoli ha una validità generale anche se i problemi di ogni azienda sono connotati da specificità a seguito delle quali i diversi step del progetto possono acquisire un’importanza, ed eventualmente una sequenza, diversa, sia in termini assoluti che relativi.

La figura 6 illustra l’intero processo di progettazione mediante una serie di fasi sequenziali ed ordinate che vanno dalle fasi iniziali di gara e studio di fattibilità fino alla costruzione dell’impianto ma che tiene anche in considerazione, ad esempio, delle attività di smantellamento al termine della vita utile dell’impianto stesso. Si va comunque a schematizzare una realtà che è molto più complicata: la presenza di feedback interni renderà il processo complesso, con frequenti interazioni ed effetti domino.

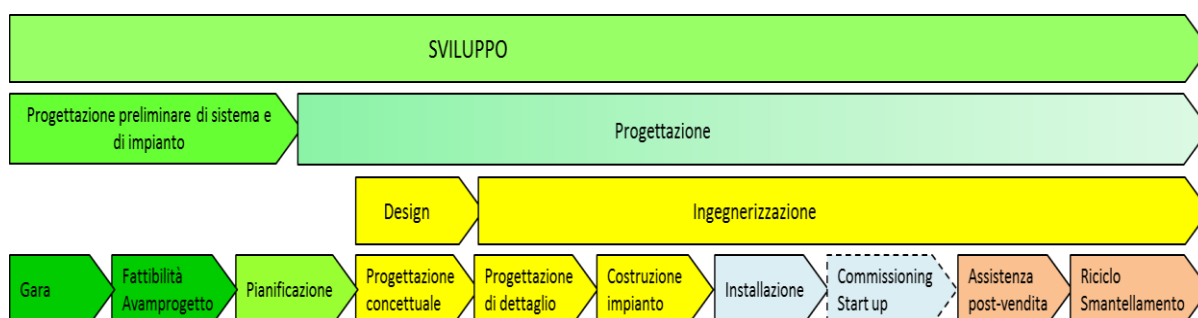


Figura 6 Fasi del processo di progettazione e sviluppo di un magazzino

Il processo nella sua interezza può essere suddiviso, ad un maggior livello di dettaglio, in una serie di attività, più o meno complesse e più o meno importanti e per la buona riuscita del progetto stesso, che il team di progetto deve affrontare nel corso dello sviluppo di un nuovo magazzino.

A seguito della scelta, da parte del Management o della Direzione, di realizzazione di un nuovo magazzino, è opportuno che venga presa la decisione relativa alla tipologia di magazzino che deve essere progettato e realizzato; tale decisione deve essere presa, facendo riferimento alla figura soprastante, entro il termine della fase di fattibilità o avamprogetto. La precedente fase di gara può essere d'aiuto al team ed alla Direzione per effettuare la scelta maggiormente adatta alla realtà aziendale di riferimento.

2.1 SCELTA PRELIMINARE DELLA TIPOLOGIA DI MAGAZZINO

Durante le fasi di ideazione, gara e fattibilità, relative al processo di progettazione di un magazzino, è necessario individuare la tipologia di impianto più adatta.

La scelta deve tenere conto di fattori tecnici, come ad esempio la selettività richiesta, di fattori economici o strategici, come, ad esempio, il costo delle attrezzature di stoccaggio e di movimentazione, la possibilità di riconfigurazione del magazzino ed anche lo spazio disponibile.

Nella scelta preliminare della tipologia di magazzino, dopo aver fissato obiettivi economici e strategici e fattori di spazio, si può fare ricorso all'indice di accesso ed alla selettività richiesta al magazzino stesso. L'*indice di accesso* di un magazzino è dato dal rapporto tra il numero di movimentazioni in un certo periodo di riferimento e la ricettività del magazzino; con l'indice di accesso è possibile perciò valutare la frequenza con cui avviene la rotazione dei materiali del magazzino nel periodo di riferimento. Quando l'indice di accesso è elevato, il magazzino risulta dinamico, con bassi tempi di permanenza delle merci nel magazzino e frequenti movimentazioni. Quando invece l'indice di accesso è basso, i magazzini risultano più statici, con movimentazioni delle merci meno frequenti.

In base al livello di selettività e all'indice di accesso è possibile fornire dei parametri indicativi per la scelta della configurazione più adatta di magazzino. Se la selettività e

l'indice di accesso ai vani devono essere elevati, è opportuno ricorrere a magazzini con scaffalature servite da trasloelevatori. Infatti, in tali magazzini, bassi tempi di movimentazione si abbinano ad una selettività praticamente unitaria.

Qualora si voglia un'elevata selettività con indici di accesso inferiori, la soluzione migliore è quella delle scaffalature in cui la movimentazione è effettuata da carrelli manuali a forche con tempi di ciclo maggiori.

Quando si voglia effettuare una gestione dei materiali del tipo FIFO con bassa selettività ed indice di accesso elevato, si possono adottare magazzini a catasta, magazzini live storage o drive in. Infine, quando sia la selettività sia l'indice di accesso sono bassi, si possono adottare magazzini a scaffali mobili, (particolarmente adatti quando lo spazio a disposizione è limitato). Nella Tabella 1 seguente sono riassunti i criteri di scelta dei magazzini descritti sopra.

		SELETTIVITA'	
		<i>Alta</i>	<i>Bassa</i>
INDICE DI ACCESSO	<i>Alto</i>	Trasloelevatori	Catasta Drive in Live storage
	<i>Basso</i>	Carrelli a forche	Scaffali mobili

Tabella 1 Scelta della tipologia di magazzino in funzione dell'indice di accesso e della selettività.

Nel successivo capitolo viene affrontata l'applicazione del processo di progettazione di un nuovo magazzino precedentemente descritto, attraverso una descrizione, quanto più possibile dettagliata, delle principali e più importanti fasi del processo di progettazione e sviluppo di un magazzino automatizzato servito da trasloelevatori.

3. APPLICAZIONE DEL PROCESSO DI PROGETTAZIONE AD UN MAGAZZINO AUTOMATIZZATO

3.1 MAGAZZINI AUTOMATIZZATI SERVITI DA TRASLOELEVATORI

L'industria di prodotto, già dagli anni '60, ha cominciato ad investire nell'automazione dei processi, soprattutto per quanto riguarda il flusso dei materiali e le attrezzature di produzione; nei decenni successivi ha prodotto un grosso sforzo per perfezionare l'automazione del controllo di processo tramite sensori, attuatori e dispositivi di rilevamento gestiti da sofisticata strumentazione industriale di rilevamento e controllo. Con l'espressione '*Fabbrica Automatica*', invece, si è inteso fare riferimento in questi ultimi decenni espressamente all'automazione dell'industria manifatturiera, ovvero di quella parte di industria che per realizzare i propri prodotti necessita di processi di fabbricazione e montaggio che meno si prestano all'automazione. È stato fatto in tal senso uno sforzo enorme che ha portato al conseguimento di risultati rilevanti grazie al supporto delle nuove tecnologie elettroniche ed informatiche ed alle moderne attrezzature per l'automazione, prodotte in campo meccanico, elettromeccanico ed elettrico.

È opportuno mantenere un passo spedito verso l'automazione integrata e flessibile degli impianti industriali non tanto e non solo per convenienza economica in senso tradizionale, quanto perché si tratta di un'esigenza di sopravvivenza in un mercato, che non cresce solo quantitativamente ma è in continuo mutamento qualitativo dei prodotti. Si è osservato che le aziende che hanno meno risentito delle crisi del mercato degli ultimi tempi sono quelle che più ampiamente hanno fatto ricorso alla modernizzazione ed all'innovazione tecnologica, sia dal punto di vista produttivo che dal punto di vista di gestione dei prodotti e della supply chain.

Le risorse dell'automazione trovano oggi impiego sempre più diffuso nei sistemi di immagazzinamento, attraverso lo sviluppo e la realizzazione di magazzini intensivi meccanizzati od automatizzati.

Un magazzino automatizzato (*automated storage/retrieval system (AS/RS)*) consiste principalmente in una serie di corridoi di deposito, dotati di opportune infrastrutture/scaffalature per lo stoccaggio, servite da uno o più *storage/retrieval machine* (ad esempio i trasloelevatori, uno per corridoio). I sistemi di movimentazione

sono adibiti al recupero e deposito dei materiali sugli scaffali di opportuni moduli di carico di dimensioni standard (pallet, scatoloni, cassette, ecc.) contenenti i materiali da immagazzinare. Ogni AS/RS dispone di uno o più stazioni di carico/scarico ove i materiali vengono caricati/scaricati dal trasloelevatore. Tale stazione può essere a sua volta manuale o automatizzata, cioè interfacciata con un sistema automatico di trasporto dei materiali, quali nastri trasportatori, AGV (*Automated Guided Vehicles*), ecc. Il sistema è poi generalmente gestito tramite uno o più sistemi software di gestione.

I *vantaggi* di tali sistemi sono riassunti in seguito:

- a) incremento della capacità di stoccaggio;
- b) utilizzo più efficiente dello spazio;
- c) incremento della sicurezza;
- d) riduzione degli errori;
- e) riduzione dei costi di lavoro associati alla gestione dei materiali;
- f) incremento della produttività;
- g) incremento nel controllo delle scorte;
- h) incremento nella rotazione delle scorte;
- i) incremento del livello di servizio;
- j) incremento del grado di sicurezza sul lavoro nei magazzini.

Gli svantaggi sono principalmente legati agli alti investimenti richiesti da tali sistemi ed alla loro rigidità a fronte di grandi variazioni dimensionali dei prodotti da stoccare.

3.1.1 Tipologie di magazzini automatizzati

Esistono diverse tipologie di magazzini automatizzati:

- Unit load AS/RS: sistemi di grosse dimensioni per lo stoccaggio di pallet o container di dimensione standard. I trasloelevatori sono progettati "ad hoc" per il trasporto delle unità di carico. Sono sistemi controllati interamente da computer.
- Miniload AS/RS: magazzino per piccole unità di carico (parti individuali o componenti) che sono contenute in opportuni contenitori (storage bin). Le stazioni di prelievo e deposito generalmente sono manuali e disposte alla fine di ogni corridoio. Ciascun corridoio viene servito dal suo trasloelevatore di piccole dimensioni. Generalmente il magazzino è un sistema chiuso e quindi

possiede un elevato grado di sicurezza. Sono sistemi ampiamente utilizzati in vari campi; ad esempio un loro uso consiste nel deposito degli utensili in officina.

- **Man-on-board AS/RS:** si distingue dal sistema miniload per il fatto che permette il recupero e deposito del materiale vero e proprio, e non del contenitore corrispondente. Grazie a questa caratteristica, permette, a volte, di ridurre i tempi di transazione del sistema.
- **Automated item retrieval system:** sistemi disegnati per il recupero di piccoli carichi individuali, come il caso di un prodotto in magazzini per sistemi di distribuzione. Gli articoli sono staccati su singole linee piuttosto che in contenitori; un pezzo da recuperare viene allora rilasciato dalla linea su di un nastro trasportatore che lo trasferisce alla stazione di prelievo e deposito. Generalmente le linee sono rifornite dal retro in modo tale da ottenere una gestione dei materiali del tipo FIFO.
- **Deep lane AS/RS:** sistemi ad alta densità di unità immagazzinate, appropriato nei casi di grossi volumi depositati, ma relativi a pochi prodotti. Questo sistema non immagazzina ogni unità in modo che il trasloelevatore possa sempre recuperarla. Al contrario, deposita le merci in modo tale che ad ogni locazione corrispondano 10 o più unità del prodotto in questione, sistemate una dietro l'altra su di un'unica fila. Ogni scaffale è quindi progettato in modo tale da avere, per ogni locazione, un ingresso (carico) ed una uscita (recupero) distinti: cioè, da un corridoio si carica e da quello a fianco si scarica. I carichi sono recuperati e stoccati utilizzando due differenti trasloelevatori opportunamente progettati allo scopo. Grazie alle loro caratteristiche, tali sistemi sono generalmente usati nell'industria alimentare.

3.2 OGGETTO DELL'ANALISI

In questa analisi ci occuperemo della descrizione delle fasi di progettazione e realizzazione di impianti di stoccaggio automatizzati costituiti da scaffalature bifronti, servite da trasloelevatori (si veda Figura 8). I criteri da utilizzare per tale progettazione rispecchiano, con qualche differenza, quelli per un generico magazzino descritti nel capitolo precedente.

Il processo nella sua interezza può essere suddiviso, ad un maggior livello di dettaglio, in una serie di attività più o meno complesse e più o meno importanti al fine di ottenere una scomposizione semplice e lineare, che sia funzionale alla buona riuscita del processo stesso. In Figura 7 sono rappresentate, a partire dai sotto-processi di livello macro, le varie attività che il team di progetto deve affrontare nel corso dello sviluppo di un nuovo magazzino automatizzato.

Nel corso di tale applicazione del processo di progettazione di un magazzino generico ad un magazzino automatizzato occorre tenere conto delle specifiche modalità operative proprie dei trasloelevatori (si veda Figura 9), descritte in dettaglio nel Capitolo 5; in particolare, risulta importante il legame tra numero di corridoi e numero di trasloelevatori e la possibilità di traslazione simultanea in direzione orizzontale e verticale, in quanto ne risulta che la durata del percorso di trasferimento da un punto all'altro della scaffalatura è data dal valore massimo tra il tempo di traslazione orizzontale e quello di traslazione verticale.

In secondo luogo l'impiego dei trasloelevatori consente uno sviluppo in altezza dell'impianto di stoccaggio notevolmente superiore rispetto a quello consentito dalle varie altre tipologie di magazzino. Il numero dei livelli di stoccaggio deve essere comunque stabilito compatibilmente con i vincoli planovolumetrici esistenti.

Anche quando si affronta la progettazione di magazzini automatizzati è necessario analizzare diverse configurazioni dell'impianto di stoccaggio, a seconda del numero di corridoi e/o del numero di livelli di stoccaggio.

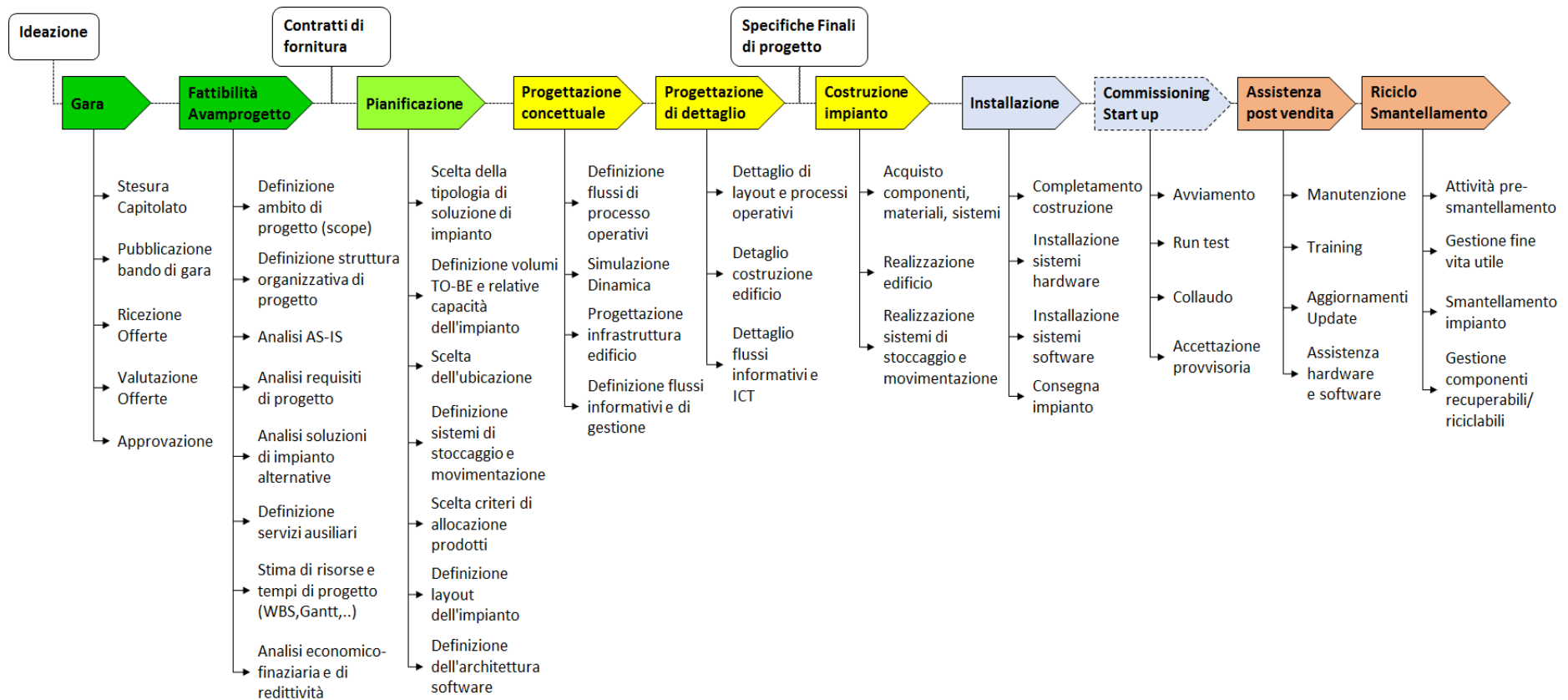


Figura 7 Macro attività per la progettazione di un nuovo magazzino automatizzato

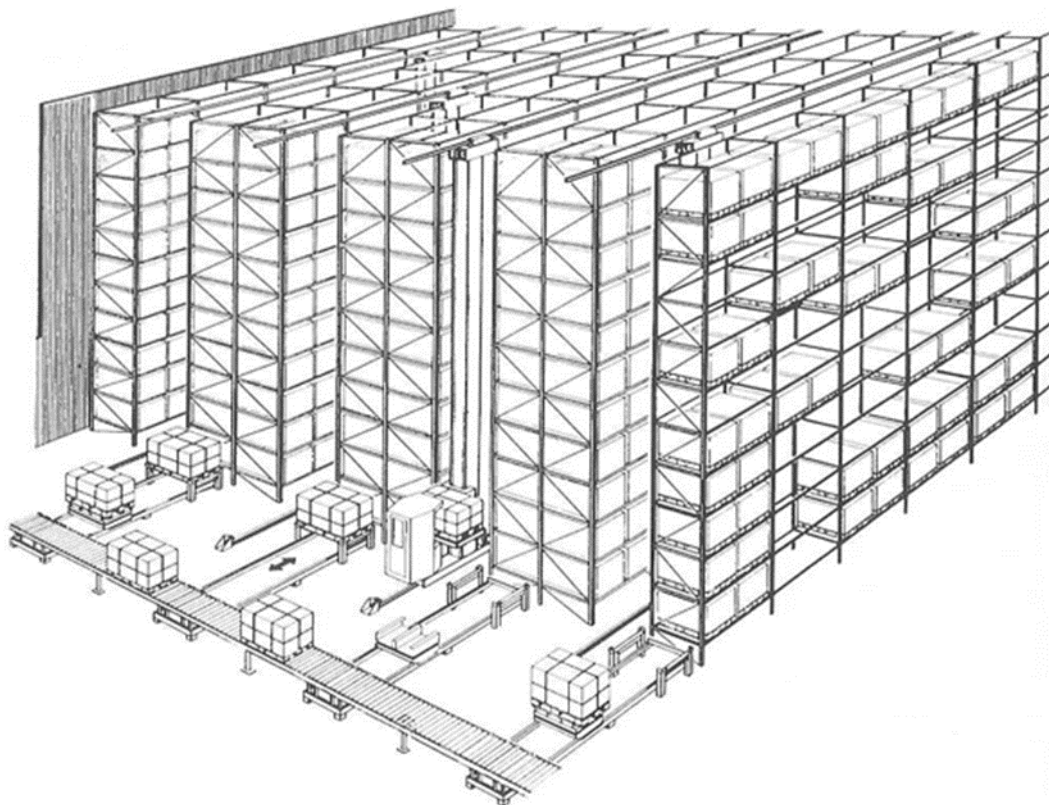


Figura 8 Rappresentazione tridimensionale di un magazzino automatizzato con trasloelevatori

Per ogni configurazione è necessario calcolare:

- la durata media del ciclo semplice e del ciclo combinato
- il livello di saturazione dei trasloelevatori

Le operazioni di prelievo e deposito dei materiali possono essere eseguite con cicli semplici o con cicli combinati. Il ciclo semplice comprende tutte le fasi necessarie per prelevare dal magazzino o immettere nel magazzino un'unità di carico; si parla dunque di ciclo semplice di immissione che prevede un ritorno a vuoto e di ciclo semplice di prelievo con andata a vuoto. La durata del ciclo semplice è data da due componenti: i tempi fissi di ciclo (uguali per tutti i cicli e indipendenti dalla localizzazione del vano) e i tempi variabili (funzione della traslazione orizzontale del carrello e della traslazione verticale delle forche e dunque delle posizioni del punto di immissione/prelievo e del vano considerato).

Il ciclo combinato associa ad una operazione di immissione una operazione di prelievo allo scopo di ridurre la percorrenza a vuoto all'interno del magazzino e aumentare dunque la produttività del sistema. Il ciclo combinato è dunque costituito da una fase di immissione dell'unità di carico, da un trasferimento a vuoto dal vano di immissione al vano di prelievo e dalla fase di prelievo e ritorno al punto di input/output. Dunque il ciclo combinato non consente una riduzione dei tempi fissi rispetto al doppio ciclo semplice ma consente una riduzione dei tempi variabili.

Il vantaggio è dato dalla riduzione del tragitto a vuoto, valutabile nella differenza tra l'andata e il ritorno a vuoto corrispondenti a un ciclo semplice di immissione e a un ciclo semplice di prelievo e il trasferimento a vuoto del ciclo combinato.

Tipicamente il ciclo combinato per un trasloelevatore è costituito dalle seguenti fasi:

- acquisizione dati,
- ciclo forche per il prelievo dell'unità di carico nella posizione di partenza,
- trasferimento al primo vano, posizionamento e verifica,
- ciclo forche per l'immissione dell'unità di carico,
- trasferimento al secondo vano,
- posizionamento e verifica,
- ciclo forche per il prelievo dell'unità di carico,
- trasferimento di ritorno alla posizione di partenza,
- posizionamento e verifica,
- ciclo forche per il deposito dell'unità di carico.

In sede di progettazione occorre considerare diverse possibili configurazioni impiantistiche per i depositi automatizzati, le quali sono funzione dei seguenti aspetti:

- ✓ *Rapporto tra il numero di trasloelevatori e il numero di corridoi:* si tratta in particolare di valutare se sia conveniente adottare un trasloelevatore per ciascun corridoio oppure un numero di trasloelevatori inferiore al numero dei corridoi.

Quest'ultima soluzione si potrebbe rivelare interessante nel caso in cui al magazzino non siano richieste elevate prestazioni sotto il profilo della potenzialità di movimentazione. La rinuncia ad un trasloelevatore consente infatti un risparmio valutabile in circa 300'000 euro (non ne risulta ovviamente modificato il costo delle scaffalature, del sistema antincendio, ecc.) ma è necessario prevedere un meccanismo che consenta al trasloelevatore di

spostarsi da un corridoio a quello adiacente. Le soluzioni possibili prevedono l'uso di un ponte di trasbordo, che muovendosi orizzontalmente trasferisce il trasloelevatore all'imbocco del secondo corridoio, oppure l'adozione di trasloelevatori autosterzanti. Entrambe le soluzioni comportano inevitabilmente una penalizzazione delle prestazioni dinamiche del magazzino per l'operazione di trasferimento del trasloelevatore da un corridoio all'altro. Per questo motivo sono configurazioni poco diffuse.

- ✓ *Profondità delle celle:* si tratta di valutare la convenienza tra una soluzione standard che prevede scaffalature a semplice profondità e la possibilità di realizzare celle a doppia profondità, ossia due vani in profondità con un unico lato d'accesso. La configurazione a doppia profondità può essere conveniente quando si movimentano elevati quantitativi di prodotto (gestione di un modesto numero di codici ad alta rotazione) poiché richiede la movimentazione congiunta di due unità di carico identiche, pena la rinuncia ad una selettività unitaria. Consente un incremento quasi doppio della potenzialità di movimentazione a fronte di un'occupazione superficiale all'incirca immutata. Di fatto corrisponde a raddoppiare l'unità di movimentazione (ad esempio 2 pallet) con la possibilità di movimentare anche pallet singoli.

- ✓ *Numero di forche per ogni trasloelevatore:* è possibile installare sul trasloelevatore due forche telescopiche indipendenti con il vantaggio di incrementare la potenzialità di movimentazione (per esempio movimento congiunto di due unità di carico) senza modificare l'occupazione superficiale e senza rinunciare ad una selettività unitaria.

La Figura 9 rappresenta un esempio di trasloelevatore monocolonna e ne descrive i principali elementi di base; una descrizione ed un'analisi più dettagliata degli elementi che costituiscono la struttura, del funzionamento e delle modalità operative dei trasloelevatori è stata affrontata nel Capitolo 5.

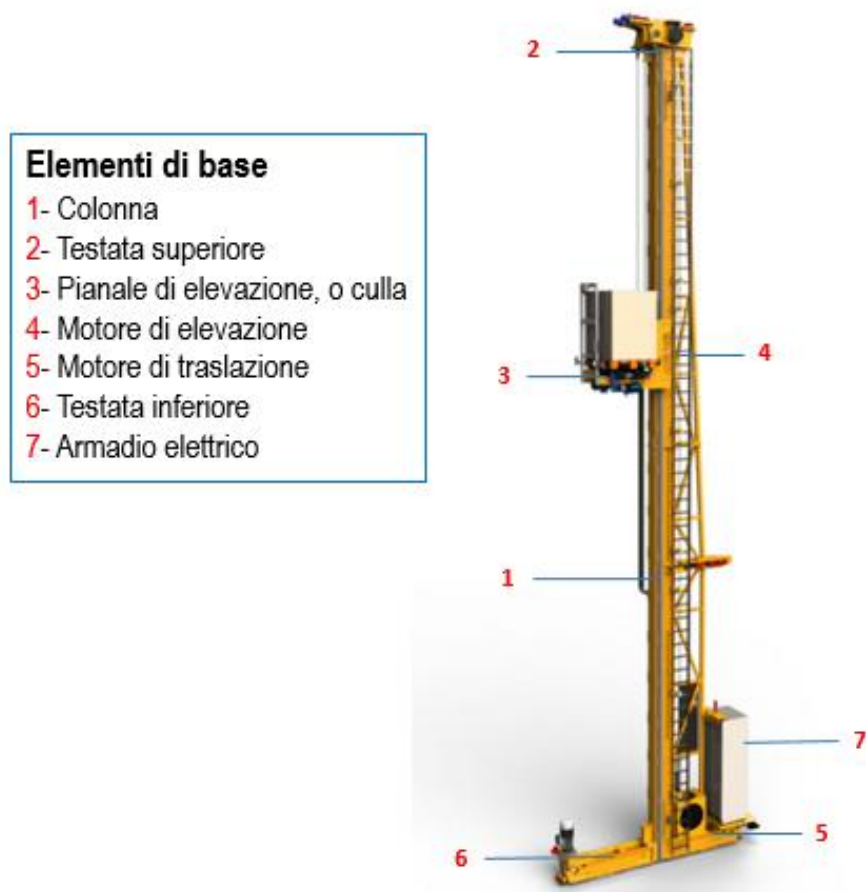


Figura 9 Esempio di un trasloelevatore e relativi elementi di base

(fonte www.mecalux.it)

4. PRINCIPALI FASI DEL PROCESSO DI PROGETTAZIONE DI UN MAGAZZINO AUTOMATIZZATO

4.1 STUDIO DI FATTIBILITA'

4.1.1 Generalità

Con il termine studio di fattibilità si intendono tutte le attività svolte nella fase iniziale di un progetto o meglio nella sua fase prodromica (infatti in molti casi il progetto potrebbe addirittura non partire). Lo scopo è quello di fornire una prima idea di massima dell'impianto che si intende realizzare.

In genere comprende una definizione complessiva e di sistema del magazzino cercando di prescindere dagli aspetti più di dettaglio; l'analisi dell'impianto nel suo complesso non serve a distinguere i componenti alternativi, ma consente una scelta di massima degli elementi principali.

A seconda della complessità del progetto (numero di componenti, numero di interfacce, numero di nuove tecnologie, numero di discipline e funzioni coinvolte) e della complessità del mercato (leggi e normative vigenti, tipologia di concorrenti, tipologia e numero di fornitori, ecc.) si cerca di fornire un'indicazione quantitativa delle caratteristiche di maggior importanza per il futuro impianto (processi, componenti, dimensioni, prestazioni, ecc.).

L'output della fase tecnica dello studio di fattibilità è quello di definire un progetto non costruibile, ma che possa essere valutabile e confrontabile. Questo serve a farsi un'idea delle risorse necessarie alla progettazione e realizzazione dell'impianto ed a comprendere come potrebbe essere organizzata la fase di sviluppo dell'intero progetto.

Grazie alle stime fatte in ambito tecnico è possibile fare una stima dei costi e ed un'ipotesi dei movimenti finanziari necessari alla parte tecnica del progetto e da essa derivati. Grazie alle stime fatte in ambito gestionale è possibile stimare le risorse necessarie alla progettazione e realizzazione, la necessità di consulenze ed i movimenti di cassa necessari alla riuscita tecnico-economica del progetto.

Occorre evitare di pensare che l'esecuzione di uno studio di fattibilità sia un processo formale od un'attività burocratica, piuttosto la fase di redazione dei documenti di questa attività riveste particolare interesse al crescere della complessità e della rilevanza di

un progetto. Inoltre, poiché lo studio di fattibilità viene eseguito prima che il progetto parta esso fornisce una base per le fasi di sviluppo del progetto stesso, come strumento di comparazione verso altri progetti simili e come documento di controllo delle capacità di previsione in fase di fattibilità per gli studi successivi.

Nei paragrafi successivi vengono descritte le principali fasi per un efficace studio di fattibilità.

4.1.2 Definizione del Project Scope

La prima fase che deve essere affrontata dal team di progetto è quello della definizione dell'ambito del progetto ("*project scope*"). Lo scopo del progetto dovrebbe essere definito chiaramente ed in maniera definitiva e calzante. Descrizioni vaghe ed incoerenti non sono utili a nessuno scopo e tendono a confondere i partecipanti al progetto. In questa fase è necessario definire le diverse funzioni aziendali che verranno coinvolte direttamente o indirettamente, inclusi i partecipanti al progetto ma anche gli addetti operativi a cui il progetto si rivolge: più in generale occorre definire tutte le parti interessate. Un garante del progetto dovrebbe essere sempre identificato, soprattutto se è lui a pagare per il progetto.

Troppe volte accade che un progetto in fase iniziale sia mal strutturato: il suo scopo non è chiaramente definito, si rischia così di vagare lungo i confini del progetto stesso, spendendo risorse senza produrre risultati sufficienti. Inoltre, quando l'obiettivo progettuale non è definitivo, può succedere che le diverse varianti tengano conto di requisiti diversi che le possono rendere non confrontabili oppure contraddittorie.

Per questo è utile definire ciò che è "*scope*", ovvero l'ambito, ma anche l'estensione del progetto e la sua portata, e ciò che è "*out of scope*", cioè tutto ciò che il progetto non si propone, ciò che non è pertinente ed è quindi fuori luogo e fuori definizione.

4.1.3 Analisi AS-IS

L'analisi AS-IS viene svolta per definire e comprendere il mercato, il sistema, i prodotti realizzati dall'azienda. Tale analisi consiste nel ricercare ed elaborare dati che siano il più possibile completi ed articolati; essi devono riguardare principalmente le caratteristiche dei prodotti, i flussi in ingresso e in uscita, le giacenze, il personale, le specifiche necessità dei clienti, interni od esterni che siano.

Inoltre occorre studiare e valutare le unità di carico ("u.d.c."), la potenzialità ricettiva ed i flussi di materiali attualmente in essere nel magazzino attuale.

Nel rilevare ed analizzare i dati non si deve assolutamente cadere nell'errore di considerare i soli valori medi, che permettono di avere un'idea generale del problema, ma è necessario rilevare quei valori che consentono di quantificare l'importanza delle variazioni delle necessità (stock e traffico principalmente) relativamente a periodi di punta o andamenti stagionali.

L'analisi delle punte di flusso è particolarmente importante quando si prendono in considerazione soluzioni di handling automatico in quanto i vari sistemi, ad esempio i trasloelevatori, sono caratterizzati da una precisa capacità operativa che deve essere in grado di rispondere alle necessità in tutte le circostanze, o meglio, in tutte le circostanze che si è stabilito di soddisfare. Ad esempio, quasi sempre, si decide di limitare al 90° o al 95° percentile il rispetto delle prestazioni, in questo modo si limano alcune punte che possono essere anche superiori del 50% ed oltre del massimo del percentile di riferimento.

Nelle situazioni più complesse può essere utile analizzare anche l'andamento dei flussi nell'arco della singola giornata.

In questa fase si devono definire anche i punti di forza e quelli di debolezza dell'approccio attuale. Il team che svolge l'analisi deve evitare la tentazione di fermarsi e risolvere ogni problema incontrato nel sistema corrente, si dovrà piuttosto documentare la situazione attuale per mettere in atto future azioni, ma in questa fase dovrà evitare di spendere più tempo di quello necessario.

I dati utili e spesso necessari per lo studio di fattibilità possono provenire da diverse fonti: studi di settore (*market trends*), analisi dei prodotti e degli imballi primari utilizzati, analisi dei volumi di spedizione, analisi delle tipologie di imballi di spedizione, *benchmarking*, cicli di interviste e *survey* (mercato, clienti), analisi della scienza (articoli scientifici) e della tecnica (brevetti, *competitors*), pubblicazioni sullo stato dell'industria e del commercio, statistiche fatte da associazioni di categoria.

In tale fase preliminare occorre analizzare i prodotti ed aggregare gli stessi in categorie omogenee per tipologia di stoccaggio; per ciascun aggregato i -esimo così ottenuto, si devono quindi definire i due parametri fondamentali con cui caratterizzare il magazzino dal punto di vista dei dati di progetto: la ricettività R [u.d.c.] e la potenzialità di movimentazione z [u.d.c./h].

In altre parole, gli articoli di una stessa classe devono quindi poter essere gestiti nello stesso modo dal punto di vista delle modalità di stoccaggio e movimentazione. A tal

proposito, si possono individuare diversi criteri di aggregazione, con cui suddividere gli articoli in classi.

Un primo criterio potrebbe essere legato ad esempio a caratteristiche dimensionali, quali ad esempio il formato dell'unità di carico, le sue dimensioni (le dimensioni possono influenzare ad esempio le dimensioni minime dei vani di stoccaggio), il suo peso (il peso influenza invece il tipo di carrelli o di trasloelevatori utilizzabili). Ancora, eventuali caratteristiche di fragilità che potrebbero richiedere particolari caratteristiche al sistema di handling. Un ulteriore criterio di aggregazione potrebbe essere rappresentato da fattori di tipo ambientale, quali ad esempio caratteristiche di temperatura (magazzino surgelati piuttosto che freschi) o di umidità.

Ancora, esigenze di sicurezza che potrebbero ad esempio richiedere misure di protezione e prevenzione incendi particolari su certe categorie di merci. Da questo punto di vista si devono senz'altro aggregare tutte le merci speciali, quali, come detto in precedenza, i liquidi infiammabili, il cui stoccaggio deve avvenire con particolari modalità in tema di sicurezza. Vi possono essere dei vincoli di incompatibilità, per cui due categorie merceologiche di prodotti, per qualche particolare motivo (es. prodotti tossici) non possono essere stoccate nella stessa struttura.

Infine, si potrebbero avere vincoli di sicurezza legati al valore degli oggetti e alla loro possibilità di sottrazione. In questo caso prodotti facilmente sottraibili possono essere aggregati in una struttura di stoccaggio con particolari vincoli di protezione al furto.

Queste esigenze andranno quindi valutate alla luce di eventuali vincoli esterni, quali vincoli urbanistici, tecnici, economici.

Da un punto di vista urbanistico, il piano regolatore del Comune in cui realizzare l'edificio può limitare in qualche modo il progetto. Si dovranno quindi verificare in questa fase altezze massime consentite, distanze perimetrali di rispetto da strade ed infrastrutture, eventuali divieti particolari legati all'impatto ambientale di una struttura, ecc.

Per quanto riguarda i vincoli tecnici, questi sono legati in primo luogo all'area disponibile in termini di dimensione e forma, ed alla necessità del deposito di integrarsi con le altre aree funzionali e attività che vengono svolte nel perimetro.

Infine, vincoli di carattere economico, quali tipicamente disponibilità finanziarie, valori minimi di pay-back ammissibili ecc., possono condizionare pesantemente la fattibilità di alcuni progetti.

Come detto, i due parametri fondamentali da cui partire per la progettazione delle aree di stoccaggio sono rappresentati dalla potenzialità di movimentazione del magazzino e dalla sua ricettività.

In questo contesto occorre distinguere due casi fondamentali: se il progetto del magazzino è un progetto ex novo, questi dati sono dati di progetto che si dovranno stimare in fase di progettazione e che rappresenteranno quindi dati di ingresso a se stanti.

Se il progetto si inserisce invece su una struttura industriale preesistente, i dati di ricettività e potenzialità di movimentazione possono essere stimati sulla base dei dati storici, nell'ipotesi che i dati storici di interesse siano effettivamente disponibili. Supponendo comunque che siano disponibili tutti i dati storici necessari per l'analisi, è necessario fare alcune ulteriori ipotesi per poter valutare quantitativamente questi due parametri.

Per la determinazione della *potenzialità di movimentazione*, occorre avere a disposizione i dati storici dei flussi orari [u.d.c./ora] in ingresso ed in uscita dal magazzino relativi ad un intervallo di tempo significativo. Tali dati possono essere utilmente sfruttati per ricavare il valore della potenzialità di progetto.

Ciò premesso, si analizzano inizialmente i dati storici relativi ai flussi orari in ingresso al magazzino attuale. Dalla serie dei flussi orari si possono ricavare le serie dei flussi medi e massimi giornalieri. Ricavate le serie storiche dei flussi medi giornalieri e dei flussi massimi giornalieri, si possono quindi ricavare il valore medio ed il valore massimo della distribuzione dei flussi medi giornalieri, ed il valore massimo della distribuzione dei flussi massimi giornalieri. Questi valori rappresentano il dato storico di riferimento relativo ai flussi in ingresso al magazzino e quindi la base di partenza per determinare la potenzialità di input del magazzino. Essi andranno poi modificati opportunamente per tenere conto di possibili variazioni delle condizioni al contorno che potrebbero intervenire rispetto al periodo analizzato, quali ad esempio caratteristiche delle unità di carico (es. in futuro si passerà da consegne di u.d.c. su pallet a consegne anche su slip sheet; poiché queste ultime prevedono tempi di movimentazione maggiori, anche la potenzialità di movimentazione dovrà essere maggiore), dimensioni dei lotti di consegna (lotti piccoli e frequenti piuttosto che grandi e distanziati possono variare la potenzialità richiesta), modalità di gestione delle operazioni di stoccaggio (es. possibilità di utilizzare aree da destinare a polmoni di

disaccoppiamento tra ricevimento e stoccaggio vero e proprio). In base a tali valori si correggono opportunamente i dati storici di riferimento.

Aggiornati i dati storici per tenere conto di queste esigenze, la scelta della potenzialità di movimentazione in ingresso PM_{in} di progetto potrà quindi variare tra un valore minimo $MIN_{PM_{in}}$ ed uno massimo $MAX_{PM_{in}}$.

Lo stesso identico ragionamento deve essere ripetuto per la potenzialità di movimentazione in uscita PM_{out} , analizzando i dati storici relativi ai flussi orari in uscita dal magazzino. Si determinano quindi le serie storiche dei flussi medi giornalieri e dei flussi massimi giornalieri, e quindi il valore medio e massimo relativo alla serie dei flussi medi giornalieri, ed il valore massimo relativo alla serie dei flussi massimi giornalieri in uscita dal deposito. Anche in questo caso i valori ottenuti andranno opportunamente modificati per tenere conto di possibili variazioni delle condizioni di scarico del magazzino rispetto alla situazione a cui fanno riferimento i dati storici. Tipicamente, fattori che porterebbero alla modifica dei flussi in uscita potrebbero essere variazioni delle caratteristiche dei prelievi (si potrebbe avere ad esempio l'introduzione di una quota di picking), variazione delle modalità di evasione dell'ordine (evoluzione prevista per il numero di ordini/giorno, per il numero di linee d'ordine/ordine, ecc.). Infine i valori di progetto della potenzialità di movimentazione in ingresso e in uscita dal magazzino (PM_{in} e PM_{out}) si potranno determinare dal bilanciamento dal punto di vista economico delle voci di costo variabili al variare di PM_{in} e PM_{out} stessi; tipicamente le voci di costo di maggior interesse sono il costo delle attrezzature e il costo probabile di mancata evasione delle punte di richiesta, in caso di sottodimensionamento della potenzialità di movimentazione.

Se all'interno del magazzino il sistema di movimentazione in ingresso viene tenuto separato dal sistema di movimentazione in output, i due valori ricavati rappresentano i valori di progetto della potenzialità di movimentazione distinti con cui impostare il progetto del magazzino. Nella maggior parte dei casi, però, lo stesso sistema di movimentazione si occupa di gestire sia il carico che lo scarico del magazzino. In questo caso quindi, una volta determinati i valori di potenzialità di movimentazione in input e di output, si tratta di riassumere in un unico dato progettuale PM questi due valori. Il fattore discriminante è rappresentato in questo caso dalla possibilità di svolgere in tempi separati le operazioni di input e di output. Se tale condizione è verificata, il valore di PM potrà essere conservativamente posto uguale al valore maggiore tra PM_{in} e PM_{out} . Nel caso in cui, invece, si debbano effettuare

contemporaneamente sia le operazioni di input che le operazioni di output, si può scegliere conservativamente la potenzialità di movimentazione pari alla somma di PM_{in} e di PM_{out} :

$$PM = PM_{in} + PM_{out}$$

Il progetto risulterà conservativo in quanto la PM scelta corrisponde al caso in cui il carico e lo scarico del magazzino vengono gestiti con cicli semplici. In realtà, abbinando opportunamente su cicli combinati le operazioni di immissione e di prelievo delle u.d.c., si riuscirà ad ottenere una potenzialità di movimentazione complessiva maggiore del valore imposto.

Con riferimento a quanto appena detto va specificato che si parla di cicli semplici quando ogni operazione di movimentazione prevede la movimentazione di una sola unità di carico. In un ciclo semplice sono quindi riscontrabili due fasi: una fase di prelievo oppure di stoccaggio dell'unità di carico, ed una fase di andata dalla banchina al vano oppure di ritorno dal vano alla banchina a vuoto. Nel caso di cicli combinati, invece, durante una sola operazione di movimentazione si ha prima lo stoccaggio di una unità di carico nel trasferimento dalla banchina al vano di stoccaggio, il trasferimento a vuoto ad un altro vano dove viene effettuato il prelievo di un'altra unità ed il ritorno alla banchina di carico. L'utilizzo di cicli combinati ha quindi lo scopo di ridurre i percorsi a vuoto dei carrelli, aumentando la potenzialità del magazzino.

Anche la scelta del valore di *ricettività* R con cui impostare il dimensionamento del magazzino deve essere fatta a partire dai dati storici. In questo caso si esaminano i dati storici di giacenza per i diversi articoli presenti a magazzino. I risultati ottenuti dall'analisi storica andranno quindi modificati per tenere conto di possibili evoluzioni sulle condizioni di giacenza, mentre la politica di allocazione delle merci a magazzino, di cui si tratterà nel capitolo 5.4, determinerà se il valore di ricettività verrà determinato utilizzando per ciascun articolo i dati relativi alla giacenza media o alla giacenza massima.

Riguardo all'analisi dei dati storici, deve essere innanzitutto verificata la condizione di congruenza temporale degli articoli tenuti a scorta nel magazzino. In altre parole, scelto un periodo di riferimento, ad esempio l'anno, si tratta di verificare se nel corso dell'anno gli articoli presenti a scorta sono sempre gli stessi, o se invece durante l'anno si ha la l'introduzione a scorta di nuovi articoli. Nel caso in cui si abbiano sempre gli

stessi articoli, si può impostare la fase di analisi dei dati storici su base annua, in caso contrario, invece, è necessario suddividere il periodo di riferimento in n periodi, di pari durata, in cui è verificata la condizione di congruenza temporale: in ciascun intervallo di durata sarà quindi presente sempre lo stesso numero totale di articoli. Si tratta a questo punto di suddividere l'intervallo in un certo numero di intervalli elementari, tra loro uguali, all'interno dei quali analizzare i valori puntuali di giacenza. L'entità di tali intervalli elementari, settimana, giorno o, al limite, ora, dipende dal grado di variabilità della giacenza. Nel caso di variabilità particolarmente accentuata e quindi di estremo sbilanciamento tra i flussi in ingresso ed uscita, sarà necessario utilizzare valori estremamente ridotti, al limite anche le giacenze orarie, per cogliere tali squilibri. Viceversa, nel caso di squilibri poco accentuati, si possono considerare come rappresentativi i valori della giacenza in periodi più lunghi.

A questo punto i dati di giacenza media e massima, espressi nell'unità u.d.c., del generico articolo, nell'intervallo elementare di riferimento, rappresentano le serie storiche da cui partire per l'analisi.

Occorre precisare che per consentire una corretta decisione relativamente alla possibilità di utilizzare i valori relativi alla giacenza media o alla giacenza massima è necessario scegliere la politica di allocazione delle merci a magazzino che si intenderà adottare. La politica di allocazione delle merci a magazzino, oltre alla ricettività del magazzino, influenza anche il tempo medio di accesso ai vani. I diversi criteri di allocazione delle merci a magazzino verranno descritti puntualmente nel Capitolo 5.4.

4.1.4 Determinazione dei requisiti

In questa fase devono essere definiti i requisiti dell'impianto e dell'edificio che dovrà contenerlo sulla base di previsioni relative ai volumi di stoccaggio futuri; tali previsioni devono essere relative ad un intervallo temporale che va dal termine previsto per la conclusione dell'intero progetto fino al termine stimato della vita utile dell'impianto stesso.

Un progetto di realizzazione di un magazzino è finalizzato a soddisfare le necessità aziendali di medio termine; per questo motivo è importante effettuare uno sforzo previsionale per trasformare, mediante un'accurata proiezione (ad esempio a cinque/dieci anni) i dati relativi alla situazione attuale in "dati di progetto".

Nell'effettuare tali previsioni dovranno essere valutati i trend di mercato, relativamente a volumi di stock e traffico, le nuove linee di prodotti e tutti gli elementi che possono

concorrere a modificare le necessità operative di magazzino, ad esempio la possibilità che vengano attivati nuovi canali distributivi (E-commerce, ecc.), che si introducano tecnologie o sistemi innovativi di produzione, che si modifichino le fonti di approvvigionamento, che si intendano attivare tecnologie avanzate per il forecasting e la gestione delle scorte, che siano richiesti livelli di servizio diversi da quelli attuali (minori tempi di consegna, incidenza molto bassa di stock-out, maggiore ampiezza dell'assortimento, ecc.) e così via.

Tali requisiti, da un punto di vista operativo, si riferiscono al dimensionamento dell'area di stoccaggio, dei vani e del numero di trasloelevatori; dal punto di vista di gestione, i requisiti sono relativi alla definizione dei criteri di allocazione delle merci e della definizione dei cicli di stoccaggio e prelievo. Tale fase viene chiaramente fatta a valori medi, e potrà quindi essere necessaria una verifica al calcolatore tramite un modello di simulazione per poter valutare l'influenza di parametri stocastici sulle prestazioni del magazzino.

4.1.5 L'approccio

Questa fase consente di rappresentare la soluzione preferibile ed il piano delle attività che si intende mettere in atto per soddisfare i requisiti. In questa fase vengono considerate varie alternative e le ragioni per cui una di esse risulta essere maggiormente opportuna. In termini di progettazione d'impianto è in questa fase in cui vengono sviluppati i disegni preliminari allo stato spesso di schizzi o bozzetti; è questo il punto nel quale si fanno dei calcoli preliminari sia sul sistema di movimentazione e stoccaggio della merce che sui processi operativi logistici. L'accuratezza dei modelli dipende dalla confidenza col problema, dalla tipologia di problema, dalla richiesta delle parti interessate e da ulteriori fonti che determinano incrementi nella complessità di progettazione.

Un'analisi completa, anche se ad un dettaglio grossolano, effettuata a questo livello, è necessaria al fine di eseguire correttamente le fasi successive.

In questa fase dovranno essere prese in considerazione le variabili condizioni d'esercizio del sistema lungo il suo ciclo di vita e le varie soluzioni costruttive dovranno tenere conto del collaudo, installazione e manutenzione, delle esigenze di recupero e riciclo dei materiali e di smantellamento dell'impianto.

Per la valutazione delle soluzioni proposte è necessario definire le caratteristiche e le grandezze fisiche che quantifichino tali caratteristiche in modo da permettere al team

di lavoro di svolgere un'analisi di sensibilità. Per effettuare questa analisi si deve modellizzare il comportamento del progetto e stimare in prima approssimazione la dipendenza dei requisiti e delle prestazioni dai valori assunti dalle caratteristiche. Già in questa fase è possibile un'analisi preventiva dei modi di guasto dell'impianto anche se l'impianto è definito solo a livello di macro funzioni; per questo è utile avvalersi dell'Albero dei Guasti (*Fault Tree Analysis*). È un metodo che attraverso una rappresentazione grafica degli eventi collegati da simboli algebrici permette di determinare la probabilità di accadimento di un evento indesiderato oppure la migliore configurazione di un sistema ai fini della sicurezza. Nei capitoli finali di questo lavoro verrà svolta un'analisi approfondita dei modi di guasto e delle criticità principali relative alla progettazione di trasloelevatori, che sono i mezzi di movimentazione più utilizzati per un magazzino automatizzato.

4.1.6 Valutazione

Nella fase di valutazione si propone di effettuare un esame delle soluzioni selezionate tramite la fase precedente dal punto di vista economico-finanziario; si tratta della cosiddetta fase di fattibilità economico-finanziaria.

Lo studio di fattibilità economico-finanziario, fissate le esigenze del cliente ed i volumi e l'intensità di vendita, sia attuali che futuri, è costituito dal piano di lavoro per realizzare l'impianto, dall'impegno previsto per le attività di ingegnerizzazione, e dall'impegno di tutte le altre componenti aziendali in termini di risorse, dai risultati economici e dalle tempistiche degli investimenti e dei pagamenti (*cash flow* economico e finanziario). Per progetti di una certa complessità sono utilizzate tecniche di *program-project management* per la definizione del progetto combinando alla suddivisione del budget la responsabilità organizzativa, la tempistica di svolgimento delle attività e la programmazione e il controllo dei lavori. Oltre alla soluzione considerata quale la più interessante vengono valutate anche le soluzioni alternative al fine di offrire una possibilità di comparazione economica.

Dopo il calcolo dei costi del progetto occorre realizzare un report riassuntivo contenente sia i costi che le valutazioni tecniche delle diverse soluzioni di progetto. Questo può includere analisi costi-benefici, stime di ritorno dell'investimento, analisi di costi sorgenti vs costi cessanti, e così via.

Per lo svolgimento di tale fase vengono utilizzate tutte le tecniche e tutti gli strumenti classici per l'analisi e la valutazione degli investimenti (pay-back period, VAN, TIR,

EVA, ecc.) per la descrizione delle quali si rimanda all'ampia letteratura disponibile sull'argomento.

4.1.7 Revisione

Tutti gli elementi ed i documenti preparati nelle fasi precedenti compongono il cosiddetto 'studio di fattibilità' che passa ad un'attività di revisione e riesame di progetto effettuato dalle diverse parti interessate. Questo riesame ha due scopi principali: dimostrare la completezza, fondatezza ed accuratezza dell'analisi svolta e permettere alle diverse parti interessate di prendere la decisione maggiormente opportuna. La decisione può essere banalmente un sì o un no, oppure può essere richiesta un'ulteriore fase di approfondimento di alcuni aspetti prima della decisione finale. Se approvato, è molto importante che tutte le parti firmino il documento ed i contratti di accettazione ed impegno allo svolgimento del progetto. Anche nel caso in cui il progetto sia rifiutato occorre che le ragioni che hanno portato a questa decisione siano condivise e riportate in allegato al documento.

Si deve notare come lo studio di fattibilità sia un'attività di progettazione basata su successive fasi di scelte qualitative al fine di ottenere valori numerici. L'osservazione da fare è che le attività di gran lunga più importanti in questa fase sono quelle creative di ideazione piuttosto che quelle derivanti dal calcolo. Perciò la fase di fattibilità avrà una predominanza di scelte qualitative piuttosto che quantitative, che avranno rilevanza in seguito.

Infine, qualora la fase di revisione da parte della Direzione abbia ricevuto un esito positivo, occorre, prima di proseguire con le successive fasi della progettazione, che i vari contratti con i diversi fornitori, eventualmente legati tra loro attraverso forme di compartecipazione e collaborazione, siano preparati, analizzati, eventualmente modificati e firmati da tutte le parti interessate.

In Figura 10 sono riportate, sotto forma di diagramma di flusso, le principali attività e le relative sequenze della fase di Fattibilità.

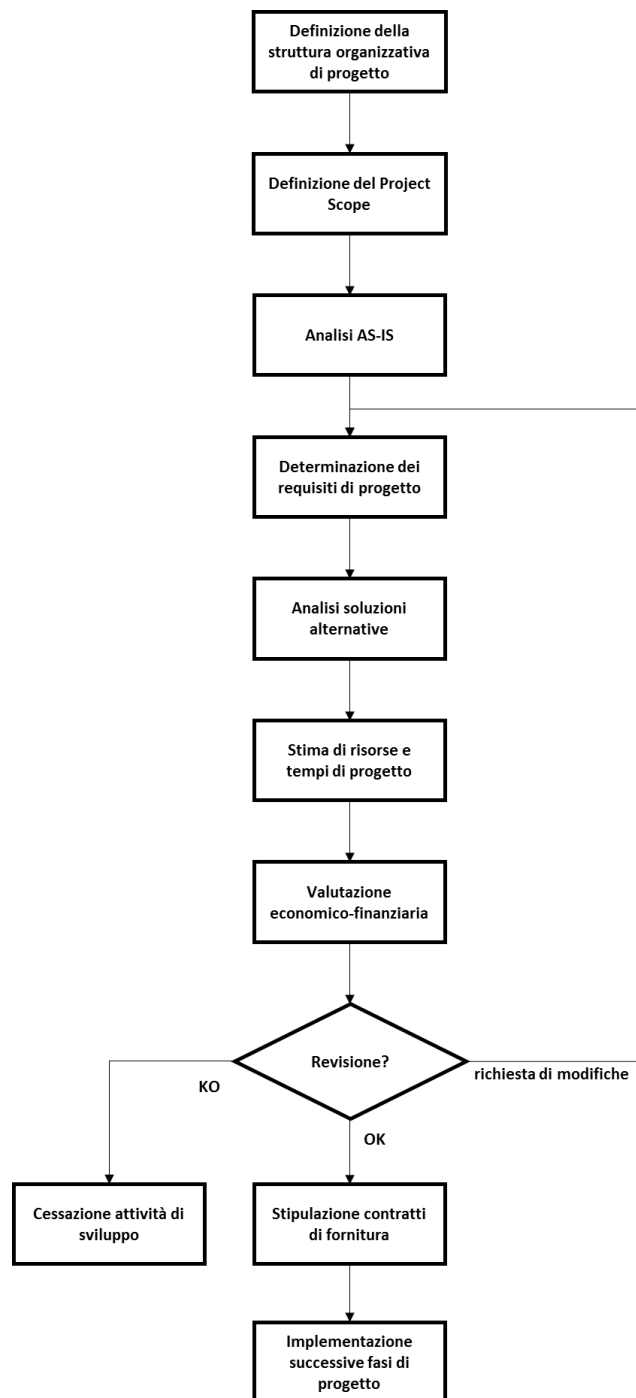


Figura 10 Diagramma di flusso della fase di Fattibilità

4.2 SCELTA DELL'UBICAZIONE E DEL TERRENO

4.2.1 Generalità

Sovente, parlando di ubicazione di uno stabilimento industriale si intende sia la scelta del territorio nel cui ambito si insedierà il nuovo impianto, sia la scelta di un terreno, nell'interno di quel territorio, sul quale costruire l'impianto.

In effetti le due scelte sono fra loro distinte e sovente avvengono in tempi successivi, anche se alcuni parametri in base ai quali esse si effettuano sono gli stessi.

In particolare, la scelta del territorio nel cui ambito lo stabilimento verrà costruito, viene fatta anche tenendo conto degli orientamenti politico-economici assunti su base nazionale o regionale. Tale pianificazione si prefigge un uso equilibrato del territorio e deve essere preceduta da specifiche considerazioni ambientali volte ad assicurare uno sviluppo sostenibile (vd. direttiva 42/2001/CE sulla cosiddetta Valutazione Ambientale Strategica).

Invece la scelta, e l'acquisto, del terreno occorrente dovrebbe concretizzarsi solo quando si è elaborato il progetto, se non esecutivo, almeno di massima, del nuovo stabilimento e quindi è nota la forma e l'estensione dell'area occorrente. Solo allora si ricerca, nell'ambito del territorio preventivamente individuato, il terreno più adatto e conveniente per la costruzione del nuovo impianto industriale. Fa eccezione a questa impostazione di carattere generale il caso in cui si disponga di un terreno così vasto che l'inserimento del nuovo stabilimento può avvenire senza che il relativo layout debba subire adattamenti o limitazioni.

4.2.2 Fattori ubicazionali a carattere territoriale

Occorre a questo punto esaminare singolarmente i principali fattori che possono influenzare la scelta dell'ubicazione territoriale di un nuovo stabilimento, oltre a quello, di notevole rilevanza, legato alla programmazione regionale o nazionale, alla quale sovente si accompagnano facilitazioni fiscali, contributi pubblici, finanziamenti a tassi di interesse agevolati.

1) *Costi di costruzione*: è ovvio che se i costi di costruzione di un nuovo impianto variano da un territorio ad un altro, la scelta ubicazionale dello stabilimento dovrebbe tenere conto di tali differenze, in quanto esse si ripercuotono direttamente sui costi di produzione. Vale la pena di rilevare che il costo di costruzione di uno stabilimento è anche influenzato dal clima (temperatura, umidità, precipitazioni atmosferiche), il quale

incide sui costi connessi al riscaldamento, alla ventilazione e all'illuminazione artificiale.

2) *Mercato*: questo può essere concentrato o distribuito. Se è concentrato c'è quasi sempre la convenienza, dal punto di vista del fattore in esame, a costruire il nuovo impianto nelle vicinanze del mercato. Se invece il mercato è distribuito, la scelta ubicazionale è meno vincolata; un criterio informatore potrebbe essere quello di scegliere il baricentro (geografico, ponderale o volumetrico) dei vari mercati: infatti, a tale baricentro (determinato con un metodo analogo a quello seguito in meccanica per individuare il centro di gravità), dovrebbero corrispondere - mediamente - minori costi di distribuzione.

3) *Materie prime*: in base a questo fattore, che risulta in parte influenzato, come del resto quello precedente, dai costi di trasporto, alcune aziende dovrebbero essere ubicate in prossimità delle fonti di rifornimento dei materiali greggi o delle materie prime.

È comunque intuitiva la validità delle seguenti indicazioni:

- quando l'azienda utilizza una sola materia prima, senza che si verifichino perdite di peso lungo il processo di lavorazione, il nuovo stabilimento può essere impiantato o presso la fonte di alimentazione della stessa o presso il mercato o in un punto intermedio;
- quando il prodotto di partenza è ancora uno solo, ma lungo il processo di lavorazione si verificano diminuzioni di peso o di volume, il nuovo stabilimento andrebbe ubicato, dal punto di vista del fattore in esame, presso la fonte di alimentazione del materiale greggio;
- se i materiali greggi sono disponibili ovunque, prevale evidentemente l'influenza esercitata dal mercato.

4) *Trasporti*: ci si riferisce ai trasporti esterni all'impianto di produzione, vale a dire ai trasporti necessari per portare le materie prime allo stabilimento ed i prodotti finiti ai mercati. È evidente l'opportunità di scegliere l'ubicazione del nuovo stabilimento alla quale corrisponde - dal punto di vista dei trasporti - il minimo costo unitario totale del prodotto che perviene sui mercati di vendita.

5) *Energie*: oltre all'energia elettrica, necessaria in quasi tutti gli stabilimenti industriali, possono occorrere gas, carbone, oli combustibili, ecc. A titolo esemplificativo, è chiaro che la disponibilità di metano può risultare determinante per la scelta territoriale relativa a stabilimenti le cui lavorazioni utilizzino tale gas.

Le disponibilità energetiche di un territorio devono quindi essere esaminate attentamente, non trascurando di accertare la continuità delle forniture e di controllare i costi.

4.2.3 Scelta del terreno

La ricerca del terreno necessario per la costruzione dello stabilimento dovrebbe avvenire, come si è detto, dopo aver individuato il territorio più conveniente e definite la forma e l'area del terreno occorrente.

I principali elementi che possono intervenire nella scelta di tale terreno sono i seguenti:

1) *Interventi pubblici*: la scelta dell'ubicazione di un impianto deve tenere conto delle prescrizioni legislative vigenti. È noto infatti che i piani regolatori pubblici delimitano le zone dei territori comunali destinate agli impianti industriali e regolano le possibilità di utilizzare un terreno a scopi industriali; in ogni caso, non si dovrebbero costruire stabilimenti le cui lavorazioni risultino pericolose, rumorose o producano emanazioni dannose alla salute, in prossimità di abitazioni civili o in zone vincolate da particolari prescrizioni (tutela del paesaggio, ad esempio).

Inoltre, nelle zone considerate "da incentivare" (secondo gli "obiettivi" definiti dalla CE), gli insediamenti industriali possono usufruire di agevolazioni finanziarie e creditizie ai sensi delle leggi 488/1992, 341/1995 e 266/1997.

Infine, i progetti pubblici e privati che possono avere un rilevante impatto sull'ambiente devono superare positivamente una preventiva valutazione degli effetti che essi eserciterebbero su: patrimonio culturale, paesaggio, abitanti, clima, aria, acqua, suolo, fauna, flora. Tale procedura di valutazione dell'impatto ambientale determinato da certi progetti è stata introdotta dal Consiglio della Comunità Europea con la Direttiva 27 giugno 1985, n. 337.

Risultano pertanto definite le opere soggette alla valutazione di impatto ambientale (in sigla, VIA), nonché le norme tecniche per la loro redazione e la procedura per la formulazione del giudizio di compatibilità.

Per tali progetti, il committente che li propone deve fornire, in particolare, le seguenti informazioni: descrizione del progetto, quadro programmatico di riferimento, misure previste per evitare rilevanti effetti negativi sull'ambiente, dati necessari per valutare tali effetti, sintesi non tecnica delle suddette indicazioni destinata all'informazione del pubblico.

Contestualmente alla presentazione della domanda contenente il progetto dell'opera e lo studio di impatto ambientale, il committente provvede a specifiche misure di pubblicità al fine di informare il pubblico interessato, che può presentare pareri od osservazioni di cui si terrà conto in un sintetico contraddittorio prima della conclusione della procedura.

La normativa attribuisce al ministero dell'Ambiente, di concerto con il ministero per i Beni culturali e ambientali e sentita la Regione interessata, la valutazione dei suddetti progetti; allo stesso ministero compete la formulazione di eventuali prescrizioni al committente, nonché la pronuncia di compatibilità ambientale o meno, previa eventuale richiesta di documentazione e specificazioni aggiuntive ritenute utili.

2) *Trasporti*: in vista della scelta ubicazionale di un nuovo impianto, i trasporti esterni influenzano:

- i costi finali dei prodotti;
- i sistemi di carico e scarico dei prodotti finiti e dei materiali greggi;
- gli accessi e le uscite (stradali, ferroviari, fluviali, ecc.) da prevedere nel nuovo stabilimento.

È ovvio che si deve preferire il terreno cui corrispondono i minori costi di trasporto dei materiali che pervengono allo stabilimento e dei prodotti finiti che ne fuoriescono.

3) *Manodopera*: deve essere assicurata la manodopera occorrente, eventualmente qualificata, alle esigenze produttive del nuovo impianto.

Un problema che coinvolge sia i trasporti sia la manodopera, è quello delle distanze che le maestranze devono giornalmente superare per recarsi al lavoro e ritornare alle loro case.

Da questo punto di vista, è importante considerare la comodità dei mezzi di trasporto, che possono essere pubblici od organizzati dall'azienda, ed il tempo occorrente per tali trasferimenti: infatti, questi fattori, essendo causa di disagio, possono influenzare negativamente il funzionamento di un'azienda.

Per ovviare a tali inconvenienti, alcune aziende provvedono ad acquistare aree adatte nelle vicinanze dello stabilimento, a dotarle di opportune infrastrutture e a cederle ai propri dipendenti a condizioni favorevoli oppure contribuiscono alle spese di cooperative edilizie costituite fra i dipendenti stessi. Si tratta comunque di costi da tenere presenti in vista della scelta dell'ubicazione più conveniente dello stabilimento. Relativamente agli aspetti che legano manodopera ed automazione e quindi volendo aprire una parentesi per affrontare l'argomento legato agli effetti socio-economici

dell'automazione, è bene ricordare che con l'avvento dell'automazione industriale si sta assistendo ad una riduzione di manodopera nei processi automatizzati, quali ad esempio la gestione delle attività di magazzinaggio, con una creazione di nuova occupazione di livello professionale più elevato. Si ha uno spostamento delle mansioni degli operatori da ruoli esecutivi a ruoli di gestione, controllo e manutenzione. Un ulteriore beneficio è legato alla possibilità di ridurre le lavorazioni più alienanti, nocive e pericolose che possono essere affidate a macchine e robot automatizzati.

4) *Acqua*: si deve ubicare il nuovo impianto in una zona che abbia disponibilità di acqua, di fiume, sotterranea, marina o di acquedotto pubblico. È però opportuno che l'eventuale falda acquifera superficiale risulti sufficientemente profonda: infatti, la presenza di falde acquifere poco profonde richiede opere di fondazione, per i fabbricati e gli impianti, che possono risultare particolarmente onerose, facendo aumentare il costo totale dello stabilimento.

5) *Vie di comunicazione*: il nuovo stabilimento dovrebbe essere costruito in prossimità di una o più vie di comunicazione (strada, ferrovia, ecc.); una favorevole ubicazione consente pure di essere sfruttata dal punto di vista pubblicitario. Per certi stabilimenti può risultare utile la presenza di canali, di fiumi navigabili o del mare, al fine di effettuare trasporti per via d'acqua.

6) *Condizioni del terreno*: il terreno su cui sorgerà il nuovo impianto dovrebbe avere buona resistenza ai carichi indotti dalle fondazioni degli edifici e degli impianti e non essere troppo impervio o accidentato onde evitare rilevanti spese di spianamento. Inoltre, il terreno non dovrebbe risultare soggetto a piene o inondazioni. A quest'ultimo proposito appare consigliabile realizzare il piano di lavoro dello stabilimento a quota superiore a quella del terreno circostante.

7) *Servitù e vincoli*: un terreno gravato da servitù, da vincoli oppure confinante con terreni appartenenti ad enti o privati la cui attività contrasti con quella del costruendo impianto, comporta la stipulazione di accordi o compromessi, con spese non sempre prevedibili a priori.

8) *Estensione del terreno*: al fine di consentire i possibili ampliamenti futuri dell'impianto, il terreno deve avere l'estensione e la forma individuate dallo studio del piano regolatore generale dello stabilimento.

9) *Rifiuti*: molti stabilimenti producono materiali di rifiuto in entità e con caratteristiche tali che il loro allontanamento o il loro smaltimento può costituire un problema assai critico: ne deriva che devono essere tenuti in debito conto i vincoli che ogni località

presenta per la soluzione di tale problema, nel pieno rispetto delle disposizioni legislative vigenti in proposito.

10) *Aziende complementari o ausiliarie*: sovente, un impianto industriale, per poter assolvere al suo compito produttivo, ha bisogno di materiali, servizi e assistenza forniti da altre aziende, del ramo o sussidiarie. Sono evidenti i vantaggi che derivano dall'avere tali aziende nelle vicinanze dello stabilimento, dal punto di vista dei contatti, dei trasporti, dell'assistenza, del pronto intervento.

11) *Costo*: è ovvio che il costo del terreno e delle relative opere di sistemazione deve risultare minimo.

Da quanto esposto nelle pagine precedenti, si comprende il motivo per cui l'acquisto del terreno occorrente per un nuovo impianto nell'ambito di un certo territorio, dovrebbe avere luogo solo dopo che è stato definito il piano regolatore generale dello stabilimento. Infatti, solo allora si conosceranno la forma e la dimensione del terreno necessario, inizialmente ed in futuro (in vista cioè degli eventuali ampliamenti futuri dei reparti produttivi, degli uffici, dei servizi, ecc.). Prescinde da tale prassi il solo caso in cui si disponga già di un terreno molto più vasto di quanto richiesto dal piano regolatore generale.

A questo punto si pone il problema se convenga acquistare un terreno le cui dimensioni corrispondano strettamente alla superficie risultante dallo studio del piano regolatore aziendale oppure un terreno più esteso. Tale decisione sarà presa di volta in volta in base ad un bilancio economico che tenga conto di diversi fattori, tra i quali citiamo, in senso positivo, il probabile aumento di costo del terreno circostante a seguito della costruzione di un nuovo magazzino; in senso negativo, l'investimento di una quota di capitale in un ambito diverso dalla prevista iniziativa imprenditoriale.

È in base alle considerazioni sopra esposte che i coefficienti unitari forniti in letteratura per la determinazione dell'area occorrente per uno stabilimento industriale devono essere considerati con occhio critico. A tali indici si fa talora riferimento nei casi in cui si debba comprare tempestivamente un lotto di terreno prima ancora di avere svolto uno studio di fattibilità dell'impianto oppure per controllare in linea di larga massima la capacità ricettiva di un terreno disponibile.

Taluni Autori ritengono poi consigliabile che il lotto di terreno sia di forma rettangolare, con rapporto fra i lati di 2 a 1; inoltre, come minimo, l'area totale del terreno dovrebbe essere almeno pari a 3 volte la superficie coperta inizialmente.

A prescindere da tali indicazioni e in termini più generali, la scelta ubicazionale di un nuovo stabilimento dovrebbe sempre essere preceduta dalle seguenti fasi progettuali:

- definizione del layout dello stabilimento e del suo piano regolatore di sviluppo;
- precisazione delle esigenze di strade, ferrovie, corsi d'acqua, fognature, scarichi e quant'altro;
- determinazione dei quantitativi occorrenti di acqua, energia elettrica, metano;
- verifica che sussistano le necessarie zone di sicurezza fra lo stabilimento e gli abitati, al fine di limitare al massimo i pericoli di inquinamenti dovuti a gas, polveri, fumi, odori, rumori.

A quest'ultimo proposito, si segnala l'orientamento del nostro Paese, verso la destinazione - a livello di piani urbanistici territoriali - di apposite zone riservate esclusivamente agli insediamenti industriali; tali zone prevedono un'organizzazione impiantistica territoriale per quanto riguarda le alimentazioni idriche ed elettriche, i trasporti e le infrastrutture, i trattamenti delle acque reflue, lo smaltimento dei rifiuti, con quali vantaggi è facile immaginare.

4.3 STUDIO DEL LAYOUT DELL'IMPIANTO

4.3.1 Generalità

Lo studio del layout dell'impianto, ovvero la progettazione della sistemazione plano-altimetrica di un impianto industriale, è una delle fasi più interessanti della progettazione e sviluppo di un magazzino automatizzato. Nella pratica si tratta di definire la disposizione di macchine, attrezzature, addetti e materiali.

Partendo dal generale, si effettua uno studio di plant layout quando ci si trova di fronte ad una delle seguenti evidenze:

- inizio produzione di un nuovo prodotto;
- variazione delle caratteristiche del prodotto;
- variazioni nella domanda;
- riduzione dei costi (ottenibile migliorando i metodi di lavoro, l'utilizzazione dello spazio e degli impianti, la produttività);
- obsolescenza degli impianti, dei fabbricati, dei processi produttivi;
- frequente ricorrenza di incidenti;

- condizioni ambientali non buone (polveri, rumori, gas, riscaldamento o illuminazione insufficiente, posti di lavoro irrazionali).

Quindi, per sopperire a tali esigenze può essere necessario:

- modificare la sistemazione delle macchine entro l'area disponibile: intervento richiesto, ad esempio, quando cambiano le caratteristiche del prodotto o le tecniche di produzione;
- introdurre miglioramenti in corrispondenza di una o più operazioni produttive e semplificare i sistemi di collaudo: si tratta di interventi volti soprattutto a ridurre i costi e a migliorare le condizioni di lavoro;
- progettare un nuovo impianto;

Tali interventi richiedono di solito una modifica della disposizione delle macchine, degli impianti, degli operatori e dei materiali dello stabilimento.

In generale, gli scopi che uno studio di plant layout deve perseguire sono i seguenti:

- ottenere la migliore utilizzazione dello spazio;
- ridurre al minimo i costi dovuti ai trasporti interni dei materiali;
- prevedere gli ampliamenti futuri secondo una programmazione organica e razionale;
- assicurare condizioni ambientali soddisfacenti e la massima sicurezza;
- ridurre al minimo gli investimenti di capitali.

Nella definizione del layout del magazzino, occorre determinare le dimensioni in pianta del magazzino e la posizione di banchine di carico e scarico e delle scaffalature.

In seguito deve essere fissato il numero dei livelli di stoccaggio, sulla base dell'altezza utile del fabbricato e dell'altezza raggiungibile dai trasloelevatori (di cui si prevede l'impiego); vengono, inoltre, esplorate diverse possibili configurazioni della scaffalatura, ottenute variando, a parità di potenzialità ricettiva, il numero dei corridoi. Generalmente la scelta del numero e della lunghezza dei corridoi si effettua analizzando i vincoli dimensionali dell'area disponibile e adottando quella configurazione che meglio si adatta in termini di saturazione superficiale e di razionalità del flusso fisico delle unità di carico rispetto ai punti di ingresso e ai punti di uscita nel/dal magazzino automatizzato.

In generale, l'esecuzione di uno studio di plant layout si sviluppa secondo tre fasi:

- 1) Raccolta dei dati di partenza.
- 2) Ricerca delle possibili soluzioni.
- 3) Scelta della soluzione migliore.

4.3.2 Raccolta e analisi dei dati di partenza

Questa fase consiste nella raccolta degli elementi occorrenti per lo svolgimento di uno studio di layout dell'impianto e cioè:

- elenco degli articoli, o classi di articoli, da produrre e da immagazzinare e le relative quantità, sia attuali che in previsione futura;
- successione delle operazioni richieste da ogni prodotto (ciclo di lavorazione e ciclo di immagazzinamento);
- volumi, pesi e caratteristiche dei materiali da trasportare lungo il ciclo di lavorazione e di immagazzinamento;
- numero, tipo e caratteristiche (ingombri, pesi, esigenze varie) delle macchine e degli impianti occorrenti;
- manodopera necessaria;
- fabbisogni di servomezzi (energia elettrica, vapore, acqua, aria compressa, ecc.);
- servizi generali da prevedere (uffici, laboratori, mense, infermeria, parcheggio ecc.);
- esigenze (in macchinari, spazio, attrezzature) dei reparti manutenzione, riparazioni, attrezzeria;
- prevedibili variazioni future di produzione e immagazzinamento.

Se lo studio e la progettazione del layout deve essere eseguito su uno stabilimento esistente, occorre anche disporre dei disegni dell'attuale plant layout e del fabbricato, nonché delle caratteristiche di quest'ultimo ("maglia", altezza utile, carico sopportato ai nodi e sul pavimento, ecc.).

Può essere utile, per il team, in questa fase rappresentare gli schemi tecnologici dei processi produttivi; sovente, a fianco di ogni operazione si indicano i materiali necessari, la produzione giornaliera, mensile o annua, ed il numero di macchine occorrenti. Essi forniscono un quadro sintetico del ciclo di lavorazione e l'indicazione degli elementi che intervengono nelle successive fasi di lavorazione.

Altresì importante è il diagramma di flusso, sia fisico che informativo, che rappresenti la successione delle operazioni produttive, dei trasporti, dei collaudi, delle soste e degli immagazzinamenti relativi a ciascun particolare di un prodotto o classe di prodotti: esso consente di presentare in forma concisa e chiara la sequenza delle operazioni che caratterizzano una lavorazione, consentendo di distinguere tra le attività di carattere prettamente operativo e le attività che hanno implicazioni a livello di sistema informativo, sia esso il sistema di gestione del magazzino od il sistema gestionale aziendale.

4.3.3 Ricerca delle possibili soluzioni

Lo studio sistematico delle possibili soluzioni di layout di un impianto, viene condotto prendendo in esame:

- 1) i tipi delle lavorazioni;
- 2) i possibili sistemi di trasporto interno;
- 3) i posti di lavoro.

1) Tipi di lavorazioni.

La definizione del tipo di lavorazione fornisce una prima indicazione fondamentale circa la disposizione da assegnare al macchinario. I tipi più noti di lavorazioni sono due:

- lavorazioni in serie o in linea: si hanno nel caso della produzione di grandi partite dello stesso prodotto, durante la quale la successione delle operazioni è sempre la stessa;
- lavorazioni a piccoli lotti o per commesse: è il caso della produzione di numerosi prodotti in piccole quantità; com'è facile comprendere, la successione delle operazioni cambia da una lavorazione all'altra.

Premesso che in uno stesso impianto industriale si possono contemporaneamente avere lavorazioni in serie e lavorazioni per commesse, la scelta del primo o del secondo tipo viene fatta per ogni ciclo di lavorazione in base a considerazioni di carattere economico, una volta determinati i macchinari e gli impianti occorrenti. Ovviamente, la sistemazione dei macchinari e degli impianti varia a seconda del tipo di lavorazione adottato.

La disposizione dei macchinari più ricorrente nel caso di una lavorazione in serie è quella effettuata in base alla successione delle operazioni produttive, mentre nel caso di lavorazioni per commesse si ricorre ad una disposizione dei macchinari per reparti o centri di lavoro. In altre parole, uno studio di plant layout può essere impostato dai seguenti punti di vista:

- a) in base alla successione delle operazioni produttive;
- b) per lavorazioni specializzate ovvero per reparti.

Il primo caso è tipico delle lavorazioni in linea, ove le macchine o gli impianti sono installati in successione ben definita, strettamente corrispondente al ciclo di lavorazione del prodotto: i materiali passano dal magazzino materie prime al

magazzino finiti sempre con la stessa successione di operazioni, con un minimo di trasporti e di soste temporanee.

Inoltre parlare di disposizione in linea delle macchine, non significa necessariamente che queste vengano sistemate lungo un asse rettilineo: sovente si ricorre a disposizioni cosiddette a U o simili; queste, pur rispettando la successione delle macchine imposta dal ciclo di lavorazione, tengono conto di considerazioni pratiche inerenti alle forme più frequentemente adottate per i fabbricati industriali. Va da sé che queste ultime considerazioni vanno tenute presenti anche in occasione dello studio del plant layout relativo a lavorazioni per commesse.

Nel caso di produzione a piccoli lotti, si raggruppano per reparti le lavorazioni dello stesso tipo: si attua cioè la specializzazione delle lavorazioni. La sistemazione per reparti consente infatti una maggiore flessibilità dell'insieme produttivo.

2) Sistemi di trasporto interno

Stabilito il tipo di lavorazione per ciascun prodotto, determinati i relativi lotti di produzione e scelti i macchinari occorrenti, si prendono in esame i volumi o i pesi dei materiali che devono essere movimentati da una macchina all'altra e da un reparto (magazzini compresi) all'altro, nonché i depositi 'polmone' da prevedere presso ogni macchina o posto di lavoro.

La conoscenza di tali elementi è molto importante perché consente di scegliere i mezzi di contenimento ed i sistemi di trasporto adatti per la movimentazione dei materiali, il loro deposito temporaneo e l'alimentazione ai posti di lavoro.

Ad ognuno dei sistemi di trasporto interno che si possono adottare per un determinato ciclo di lavorazione, corrisponde una diversa sistemazione dei macchinari e degli impianti, dei reparti e dei magazzini e, in definitiva, dell'impianto industriale nel suo insieme.

I mezzi di contenimento ed i sistemi di trasporto interno sono in genere strettamente connessi all'immagazzinamento ed alla spedizione dei prodotti finiti, nonché allo scarico ed all'immagazzinamento dei materiali provenienti dall'esterno.

Nello studio della movimentazione all'interno dei magazzini si deve supporre che le unità di carico possano essere disposte nel magazzino secondo i criteri di allocazione dei prodotti illustrati nel capitolo successivo. Con queste ipotesi è possibile determinare, per ogni modalità di allocazione dei prodotti ed in funzione della configurazione del magazzino (dipendente dalla posizione delle banchine di

carico/scarico e dei corridoi), il rapporto ottimale tra le dimensioni del magazzino, al fine di minimizzare i tempi medi per effettuare un ciclo, semplice o combinato, di deposito e di prelievo.

Infine, uno studio completo di plant layout non può limitarsi a definire la sistemazione dei reparti di produzione e dei magazzini ma deve includere anche quella degli impianti e dei servizi generali e ausiliari.

3) Posto di lavoro

Definito il tipo di lavorazione e noti i possibili sistemi di trasporto interno dei materiali, lo studio del layout di un magazzino deve includere la disposizione dei posti di lavoro. Sono disponibili, in proposito, un certo numero di suggerimenti (noti come “principi di economia dei movimenti”) che consentono di:

- semplificare al massimo i collegamenti uomo-macchina;
- ridurre lo sforzo fisico necessario per eseguire il lavoro.

Con riferimento al posto di lavoro, la legislazione prescrive spazi minimi da assicurare negli ambienti di lavoro ad ogni operatore.

Infatti, il D.P.R. 19 marzo 1956, n. 303 ("Norme generali per l'igiene del lavoro") prescrive che per ogni prestatore d'opera siano assicurati non meno di:

- 2 m² di superficie, ivi compresi macchine ed impianti;
- 10 m³ di volume (lordo);
- 3 m di altezza netta.

Fra i numerosi principi di economia dei movimenti, interessano particolarmente lo studio di layout di un impianto quelli di seguito citati.

1) Fare in modo che il lavoro che l'operatore deve compiere richieda i movimenti più semplici delle mani e delle braccia e riduca al minimo gli spostamenti delle spalle, del corpo e della persona.

In base a questo principio, le macchine, gli strumenti e le attrezzature devono essere disposti in modo da ridurre al minimo gli spostamenti richiesti all'operatore.

2) Assicurare un posto fisso agli utensili ed ai materiali.

3) Collocare gli utensili, i materiali e gli organi di manovra vicini e di fronte all'operatore.

4) Evitare, ove possibile, il lavoro in piedi: i sedili devono essere opportunamente studiati ed il posto di lavoro deve consentire una posizione comoda per le gambe ed i piedi di chi sta seduto. Sono inoltre raccomandabili schienali dei sedili regolabili in

altezza, pedane per l'appoggio dei piedi degli operatori seduti ed altri accorgimenti miranti a consentire la più comoda posizione dell'operatore.

5) Fare in modo che la risultante degli sforzi che l'operatore deve compiere per l'espletamento del suo lavoro risulti minima e consenta l'equilibrio della persona. I pesi da trasportare devono essere tenuti più aderenti possibili al corpo ed in riferimento alla movimentazione manuale dei carichi si dovrebbero applicare i concetti base dell'ergonomia.

Infine, deve essere assicurata l'accessibilità alle macchine. Infatti, la necessità di spostamenti e interventi manutentivi esige che attorno ad ogni macchina vengano lasciati spazi liberi. Questi hanno estensioni diverse a seconda che alla macchina debbano accedere soltanto operatori oppure anche mezzi di trasporto. Ne consegue che il dimensionamento degli accessi alle macchine dipende in genere dal tipo di trasporto interno adottato.

Riepilogando, lo studio del layout di un impianto presuppone la conoscenza dei seguenti elementi:

- schema funzionale di ciascuna lavorazione (dal magazzino iniziale a quello finale), vale a dire, essenzialmente: ciclo di lavorazione ed immagazzinamento, potenzialità e caratteristiche dei mezzi produttivi e dei mezzi di immagazzinamento;
- caratteristiche e fabbisogni di servomezzi relativi ad ogni macchina;
- quantità di materiali da immagazzinare e da movimentare in una prestabilita unità di tempo.

Noti tali elementi, si tratta di stabilire se e quali lavorazioni siano del tipo in linea e quali per commessa. Ciò fatto, si considerano i vari sistemi di movimentazione e gli eventuali mezzi di contenimento adottabili per il trasporto interno dei materiali. Per ognuno dei possibili mezzi di trasporto, si studiano i singoli posti di lavoro, ivi inclusi gli eventuali depositi di materiali in attesa di lavorazione o già lavorati ed i passaggi pedonali. Si procede quindi allo studio delle varie soluzioni alternative di sistemazione.

4.4 CRITERI DI ALLOCAZIONE DEI PRODOTTI

Le prestazioni di un magazzino sono molto influenzate dai criteri con cui viene effettuato lo stoccaggio dei materiali nelle varie aree del magazzino, poiché in funzione di tali criteri variano gli spazi richiesti per lo stoccaggio e i tempi necessari per effettuare i prelievi ed i depositi.

Per definire alcuni criteri di allocazione, è opportuno avvalersi di alcuni indici di movimentazione, che consentono di delineare un ordine di importanza dei materiali presenti in magazzino.

Gli indici principali sono:

- *l'indice di rotazione (IR)* a quantità, definito come il rapporto tra il flusso di prodotto in uscita dal sistema di stoccaggio in un determinato periodo (T) espresso in unità di carico (F_{ui}) e la giacenza media dello stesso prodotto (G_i) calcolata nello stesso periodo di riferimento e sempre espressa in unità di carico: $IR_i = F_{ui} / G_i$

É un indicatore dell'entità della scorta rispetto al flusso (movimentazione di unità di carico intere) e indica nell'arco temporale considerato (anno o mese) quante volte girano le scorte. Se l'IR di un materiale è elevato, allora accade che questo venga movimentato frequentemente; quindi in termini di movimentazione, risulta più rilevante un materiale che possiede un IR superiore.

É possibile definire anche un indice di rotazione a valore definito come rapporto tra il valore della merce uscita nel periodo e la rimanenza media nello stesso periodo:

$$IR_i \text{ VALORE} = \text{valore del flusso in uscita } i / \text{rimanenza media } i$$

Per l'applicazione dell'indice di rotazione ad un unico prodotto o ad una classe di prodotti omogenei è indifferente l'uso dell'indice a quantità oppure a valore (normalmente la valorizzazione del flusso in uscita, coerentemente con la valorizzazione della giacenza media, è calcolata sul costo del prodotto e non sul prezzo di vendita).

Per poter sintetizzare in un unico indicatore situazioni di scorta e flusso relative a prodotti non omogenei è invece necessario utilizzare l'indice di rotazione a valore, in modo da disporre di una comune base di paragone (il valore economico);

- *indice di movimentazione (IM)*: $IM_i = M_i / T$,

dove M_i è il numero di unità di carico del tipo i -esimo movimentate nel periodo T .

L'indice di movimentazione esprime il numero di movimentazioni effettuate mediamente in un certo periodo T relativamente anche ad unità di carico non complete (tiene conto anche di eventuali ricircoli all'interno del magazzino e può perciò differire dal flusso di prodotti in uscita dal sistema). Se un materiale possiede un valore elevato di IM , esso risulta rilevante dal punto di vista della movimentazione;

- *indice di accesso (IA)*: $IA_i = IM_i / n^\circ \text{ celle}_i$,

dove $n^\circ \text{ celle}_i$ è il numero di celle dedicate al prodotto i -esimo. L'indice di accesso rappresenta il numero di accessi medi in un arco temporale fissato relativi ad un singolo vano e quindi è proporzionale alla probabilità che un accesso generico sia riferito al vano considerato. L'indice di accesso può coincidere con l'indice di rotazione solo nel caso di un sistema di stoccaggio in cui siano movimentate esclusivamente unità di carico intere e in cui le celle dedicate siano pari alla giacenza media di ciascun prodotto.

Con riferimento ad un impianto di stoccaggio intensivo, quale un magazzino automatizzato, si possono individuare sostanzialmente tre criteri di allocazione delle unità di carico ai vani:

- allocazione dedicata al singolo articolo (*dedicated storage*);
- allocazione per classi di prodotti (*class based storage*);
- allocazione casuale (random storage o *shared storage*).

Utilizzando il criterio *dedicated storage* ad ogni codice viene assegnato un sufficiente numero di vani che risultano dunque disponibili solamente per questo codice. In questo modo la potenzialità ricettiva necessaria è pari alla somma dei vani dedicati a ciascun articolo e quindi è pari alla somma delle giacenze massime previste (esprese ad esempio in numero di pallet) di tutti gli articoli. Al fine di minimizzare il tempo medio di ciclo la scelta di quali vani dedicare a ogni articolo può essere effettuata in base all'indice di accesso dei prodotti o, alternativamente, in base all'indice COI (Cube per Order Index), definito, per ciascun articolo, come il rapporto tra il volume di scaffalatura dedicato e la frequenza di prelievo.

L'allocazione basata sulla frequenza di accesso ai vani consente di ottenere dei notevoli risparmi relativamente al tempo medio di ciclo, ma necessita di periodici e

onerosi cambiamenti delle posizioni di stoccaggio al fine di riallocare i prodotti nell'ordine corretto (ossia per frequenze di accesso ai vani decrescenti), a fronte di cambiamenti dei flussi e del numero di vani occupati da ogni codice.

Nei magazzini tradizionali, la scelta dei vani può avvenire anche in base a criteri storici o classi merceologiche. Si riservano a un prodotto o a una classe di prodotti simili dal punto di vista merceologico i vani o una zona di vani che "storicamente" (nei periodi precedenti) erano riservati a essi, in modo da facilitare le operazioni manuali di ricerca degli articoli. L'allocazione dedicata ad ogni singolo articolo è infatti il criterio che facilita più di ogni altro le operazioni di ricerca dei prodotti in quanto agevola la memorizzazione da parte degli operatori dei vani ove è presente ogni articolo.

Il criterio di allocazione *class based storage* consiste nell'individuare classi di prodotti che siano omogenee dal punto di vista dell'indice di accesso e nel dedicare ad ogni classe una zona con un numero sufficiente di vani.

Poiché all'interno di ciascuna zona le unità di carico dei diversi prodotti sono stoccate in modo casuale, il numero di vani necessari per ogni zona è pari alla giacenza complessiva massima prevista per tale zona, valore che differisce in modo sensibile dalla somma delle giacenze massime previste per ogni singolo articolo (valore assunto nel caso di allocazione dedicata ad ogni singolo articolo). In definitiva con l'allocazione per classi si ottiene una notevole riduzione della potenzialità ricettiva necessaria in quanto all'interno di ogni singola zona è possibile una compensazione temporale tra i picchi di giacenza degli articoli.

La riduzione ottenibile del tempo medio di accesso, rispetto ad una allocazione completamente casuale delle unità di carico, è più consistente se il numero di classi individuate è elevato, anche se in realtà il comportamento è di tipo asintotico e gli ulteriori miglioramenti ottenibili aumentando il numero di zone oltre al valore di $4 \div 5$ sono molto modesti.

Viceversa la complessità gestionale aumenta in modo consistente per suddivisioni in un numero di classi superiore a $4 \div 5$, per cui ne consegue che nei sistemi di stoccaggio vengono solitamente utilizzate suddivisioni in $3 \div 4$ classi di prodotti.

Infine il criterio *shared storage*, che si colloca all'estremo opposto rispetto all'allocazione dedicata ad ogni singolo articolo, consente di ottenere i massimi vantaggi in termini di riduzione della potenzialità ricettiva ma è caratterizzato da un tempo medio di accesso pari alla media dei tempi di accesso di tutti i vani. I materiali vengono infatti stoccati nel primo vano libero più vicino possibile alla testata del

magazzino. L'allocazione casuale, o condivisa, non consente di ottenere alte riduzioni del tempo medio di accesso mediante una corretta collocazione dei prodotti.

Nel caso di allocazione casuale e di allocazione in zone per classi di prodotti è necessario utilizzare supporti di tipo informatico al fine di individuare i vani in cui sono collocate le unità di carico relative ad ogni codice (ovvero una mappa informatica di magazzino) in quanto per gli operatori risulta impossibile conoscere istante per istante la mutevole localizzazione di pallet o di altri tipi di contenitori.

Qualora si eseguano operazioni di prelievo in ciclo combinato o, addirittura, multiplo (caso del *picking*) può risultare utile adottare una politica di allocazione dei materiali non casuale, ma bensì correlata: tale allocazione si basa sulla considerazione che gli articoli più frequentemente soggetti a prelievo "congiunto" (caratteristiche di complementarietà degli articoli in termini di prelievo) dovrebbero essere collocati in posizioni adiacenti, o perlomeno, vicine così da ridurre i tempi di prelievo.

Per individuare i vani e le zone da assegnare alle unità di carico con maggior frequenza di accesso occorre esaminare la collocazione dei punti di ingresso e di uscita dall'impianto di stoccaggio intensivo e conseguentemente individuare quelle zone e quei vani per cui risulta minore la somma dei tempi di stoccaggio e di prelievo. Nei casi in cui il punto di ingresso coincida con il punto di uscita, il problema risulta semplificato e l'assegnazione dei vani viene effettuata semplicemente sulla base dei tempi di trasferimento delle unità di carico tra il punto di ingresso/uscita ed i vani.

Di conseguenza la forma geometrica delle zone e dei confini tra le diverse zone dipende dal tipo di mezzo di movimentazione utilizzato.

Il metodo con cui individuare i confini geometrici delle zone, se i punti di ingresso e uscita coincidono, consiste nell'individuare le curve o le superfici isotempo di accesso. Dopo aver individuato le zone è necessario scegliere quali unità di carico allocare a partire dai vani più facilmente accessibili. Il criterio corretto è quello basato sull'indice di accesso. Disporre gli articoli a partire dai vani più velocemente accessibili secondo un ordine decrescente degli indici di accesso (o crescente dell'indice COI) corrisponde a massimizzare la probabilità di dover accedere nei vani con i minori tempi di accesso e quindi è il criterio più corretto al fine di minimizzare il tempo medio di accesso alle unità di carico nel caso di cicli semplici.

L'indice di accesso di un articolo rappresenta inoltre il reciproco dell'intervallo medio tra due successive movimentazioni riguardanti il medesimo vano, essendo definito

come il numero di movimentazioni medie relative a un vano in un arco temporale prefissato.

Infatti un criterio altrettanto corretto per assegnare i vani ai vari prodotti consiste nel determinare il tempo atteso tra due successivi movimenti relativi a un vano, che coincide con il tempo atteso di permanenza a magazzino di ogni unità di carico (*duration of stay*, DOS), e quindi nell'iniziare ad assegnare i vani più accessibili alle unità di carico caratterizzate da un minor tempo atteso di permanenza (DOS minore). L'introduzione del criterio "tempo di permanenza" consente di effettuare un'ulteriore affinazione del criterio di allocazione dei vani, qualora si ammetta che le unità di carico di un unico articolo possano venire stoccate in zone differenti e quindi nel caso di gestione separata per le unità di carico del medesimo articolo.

Infatti se si considera per esempio un prodotto che viene rifornito al magazzino con grossi lotti (che coprano il consumo di diversi giorni), si conosce a priori che le unità di carico prelevate nei primi giorni avranno un tempo di permanenza molto inferiore rispetto alle unità di carico dello stesso lotto che verranno prelevate per ultime.

In questo caso risulta corretto allocare nella zona più accessibile quelle unità di carico che verranno prelevate per prime e allocare nelle zone più distanti quelle unità di carico del medesimo lotto che verranno prelevate alla fine. Ovviamente per poter gestire un sistema di questo tipo è necessario abbinare a ogni unità di carico l'informazione della sequenza di prelievo oltre alla identificazione dell'articolo.

Supponendo per semplicità di limitarsi alle situazioni in cui tutte le unità di carico del medesimo articolo siano collocate nella stessa zona e non siano differenziabili ai fini dell'allocazione nei vani del magazzino, è possibile valutare l'indice di accesso in funzione del criterio di allocazione adottato (si veda la Tabella 2). Se l'allocazione è dedicata ad ogni singolo articolo, il numero di vani dedicati a ogni articolo è pari alla giacenza massima prevista per quell'articolo per cui l'indice di accesso è pari al rapporto tra il flusso di unità di carico movimentate e la giacenza massima. Mentre se l'allocazione è effettuata suddividendo il magazzino in zone dedicate a classi di prodotti con diverso indice di accesso, la valutazione del numero di celle dedicate a ogni articolo è molto più complessa e dipende non solo dall'andamento temporale delle giacenze di un articolo ma anche dall'andamento complessivo delle giacenze di tutti gli articoli presenti nella classe e quindi dal grado di correlazione esistente tra le giacenze dei prodotti appartenenti a ogni classe.

Allocazione dedicata a ogni singolo articolo (<i>dedicated storage</i>)	$IA = \text{flusso u. d. c. movimentate} / \text{giacenza massima}$
Allocazione in zone per classi di prodotti (<i>class based storage</i>)	$IA = \text{flusso u. d. c. movimentate} / \text{giacenza media}$

Tabella 2 Determinazione dell'indice di accesso al fine di ricavare la sequenza di prodotti da allocare a partire dai vani più velocemente accessibili.

Questa complicazione, per la determinazione dello spazio dedicato a ogni articolo si può superare in modo abbastanza semplice e senza commettere errori apprezzabili, supponendo che esista una sostanziale compensazione delle fluttuazioni attorno al valore medio della giacenza dei diversi articoli; ossia nel caso in cui fosse possibile considerare il numero di vani necessari pari alla somma delle giacenze medie di tutti gli articoli staccati in una zona.

Se lo spazio necessario, ovvero la giacenza complessiva massima, fosse ricavabile moltiplicando per un fattore costante la somma delle giacenze medie, il calcolo dell'indice di accesso per tutti gli articoli dovrebbe essere corretto con questo fattore moltiplicativo. Però se questo fattore è costante per tutte le zone e quindi per tutti gli articoli, esso non muterebbe la sequenza degli articoli ordinati secondo l'indice di accesso, sequenza il cui ottenimento è l'unico obiettivo della determinazione dell'indice di accesso.

In definitiva, nel caso di allocazione in zone dedicate a classi di prodotti con diverso indice di accesso, la sequenza dei prodotti in base alla quale decidere l'assegnazione degli stessi alle diverse zone si effettua correttamente utilizzando un indice di accesso che coincide, solo in questo caso, con l'indice di rotazione.

La suddivisione del magazzino in zone dedicate a prodotti con diverso indice di accesso (o diverso tempo di permanenza) consente di ottenere risparmi apprezzabili concernenti la parte variabile del tempo di ciclo semplice rispetto alla situazione di allocazione casuale delle unità di carico, mentre, ovviamente, la parte fissa del tempo di ciclo (relativa per esempio al ciclo forche e al posizionamento) non subisce modificazioni.

4.5 SIMULAZIONE DINAMICA

La simulazione dinamica è una fase del processo di progettazione e sviluppo di un magazzino automatizzato che ha assunto negli ultimi tempi un'importanza sempre più rilevante poiché consente di ricreare il progetto di un magazzino direttamente sul pc e di osservare il suo comportamento, consentendo così di determinare se sia necessario apportare modifiche al layout, al funzionamento, alle politiche di gestione delle merci od ad altre scelte di progettazione, prima di definire le specifiche finali di progetto e, quindi, prima di avviare le attività di realizzazione dell'impianto.

Le principali aree di intervento che possono essere analizzate sfruttando il software di simulazione del funzionamento dell'impianto sono:

- verifica ed ottimizzazione del layout dei sistemi di stoccaggio e di handling; lo scopo è l'individuazione e la rimozione dei colli di bottiglia, nonché l'ottimizzazione degli investimenti;
- verifica ed ottimizzazione delle strategie e delle tattiche per il corretto utilizzo di sistemi di stoccaggio e di handling, da implementare poi sui software di gestione operativa o di controllo dell'automazione, quali: politiche di messa ad ubicazione, ottimizzazione del picking, assegnazione delle missioni di prelievo/deposito in funzione di vari scenari di utilizzo (giorno medio, di picco, sbilanciamenti nel mix, guasti ecc.);
- verifica ed ottimizzazione delle modalità di pianificazione e gestione della produzione, carico macchine ecc.;
- pianificazione dell'attività giornaliera del magazzino, con la verifica dell'effetto di varie alternative nell'impiego delle risorse disponibili, grazie ad un modello di simulazione di dettaglio;
- emulazione di software e di hardware di coordinamento e/o di campo per la messa a punto "in bianco" di tali sistemi;
- comparazione delle prestazioni teoricamente raggiungibili dal proprio sistema attuale con quelle realmente raggiunte (*benchmarking interno*);
- raffinata presentazione animata 3D dei sistemi oggetto di studio.

Grazie ad essa si può analizzare un sistema senza entrare direttamente in contatto con lo stesso, studiandone relazioni e intersezioni interne senza ricorrere a metodi teorico-statistici complessi. In una simulazione, si usa il computer per valutare un

modello analitico dal punto di vista numerico ed i dati sono studiati al fine di stimare le vere caratteristiche del sistema.

Si fissi comunque bene l'attenzione sul seguente punto: fra i risultati ottenuti direttamente dal modello analitico del sistema e quelli ottenuti per "semplice" simulazione, potendo scegliere sono sicuramente da preferirsi i primi. Con questo si vuol sottolineare che la simulazione è da utilizzarsi solo in quei casi dove la soluzione analitica è proibitiva.

Un grosso inconveniente dell'analisi simulativa si presenta quando si è interessati ad ottimizzare il sistema, ad esempio determinando il numero ottimo di stazioni di servizio a fronte di certi costi (noti) e certe frequenze di arrivo. Se si possiedono i modelli matematici del sistema non si fa altro che applicare normali tecniche matematiche di ottimizzazione; quando invece si utilizza la simulazione ci si basa su tecniche di analisi di dati sperimentali che raramente indovino l'ottimo analitico.

Spesso ci si riconduce solo a scegliere il migliore risultato tra poche alternative (si ricordi che ogni alternativa implica un nuovo processo simulativo) cosicché mal si finisce per prendere il vero ottimo ed inoltre si apre il problema di come scegliere le alternative facendo diventare la simulazione un'arte.

Riassumendo, i vantaggi della simulazione dinamica risultano essere i seguenti:

- i) I sistemi complessi, comprendenti vari analisi stocastiche, non possono essere efficacemente analizzati con metodi analitici: la simulazione è l'unica alternativa.
- ii) Possibilità di modificare facilmente i modelli per studiare soluzioni alternative.
- iii) Consente lo studio sia nel lungo che nel breve periodo e l'analisi in dettaglio di ciascun componente ed entità del modello.

Al contrario, gli svantaggi di tale analisi sono:

- i) Costo ed onerosità in termini di tempo di sviluppo.
- ii) Ogni analisi vale solo per un certo set di parametri: la conseguenza è la necessità di analisi ripetute. Inoltre, ciascuna esecuzione è solo una stima del risultato per quella particolare configurazione; necessiteranno più prove per assicurare la bontà statistica del risultato. Ne segue che sarebbe di per sé migliore un modello analitico in quanto consentirebbe un'analisi più semplice ed efficace.
- iii) Necessità di una profonda conoscenza delle caratteristiche del sistema da simulare.

Fra i principali problemi che, nel passato, hanno generato fallimenti di studi basati sulla simulazione possiamo ricordare i seguenti:

- Inappropriato livello di dettaglio del modello.
- Incomprensione sugli obiettivi da raggiungere.
- Mancanza di esperti di ricerca operativa e/ o statistica nel team di sviluppo.
- Scelta errata delle misure di performance.
- Uso di una sola replicazione per ogni alternativa.
- Uso di tecniche statistiche classiche basate sull'indipendenza stocastica per l'analisi dei risultati.
- Uso di arbitrarie distribuzioni come input della simulazione.

Fatto sta che, comunque, il numero e le aree di applicazione di questo tipo di simulazione sono numerose. Fra queste, ad esempio, troviamo: dimensionamento ed analisi di sistemi di produzione; analisi finanziaria di sistemi economici; valutazione di nuovi sistemi militari; dimensionamento di sistemi di trasporto quali aeroporti, ferrovie, metropolitane, porti.

Le principali fasi che devono essere svolte nello svolgimento dell'analisi e che consentono di garantire un risultato di simulazione efficace sono (si veda il diagramma di flusso, Figura 11):

1) Formulazione del problema e del piano di studio.

Ciascun studio simulativo deve avere ben chiaro fin dall'inizio quali sono le specifiche del problema e quali gli obiettivi da raggiungere. Ogni sistema può essere variamente modellizzato in funzione degli obiettivi da conseguire. Il piano del sistema da studiarsi dovrebbe esser delineato, così come occorre definire i criteri di valutazione dell'efficacia di questo. Si deve poi scegliere il team di sviluppo (numero di persone, competenze necessarie, ecc.), i costi ed i tempi di sviluppo per ciascuna successiva fase.

2) Collezione dei dati e definizione del modello.

Si devono raccogliere dati ed informazioni sul sistema in oggetto, dati che devono essere collezionati usando specifiche procedure della statistica (ad esempio il fittaggio con distribuzioni conosciute). Una simulazione richiede input accurati (flussi, prestazioni, regole di gestione, ecc.), quindi la raccolta dati è una fase molto delicata. Se possibile, anche dati sulle performance del sistema dovrebbero essere collezionati; ciò può tornare utile in una successiva fase (step 6) di validazione del modello

simulato. La costruzione, poi, di un logico modello matematico del sistema reale rappresenta quasi un'arte piuttosto che una scienza. Sebbene ci siano poche regole fisse da rispettare nel processo di modellizzazione, è sempre una buona idea partire con un modello moderatamente dettagliato che verrà in seguito, se necessario, sofisticato. Un modello dovrebbe descrivere solo l'essenza del sistema, solo la sua parte di interesse relativamente alla questione in gioco; non è necessario ottenere una corrispondenza uno a uno tra gli elementi del modello e quelli del sistema. Un modello troppo sofisticato può risultare troppo costoso e complesso in termini di programmazione ed esecuzione.

3) *Validazione*

Sempre tenendo conto che il concetto di validazione deve essere presente durante tutte le fasi di sviluppo dello studio simulativo, esistono alcuni punti durante il processo di sviluppo dove una validazione è particolarmente appropriata; uno di questi è lo step 3. Nella costruzione del modello è necessario coinvolgere le persone che hanno maggiore familiarità con le operazioni del sistema attuale. Questo incrementerà la validità del modello e la sua credibilità nei suoi futuri utenti.

4) *Stesura di un programma su computer e verifica.*

Il team deve prendere la decisione sul linguaggio da usare. La scelta può ricadere su linguaggi *general-purpose*, *special-purpose* oppure sull'uso di *simulatori*. I linguaggi *general-purpose* sono il massimo in termini di flessibilità e tempi di esecuzione ma richiedono alti tempi di sviluppo. Al contrario, i linguaggi di simulazione forniscono, già predefinite, routine che aiutano il programmatore nella stesura del programma (quali, ad esempio, i generatori di numeri casuali che seguono le principali distribuzioni esistenti).

Relativamente alla verifica della simulazione occorre determinare che il programma su computer funzioni come previsto; il debugging del programma non è una cosa semplice da farsi soprattutto per sistemi complessi.

5) *Definizione ed esecuzione di prove pilota.*

Esecuzioni del programma tramite delle prove pilota devono essere fatte al fine di testare e validare il modello al passo successivo.

6) *Validazione.*

Le prove pilota possono essere usate per testare la *sensitività* degli output del modello rispetto piccoli cambiamenti degli input. Se i cambiamenti degli output sono elevati, necessiterà una stima molto accurata degli input. Se esiste, per caso, un sistema

similare a quello descritto dal nostro modello, l'output di quest'ultimo può essere comparato con un output reale passando come input della prova pilota quei dati storicamente presentatisi al sistema reale che hanno generato i dati di output usati per il confronto. In base ai risultati delle prove pilota, il modello verrà modificato per migliorarne la rappresentatività. La speranza sarà quella di dover impostare una serie limitata di modifiche.

7) Disegno degli esperimenti.

Nasce il problema di decidere quale configurazione del sistema simulare se, come accade comunemente nella pratica, varie sono le possibilità. Spesso una decisione definitiva non può essere presa in questo momento. Infatti, solo selezionando, con opportune tecniche, certe scelte ed analizzando i risultati ottenuti, il team può decidere quale particolare sistema simulare. Per ciascuna configurazione prescelta per la simulazione, bisogna risolvere problemi relativi alle *condizioni iniziali*, *lunghezza del transitorio*, *lunghezza della simulazione*, *numero delle replicazioni*. Una volta in esecuzione, è poi possibile utilizzare tecniche di *riduzione della* varianza che forniscono dati di grande precisione statistica (riducendo la varianza degli stimatori) con costi aggiuntivi trascurabili.

8) Esecuzioni.

Il programma viene messo in esecuzione per un dato numero di volte al fine di fornire dati sulle performance del sistema/modello.

9) Analisi dei dati di output.

I dati di output vengono analizzati con tecniche statistiche.

Tipicamente si vanno a costruire degli intervalli di confidenza per le variabili di performance (come il *lead time*, il *work in process* o il *throughput* [pezzi processati / h]) per la particolare configurazione del sistema studiata. Questo viene fatto per decidere l'affidabilità dei risultati e delle misure ottenute; si tratta di uno dei punti più delicati di tutto lo studio di simulazione.

10) Documentazione, presentazione e implementazione dei risultati.

Occorre infine una buona documentazione del modello e del relativo programma. Anche la miglior analisi, se non è capace di "comunicare" i suoi risultati, si rivela inutile. Questa fase è molto importante per aiutare a prendere le decisioni. In genere, assieme ad un documento report, viene realizzata un'animazione 3D, che mostri le situazioni "critiche" e le possibili soluzioni suggerite dal team per risolverle.

In Figura 11 sono riportate, sotto forma di diagramma di flusso, le principali attività e le relative sequenze della fase di simulazione dinamica.

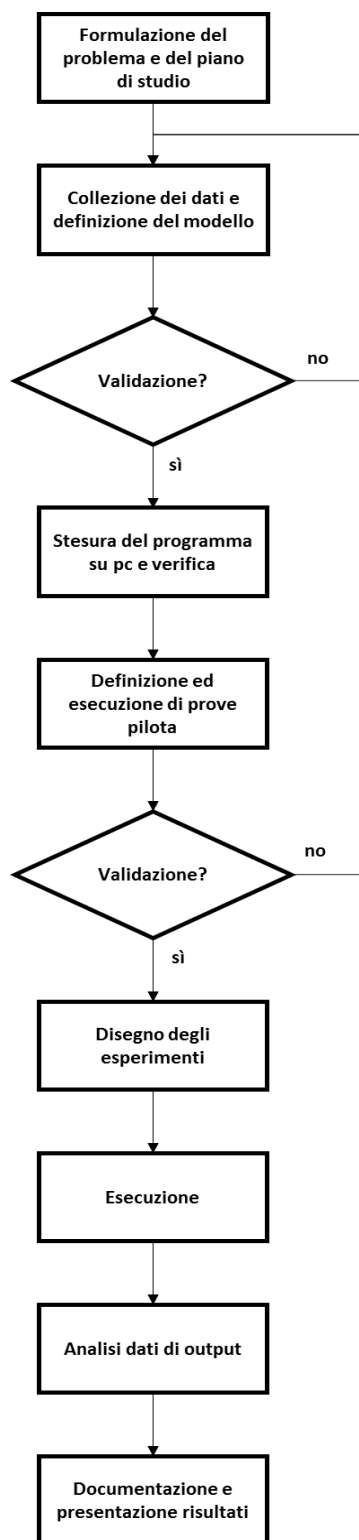


Figura 11 Diagramma di flusso della fase di Simulazione Dinamica

4.6 COMMISSIONING

In questo capitolo vengono descritte le attività finali (*'commissioning'* in accezione ampia) di realizzazione del magazzino automatizzato, ossia l'insieme delle attività da compiere dal completamento della costruzione dell'edificio e dei sistemi di movimentazione e stoccaggio, fino alle prove di garanzia. In altri termini, tale fase comprende tutte le attività che sono necessarie per avviare l'impianto in modo corretto, una volta avvenuto il completamento meccanico, e per dimostrarne la conformità alle specifiche contrattuali. Consiste di un insieme di attività finalizzate ad ottenere, verificare e documentare che le prestazioni dell'edificio, dei sistemi e degli equipaggiamenti/attrezzature soddisfino obiettivi e criteri ben definiti

Gli obiettivi generali delle attività finali possono essere così riassunti:

- dimostrare la conformità e la correttezza sia dell'intero processo di progettazione che delle parti di impianto fornite in termini di esercibilità e affidabilità;
- dimostrare il raggiungimento delle prestazioni previste dal progetto per i diversi sistemi forniti;
- mantenere la "qualità" della fornitura sino alla sua consegna al cliente.

Quindi, occorre sottoporre a tali attività finali sia il progetto (le attività di progettazione), sia la costruzione (tutte le attività svolte in cantiere nel sito dove sarà attivo l'impianto), sia lo svolgimento dei processi operativi alla presenza dell'esercente.

Invece, gli obiettivi specifici delle attività di commissioning sono i seguenti:

- consegna al cliente delle opere in accordo alle modalità e ai documenti contrattuali;
- ottenimento dal cliente di due documenti:
 - i) "certificato di completamento meccanico",
 - ii) "certificato di accettazione provvisoria";
- ottimizzazione dei tempi e delle sequenze di costruzione e avviamento dell'impianto;
- esecuzione di tutte le verifiche finali;
- smobilitazione delle imprese fornitrici secondo le modalità contrattuali.

Occorre notare che in tale fase ci si riferisce solo ad un'accettazione della fornitura di tipo provvisorio poiché, essendo le interfacce così numerose e variegate, l'accettazione definitiva è fatta solo dopo un determinato periodo di utilizzo dell'impianto.

D'altro canto, i fattori maggiormente critici per le attività finali di completamento di un impianto sono essenzialmente i seguenti:

- il tempo: è decisamente critico il rispetto delle scadenze contrattuali se non si vuole andare incontro al pagamento di pesanti penali per ritardi nella consegna dell'impianto;
- la conformità: legata anche a elementi di sicurezza di esercizio dell'impianto.

Si fa notare che i due momenti principali nello svolgimento delle attività di commissioning sono coincidenti con la firma di due documenti:

- il "*Certificato Completamento Meccanico*", relativo al completamento dei lavori su un sistema dell'impianto;
- il "*Certificato di Accettazione Provvisoria*" rilasciato dal cliente, che sancisce il passaggio di proprietà dell'impianto dal costruttore all'esercente.

Lo svolgimento delle attività finali di un impianto prevede in genere due macro-fasi:

1. Una fase preparatoria, che si estende fino al completamento meccanico, svolta essenzialmente in sede, nella quale si definiscono:

- la struttura organizzativa di avviamento;
- il programma di avviamento, con la tempificazione di tutte le attività previste;
- il sistema di comunicazione tra il cantiere e la sede del fornitore;
- la documentazione relativa alle attività di avviamento;

2. Una parte operativa svolta in cantiere e consistente nell'esecuzione delle attività previste.

La seconda macro-fase è relativa al completamento della costruzione e riguarda i rapporti tra il costruttore e le imprese appaltatrici. Uno degli strumenti utilizzabili per tenere sotto controllo le attività finali delle imprese appaltatrici di lavori di costruzione e montaggio è costituito dalle cosiddette "*Punch List*": si tratta di documenti che contengono degli elenchi dei lavori da terminare. Vengono preparate con debito anticipo rispetto alla data prevista per il termine dei lavori e riportano anche un'indicazione dell'urgenza con la quale i lavori sospesi devono essere ultimati prima del pre-commissioning (prima del completamento meccanico) e/o commissioning.

Durante la prima macro-fase deve essere realizzato un '*Programma di avviamento*', che comprende la tempificazione di tutte le attività da compiere e contiene le sequenze e le modalità operative specifiche del particolare impianto. Il programma di avviamento contiene le modalità da seguire, le sequenze da rispettare, i mezzi e le infrastrutture da usare, i livelli qualitativi da garantire, la documentazione da produrre, le modalità di

gestione dei rapporti con il cliente, i criteri di sicurezza da adottare e le responsabilità reciproche di fornitori e cliente.

Tale programma può essere articolato su tre livelli:

- 1° livello: è costituito dal “*Programma Generale Per l'Avviamento*”, che contiene: prove pre-operative (*pre-commissioning*), prove a carico (*commissioning*), prove di garanzia e milestones contrattuali significative;
- 2° livello: contiene le attività di prova a livello di sistema e sottosistema; per ogni sistema sono evidenziati i legami di interfaccia con gli altri sistemi. Vengono inoltre evidenziate attività peculiari più significative.
- 3° livello: consiste nella programmazione dettagliata, sviluppata per ogni sistema rappresentato nel livello 2 e per tutte le attività direttamente interessate all'avviamento.

Le prove pre-operazionali, ovvero le attività di *pre-commissioning*, sono il complesso di attività svolte al fine di accertare il corretto ed adeguato funzionamento dei componenti e dei sistemi, in accordo a quanto previsto dalle precedenti fasi di progettazione. Tali prove sono effettuate in accordo con il ‘*Programma di avviamento*’ e sono in genere effettuate in condizioni di funzionamento ridotte rispetto a quelle nominali e con volumi e carichi di prova.

ATTIVITA' TIPICHE DEL PRECOMMISSIONING
- Verifiche di conformità
- Pulizie meccaniche e chimiche di componenti ed apparecchiature
- Flussaggio dei circuiti di lubrificazione, di controllo e tenuta delle apparecchiature
- Chiusura delle apparecchiature dopo ispezione ed esecuzione dei montaggi interni
- Prove in bianco del sistema di controllo
- Controllo tarature degli strumenti installati
- Prove dei sistemi di strumentazione ed elettrici (al banco o con strumenti di controllo o tensioni di prova)
- Predisposizione dei servizi industriali e di processo
- Documentazione delle operazioni effettuate e ottenimento di eventuali autorizzazioni per il commissioning
- Verifica della disponibilità dei manuali operativi, nonché delle istruzioni di avviamento, marcia, fermata e manutenzione delle apparecchiature

Tabella 3 Attività tipiche del Pre-commissioning

A questo punto, per ciascun sistema deve essere emesso il “Certificato di Completamento Meccanico”, che deve essere firmato per approvazione dal cliente.

In questa fase il cliente può essere coinvolto nella verifica della corretta esecuzione dei lavori e può accadere che egli indichi certi aspetti del lavoro che ritiene ancora incompleti.

Infine, completati tutti i punti ancora aperti, viene emesso il “Certificato di Completamento Meccanico”.

In seguito, vengono svolte le attività previste dalla fase di commissioning vera e propria: si tratta di un sottoinsieme specifico di attività all’interno del processo e, più precisamente, di tutte le attività connesse alla predisposizione di macchine e apparecchiature per le operazioni di avviamento (controllo macchine, disponibilità di servizi ausiliari, allarmi ecc.). Le attività di commissioning sono condotte con volumi e carichi di progetto, ma non in condizioni di funzionamento.

ATTIVITA' TIPICHE DEL COMMISSIONING
- Predisposizione delle apparecchiature e delle macchine alle operazioni di avviamento
- Verifiche e allineamenti dei sistemi di controllo della strumentazione, dei sistemi di monitoraggio e controllo
- Prove di intervento blocchi e allarmi
- Prove, con tensioni elettriche di progetto, di polarità, rotazione, operabilità dei motori elettrici e sistemi di comando meccanici e pneumatici
- Taratura delle apparecchiature di analisi
- Taratura funzionale dei sistemi di sala controllo
- Operazioni di controllo allineamenti macchine, di taratura e calibrazione dei sistemi di controllo, allarme e blocco, di serraggio e prove di tenuta
- Accertamento disponibilità dei servizi ausiliari (manutenzione, sicurezza, infermeria ecc.)

Tabella 4 Attività tipiche del Commissioning

La fase successiva è quella dell’avviamento (“*start-up*”) dell’impianto; è effettuata in maniera graduale, portando l’impianto alle condizioni nominali di funzionamento per piccoli incrementi delle prestazioni e mantenendo un costante controllo sul comportamento di tutti i sistemi.

Per monitorare le operazioni di avviamento e per le successive prove di garanzia, l'impianto deve essere "strumentato", ovvero devono essere posizionati gli strumenti di misura nei punti previsti. Nella fase di commissioning e avviamento le prove possono essere fatte anche con apparecchiature non certificate, in quanto devono solo dare indicazioni sul corretto funzionamento dell'impianto e non sul rispetto delle specifiche funzionali. Al contrario, per le prove di garanzia devono essere utilizzate apparecchiature di misurazione certificate, a cura dell'organizzazione stessa o del fornitore del sottosistema.

Le prove di garanzia ("*test-run*") hanno inizio dopo il completamento delle prove di avviamento ed hanno lo scopo di dimostrare la conformità delle prestazioni dell'impianto alle specifiche contrattuali, utilizzando la strumentazione certificata posizionata in opportuni punti dell'impianto.

Le modalità con le quali tali prove sono effettuate dipendono dal contratto e possono essere:

- i) puntuali (verifica del raggiungimento delle prestazioni);
- ii) estese su un certo periodo di tempo per verificare la continuità delle prestazioni stesse.

Se le prestazioni sono inferiori a quelle richieste, in genere è previsto il pagamento di penali; se le prestazioni sono superiori a quelle richieste può essere riconosciuto un premio monetario.

Giunti a questo punto viene firmato dalle parti il "Certificato di Accettazione Provvisoria" che sancisce il termine della realizzazione dell'impianto e il passaggio di proprietà dal costruttore al cliente.

Nel primo periodo di esercizio dell'impianto da parte del cliente, definito a contratto, valgono altre forme di garanzia, che possono chiamare in causa il costruttore in caso di guasti. Solo al termine dei periodi delle garanzie particolari il cliente diventa effettivamente l'unico responsabile di tutte le parti dell'impianto stesso.

Durante le prove dell'impianto può nascere la necessità di apportare all'impianto delle modifiche che possono essere temporanee o permanenti. Una modifica temporanea è una modifica non permanente, controllata, apportata a componenti permanenti di impianto, sistemi o strutture e necessaria per facilitare alcuni aspetti del programma di installazione, test o avviamento. Una modifica permanente è una modifica definitiva, controllata, apportata a componenti di impianto od a sistemi, necessaria per permettere un andamento corretto e sicuro dell'impianto nel suo insieme.

Infine, le attività finali consistono nella emissione dei disegni as-built, nella consegna della documentazione e nella smobilitazione delle imprese e del costruttore principale in accordo con le clausole contrattuali. L'elaborazione as-built consiste nella emissione dei disegni e dei documenti che rappresentano l'impianto e tutte le sue parti nella forma esatta nella quale sono stati realizzati, comprendendo perciò tutte le modifiche fino al momento del test run.

In

Figura 12 sono riportate, sotto forma di diagramma di flusso, le principali attività e le relative sequenze delle fasi finali di realizzazione del magazzino automatizzato.

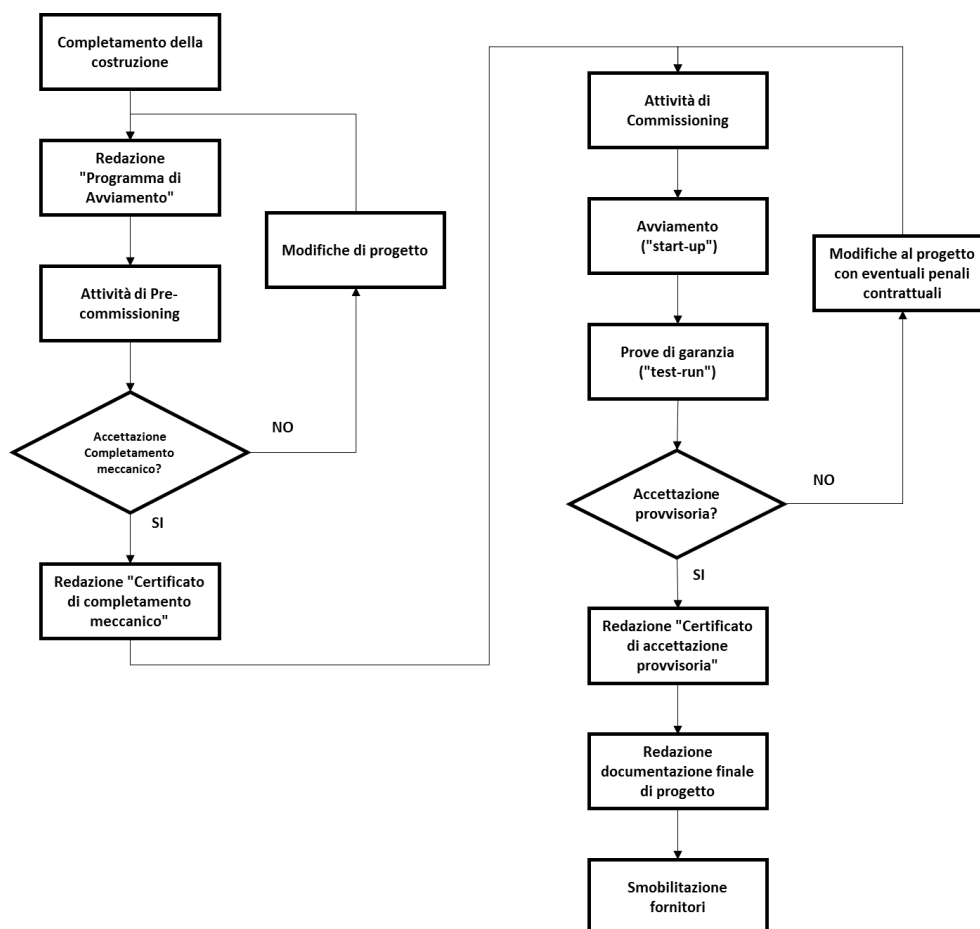


Figura 12 Diagramma di flusso delle fasi finali di realizzazione dell'impianto

5. I TRASLOELEVATORI

Giunti a questo punto, dopo aver descritto in maniera dettagliata le principali e maggiormente caratterizzanti fasi del processo di progettazione di un magazzino automatizzato, in questo capitolo viene svolta un'analisi più approfondita degli elementi che costituiscono la struttura, del funzionamento e delle modalità operative dei trasloelevatori. Tale analisi risulta essere funzionale e propedeutica per l'applicazione dello strumento della DMECA, la cui metodologia è presentata e descritta nel successivo Capitolo 6.

5.1 CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

I trasloelevatori (detti anche, più semplicemente, traslatori) rappresentano l'unico mezzo di trasporto atto a consentire la realizzazione di magazzini intensivi, aventi cioè altezze di immagazzinamento superiori a 12 m (Figura 13).

Un trasloelevatore (Figura 14) è essenzialmente costituito da un telaio scorrevole lungo una colonna verticale, di solito costruita in lamiera d'acciaio elettrosaldata che - a sua volta - può traslare lungo il corridoio delimitato lateralmente da due scaffalature: infatti, la colonna è fissata ad una trave inferiore supportata da due ruote portanti, una motrice e una condotta, costruite in acciaio speciale con superficie di rotolamento trattata termicamente oppure rivestita con materiale sintetico (per ridurre la rumorosità); tali ruote scorrono sopra una rotaia ancorata a pavimento. La rotaia di scorrimento dei trasloelevatori appoggia su piastre intervallate di 600-1000 mm l'una dall'altra (tale distanza dipende dal carico massimo trasmesso dalle ruote del traslatore e dal momento d'inerzia della rotaia); rotaia e piastre sono ancorate alla platea di fondazione mediante bulloni ad espansione o perni filettati bloccati mediante adesivo chimico; in alternativa, sono fissate - con bulloni regolabili - a contropiastre ancorate nella platea di fondazione mediante altri bulloni o perni oppure ad elementi di acciaio a loro volta inseriti nel pavimento. Per ottenere una perfetta orizzontalità del piano di scorrimento della rotaia, nel primo caso si inseriscono spessori in lamiera d'acciaio sotto le piastre di sostegno della rotaia stessa, mentre nel secondo caso si agisce sui dadi di regolazione.

Sulla trave di base del trasloelevatore sono inoltre installate ruote di contrasto laterale, che agiscono sui fianchi della rotaia di scorrimento. In alternativa alle ruote di contrasto, si prevedono ruote portanti dotate di bordini.

Superiormente alla colonna verticale (od alle due colonne), apposite ruote (rivestite in materiale sintetico e regolabili) mantengono la verticalità del traslatore scorrendo lungo un profilato d'acciaio fissato alla struttura portante della copertura del magazzino od alla controventatura degli scaffali.

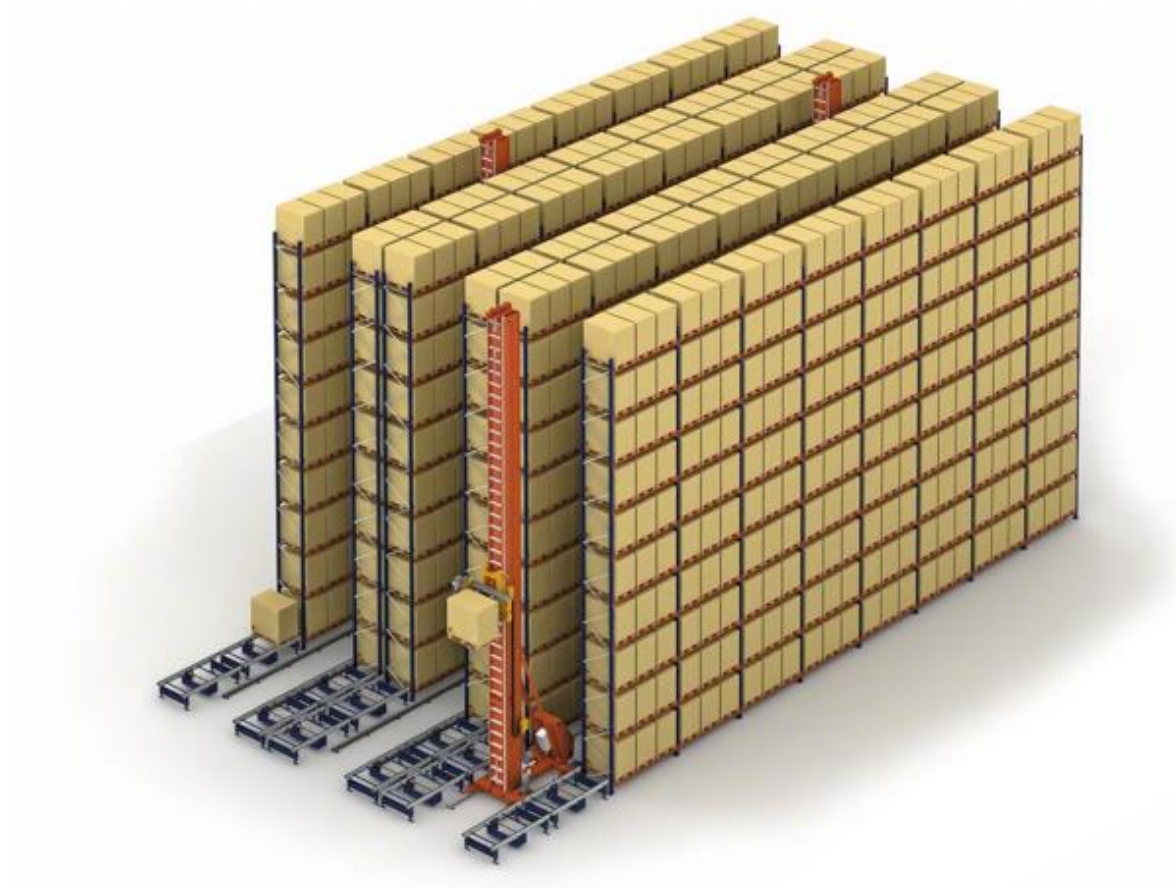


Figura 13 Trasloelevatore impiegato per la realizzazione di magazzini intensivi

(fonte www.mecalux.it)

Il telaio mobile di cui si è detto scorre lungo la colonna o le colonne dentro guide analoghe a quelle degli ascensori, grazie a catene o funi portanti collegate ad una estremità con tale telaio ed all'altra estremità con l'apparato motore: il rinvio è previsto sopra la trave superiore del traslatore ed è costituito da pignoni nel caso delle catene o da carrucole nel caso delle funi. Per ridurre lo sforzo di sollevamento nei sistemi a catene si ricorre all'impiego di contrappesi realizzati con elementi di acciaio elettrosaldati scorrevoli lungo la colonna o all'interno della stessa; la massa del

contrappeso è tale da bilanciare il peso totale del telaio mobile più metà del peso dell'unità di carico movimentata con il traslatore: in tal modo, il motore di sollevamento risulta impegnato in egual misura, sia quando il trasloelevatore trasporta il carico, sia quando si muove a vuoto.

La traslazione della macchina è affidata ad un motoriduttore, sovente dotato di motore alimentato a corrente continua e freno elettromagnetico, installato sulla trave di base, con controllo della velocità realizzato mediante dinamo tachimetrica. Il sollevamento del telaio mobile è assicurato da un gruppo motoriduttore, alimentato in corrente alternata o continua, installato sulla trave di base. Il suddetto telaio comprende:

- forche in acciaio ad alta resistenza, sfilabili, ovverosia telescopiche, sovente azionate da un sistema pignone-cremagliera e da un motoriduttore in corrente continua od alternata a doppia polarità; tali forche servono a movimentare le unità di carico all'interno del magazzino;
- cabina per il manovratore: questi, nei traslatori a guida manuale, è sempre a bordo, mentre quando il funzionamento è automatico, la cabina, ove prevista, è utilizzata solo nei casi di emergenza che richiedano il comando manuale (black-out del sistema gestionale, necessità di interventi manutentivi o su unità di carico fuori posto, ecc.);
- elementi di guida nel moto lungo la colonna o le colonne.

La struttura mobile, denominata piattaforma, può in sostanza compiere, contemporaneamente, due movimenti: uno orizzontale ed uno verticale, ai quali consegue un moto composto lungo un tragitto inclinato rispetto ai due movimenti di base. Ciò permette di raggiungere qualunque posizione rispetto alle scaffalature - entro le quali il trasloelevatore si muove - con un percorso di lunghezza minima; in quella posizione, il traslatore provvede a depositare oppure a prelevare l'unità di carico o il materiale, per il cui scopo ha intrapreso la missione.

Tutti i movimenti dei trasloelevatori possono essere gestiti da un sistema automatico centralizzato oppure affidati ad operatori a bordo macchina, ai quali vengono in qualche modo trasmesse, in formato elettronico o cartaceo, indicazioni sulle operazioni da eseguire.

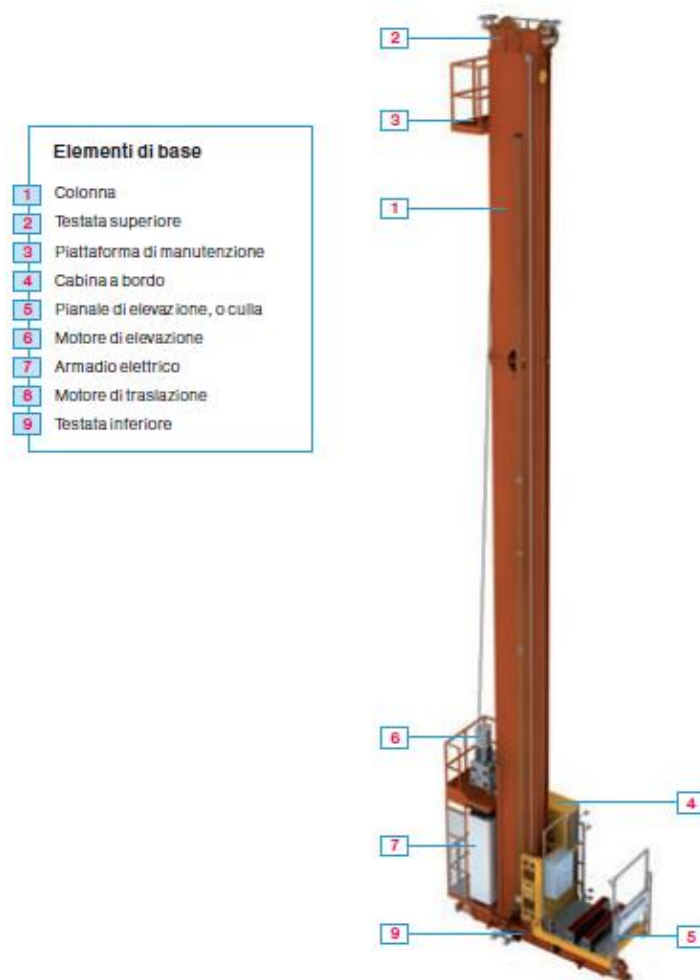


Figura 14 Trasloelevatore monocolonna, elementi principali

(fonte www.mecalux.it)

Nel primo caso, raggiunta la destinazione, la piastra porta-forche viene automaticamente a trovarsi di fronte al piano dello scaffale dal quale deve essere prelevata o nel quale deve essere depositata l'unità di carico prestabilita.

Nel caso di traslatori comandati - mediante manipolatori e tasti - dal manovratore in cabina, può verificarsi che, a seconda delle esigenze, l'operatore si vada a fermare di fronte al vano in cui si trova il materiale da prelevare (o da scaricare): è, quest'ultimo, il caso dei trasloelevatori utilizzati per effettuare prelievi parziali dalle unità di carico (*picking*) o rabbocchi delle stesse, senza spostarle dalla posizione in cui si trovano nel magazzino.

Si realizzano anche trasloelevatori dotati di:

- forche con bracci ad interasse variabile;

- forche a grande elongazione, ad esempio, per movimentare due o più unità di carico disposte nella direzione della profondità;
- due coppie di forche affiancate e tra loro indipendenti.

In tutti i casi, ma a maggior ragione quando le forche hanno lunghezze rilevanti, occorre considerare la freccia indotta dai carichi: infatti, quando questa supera i 10-20 mm, possono sorgere problemi per l'inserimento dei carichi nei vani degli scaffali, tali da richiedere luci maggiori tra i correnti, nonostante il preciso posizionamento del trasloelevatore.

Nei trasloelevatori automatici l'indirizzamento è ottenuto con dispositivi particolarmente precisi lungo gli assi x e y. Citiamo quelli più noti:

- *posizionamento lungo l'asse x*: un encoder di tipo assoluto od incrementale, installato sulla trave di base, funziona praticamente come un contagiri ed invia impulsi elettrici ad un'apparecchiatura di controllo dei cicli operativi dei traslatori;
- *posizionamento lungo l'asse y*: un encoder di tipo assoluto od incrementale, installato sul telaio mobile del traslatore, rileva - grazie a dispositivi meccanici - il movimento relativo di tale struttura rispetto alla colonna.

Un'altra modalità di indirizzamento dei traslatori prevede il rilevamento della loro posizione, prescindendo dalla geometria dello scaffale; ciò si può ottenere mediante un *sistema telemetrico* di tipo *ottico* per la lettura della posizione lungo l'asse x.

Il sistema telemetrico misura con precisione millimetrica la distanza fra un punto fisso a terra (previsto in corrispondenza di una estremità della corsia) e un catarifrangente montato sul traslatore. Quest'ultimo riflette il raggio di luce infrarossa proveniente dal trasloelevatore: in base al tempo impiegato dal raggio riflesso a ritornare sul sistema di bordo, viene determinata in tempo reale la posizione del traslatore. Alle posizioni corrispondenti ai punti di lavoro (inserimento delle forche) viene assegnato il codice software di "posizione operativa".

Il sistema telemetrico può anche essere adottato per la lettura della posizione lungo l'asse y, in alternativa all'impiego dell'encoder di tipo assoluto o incrementale: in tale caso, il gruppo ottico ed il misuratore di distanza elettronico sono installati alla base del traslatore, mentre il prisma per la riflessione del raggio luminoso si trova sulla piattaforma mobile.

Il posizionamento dei trasloelevatori lungo gli assi x e y può attenersi anche mediante *codificazione* in valore assoluto delle due coordinate: il trasloelevatore riconosce lungo il percorso opportuni codici binari disposti in successione, in base ai quali si posiziona

in corrispondenza degli assi del predestinato vano di scaffale; tali codici sono costituiti da dispositivi magnetici, catarifrangenti o lamelle metalliche, installati su un apposito profilato metallico, denominato correntemente barra portacodici.

Oltre ai movimenti longitudinali del trasloelevatore (lungo l'asse x) e verticale del telaio mobile (lungo l'asse y), è ancora da tenere presente il movimento trasversale delle forche telescopiche (lungo l'asse z) per introdurre il carico trasportato nello scaffale o per prelevarlo. Mentre i movimenti lungo gli assi x e y possono avere luogo contemporaneamente, quello sull'asse z ha luogo solo a macchina ferma e correttamente posizionata rispetto al vano dello scaffale od al punto di scarico/prelievo delle unità di carico in corrispondenza delle testate degli scaffali. Ove risulti necessario un posizionamento molto preciso del traslatore rispetto al vano di accesso (ad esempio, per sopperire ad imperfezioni costruttive degli scaffali), si prevedono apposite fotocellule od altri sensori.

La posizione delle forche, durante la loro corsa, può essere rilevata mediante encoder od sensori di prossimità disposti in posizioni significative.

L'alimentazione elettrica all'apparecchiatura di bordo è di solito affidata ad una blindosbarra, tramite la quale sono anche effettuati i controlli di inserito e di emergenza della macchina. In alcuni casi, anziché ai blindo, si ricorre ancora ai cavi multipolari a festoni, sorretti da carrelli.

La trasmissione dei dati ha luogo tramite blindosbarre, cavi a festone, dispositivi magnetici od ottici, raggi infrarossi oppure mediante onde convogliate o stazioni di accoppiamento predisposte presso una testata della corsia di traslazione.

La configurazione di un sistema per l'interscambio ottico dei dati tra trasloelevatore e impianto a terra è così progettata: quest'ultimo è dotato di due fotocellule (emettitore + ricevitore), mentre altre due fotocellule (ricevente ed emittente) sono installate sul traslatore.

Le trasmissioni e le ricezioni dei dati possono avvenire in qualsiasi punto della corsia, fino a 200 m di distanza, anche con traslatore in movimento.

Blindosbarre e rotaie porta-codici sono normalmente installate a pavimento, lungo uno dei due fronti degli scaffali, sopra appositi supporti distanti l'uno dall'altro non più di 2000 mm; in alternativa, possono essere fissati al tratto inferiore dei montanti degli scaffali.

L'alimentazione elettrica della struttura mobile e la trasmissione dei comandi sono affidate ad un cavo guidato da un carrellino che scorre su una guida fissata alla

colonna del traslatore ed avvolto su un rullo tendicavo oppure tramite un cavo sopportato da apposite catene.

Gli impianti elettrici dei trasloelevatori devono essere realizzati in conformità alla vigente normativa ed in particolare alle norme C.E.I. ed antincendio. Il grado di protezione prescritto dipende dal materiale immagazzinato e dal contesto dell'applicazione. I motori dovrebbero essere dimensionati con un margine del 25% sulla potenza calcolata.

Riassumendo, i principali componenti dei trasloelevatori sono:

- il montante o i due montanti, costituenti la struttura portante, unitamente alle travi di base (con le ruote di scorrimento) e superiore (con le ruote di contrasto);
- il telaio mobile comprendente il dispositivo per il prelievo ed il deposito dei carichi (sovente si tratta di una piastra porta-forche di tipo telescopico);
- la cabina per il manovratore o per le operazioni in condizioni di emergenza (nel caso dei traslatori automatici che ne sono dotati);
- il sistema di automazione e di coordinamento dei cicli operativi;
- la linea elettrica di alimentazione, normalmente costituita da blindosbarra.

La tabella seguente riporta, a titolo indicativo, le principali prestazioni dei trasloelevatori.

Parametri	Monocolonna		Bicolonna
Portata, <i>kg</i>	10 - 500	500 - 2000	2000 - 5000
Altezza massima, <i>m</i>	20	50	50
Larghezza corridoio, <i>mm</i>	800 - 1200	1000 - 1800	1600 - 2000
Velocità massime, <i>m/s</i> :			
- asse x	2.6	2.6	2.5
- asse y	0.7	0.7	0.5
- asse z	0.6	0.6	0.4

Tabella 5 Principali prestazioni dei trasloelevatori

Le prestazioni tipiche dei trasloelevatori in termini di velocità, accelerazioni e tempi di posizionamento sono molto variabili per le diverse case costruttrici e per i diversi modelli.

Il loro impiego presenta, in sintesi, i seguenti vantaggi:

- possibilità di sviluppare il magazzino ad altezze maggiori di quelle raggiungibili impiegando altri mezzi di movimentazione, con conseguenti minori occupazioni di aree;
- rapidità di movimentazione dei materiali immagazzinati;
- facilità di attuazione dei criteri FIFO e LIFO e di automatizzazione della gestione del magazzino.

5.2 SISTEMA DI GESTIONE E CONTROLLO

Il sistema di gestione e controllo della movimentazione dei trasloelevatori automatici comprende:

- un elaboratore dedicato (un server);
- un'eventuale apparecchiatura centralizzata di supervisione (ad esempio un PLC - *Programmable Logic Controller*) che presiede anche al controllo di altre parti automatizzate del magazzino, quali trasportatori di ingresso ed uscita dei materiali, bypass, picking, ecc.;
- un PLC per ogni traslatore, ubicato di solito in corrispondenza di una testata del magazzino e sotteso al supervisore e/o al calcolatore dedicato di cui sopra;
- un PLC a bordo macchina che riceve le istruzioni relative alle operazioni che il traslatore deve effettuare.

La suddetta automazione consente tutte o parte delle seguenti attività:

- ottimizzazione delle missioni dei trasloelevatori;
- ricerca automatica della postazione da raggiungere nel magazzino;
- riconoscimento del materiale mediante lettura di codici a barre o codici magnetici applicati alle unità di carico;
- posizionamento orizzontale e verticale;
- deposito e prelievo dei carichi;

- visualizzazione ed eventuale stampa della mappa del magazzino, con posizioni e giacenze delle singole voci stoccate, operazioni eseguite, data della messa in magazzino, ecc.: è così possibile soddisfare automaticamente criteri di ottimizzazione, FIFO, LIFO ed altri;
- utilizzo ottimale degli scaffali, sia destinando il materiale in arrivo al posto più conveniente, sia svincolando l'immagazzinamento dal concetto informatore del passato che vedeva preferenzialmente "ogni articolo sempre stoccato nello stesso posto";
- stampa di bolle di accompagnamento, fatture, ordini ai fornitori, ecc.;
- sicurezze;
- diagnostica dell'impianto, visualizzando e/o stampando le anomalie verificatesi durante il funzionamento dell'impianto stesso;
- visualizzazione su video terminale, dello stato dell'impianto e della posizione delle unità di carico in fase di trasporto.

5.3 L'IMPIEGO DEI TRASLOELEVATORI PER IL PICKING

I trasloelevatori impiegati nelle attività di un magazzino automatizzato consentono di svolgere le attività di *picking*, ovvero quelle attività di frazionamento o prelievo parziale di materiale da un'unità di carico originale ad altre unità di carico.

Le principali modalità di arrivo e di partenza dei materiali rispetto al magazzino in cui gli stessi sono depositati possono essere riassunte nei seguenti casi:

- a) al magazzino pervengono unità di carico intere, che rimangono tali sia durante il tempo dello stoccaggio, sia per la spedizione;
- b) i materiali arrivano sotto forma di unità di carico (o sono confezionati come tali subito prima del loro stoccaggio), ma all'atto dell'uscita dal magazzino, vengono - anche solo in parte - prelevati secondo sottomultipli di ciascuna unità: in altre parole, le unità di carico sono sottoposte all'operazione di picking;
- c) i materiali arrivano "sciolti", vale a dire non raccolti in unità di carico, e vengono spediti sotto forma di unità di carico (contenitori, palette, scatole di imballo, ecc.);
- d) i materiali arrivano e partono non confezionati in unità di carico, ma "sciolti".

Abbiamo fin qui parlato genericamente di materiali; essi possono essere suddivisi in componenti o raggruppati in colli, ma in tutti i casi, ci si riferisce alle confezioni sotto cui si presentano in pratica i prodotti industriali, confezioni a loro volta diverse da un articolo all'altro.

La modalità di movimentazione a) consente di prevedere le soluzioni più razionali e convenienti.

Sovente, però, ci si trova di fronte alla modalità b) ed i contenitori o le unità di carico devono essere sottoposti a prelievi parziali in vista della preparazione di ordini o commesse di spedizione: si pensi ad un magazzino cui pervengono richieste di singoli componenti o comunque di quantitativi di materiali inferiori a quelli contenuti nelle unità di carico; in tali casi, occorre effettuare dei prelievi parziali ovvero sia eseguire il picking dalle unità di carico interessate.

Il caso c), in genere, si presenta nell'ambito dei magazzini solo come modalità di reintegrazione dei materiali nei contenitori o nei vani degli scaffali dai quali si sono preventivamente effettuati dei prelievi parziali: diversamente, i singoli colli verrebbero composti sotto forma di unità di carico prima di entrare nel magazzino vero e proprio. A sua volta, il caso d) prevede la movimentazione di materiali o colli singoli sia per la loro reintegrazione nei vani degli scaffali o nei contenitori sia per i successivi prelievi dagli stessi vani o contenitori.

Di seguito, ci soffermeremo sulla modalità di movimentazione b), dal momento che le relative indicazioni possono essere facilmente estese anche alle modalità c) e d). Inoltre, faremo riferimento all'immagazzinamento basato sull'utilizzo di scaffali tanto per lo stoccaggio di unità di carico quanto per contenere colli singoli (vale a dire non sotto forma di unità di carico).

L'impiego di trasloelevatori con manovratore a bordo consente di effettuare il picking dei materiali direttamente dagli scaffali; anche il successivo reintegro dei materiali prelevati può essere eseguito tramite tali trasloelevatori: il "commissionamento" affidato ai traslatori viene ovviamente organizzato, ove possibile, in modo da ottimizzare i cicli operativi.

Pur avendo registrato una notevole diffusione, consideriamo l'impiego dei trasloelevatori a comando manuale non valido - dal punto di vista ergonomico - allorché costringe l'operatore, per molte ore al giorno, tra due "pareti", ossia tra le scaffalature che contengono i materiali da movimentare. In altre parole, si ritiene che un lavoro prolungato dell'operatore dentro una cabina che si muove fra due alti scaffali

risulti assai opprimente ed usurante. È per questo motivo che, quando si devono effettuare operazioni di picking, si preferisce ricorrere a trasloelevatori automatici (dunque, senza uomo a bordo) e prevedere una delle seguenti soluzioni alternative:

i) installare un manipolatore od un robot a bordo del traslatore, atto ad effettuare il prelievo ed eventualmente anche il reintegro dei materiali immagazzinati: questa soluzione presenta difficoltà di realizzazione decrescenti ed assicura un funzionamento tanto più affidabile quanto meno si discostano fra di loro le dimensioni ed i pesi dei colli appartenenti ai vari articoli;

ii) movimentare in automatico le unità di carico all'interno delle scaffalature ed effettuare il picking al di fuori delle stesse, sopra trasportatori a rulli, a catene, ecc.

I contenitori o le unità di carico vengono portati da trasloelevatori automatici presso la testata degli scaffali, dove sono previste le postazioni di picking; dopo il prelievo dei colli richiesti da una o più ordinazioni, le suddette unità di carico sono riportate - ancora mediante i traslatori automatici - dentro gli scaffali; ove necessario, le stesse, prima di essere riprese dai trasloelevatori, sono sottoposte ad un controllo di peso e sagoma. Tutte le operazioni sono ovviamente sottese ad un sistema gestionale, che ottimizza i percorsi dei trasloelevatori e fornisce all'addetto al picking - mediante display o videoterminale - le indicazioni sui prelievi da effettuare. Quando un contenitore è esaurito, si provvede ad alimentare il magazzino con un altro pieno: lo stoccaggio dei contenitori pieni è affidato allo stesso trasloelevatore che provvede alle estrazioni per il picking, e può essere alimentato dalla stessa testata presso la quale si effettua il picking oppure dalla testata opposta.

Ancora con riferimento a traslatori automatici utilizzabili per alimentare stazioni di picking, rileviamo che è possibile movimentare non solo unità di carico "forcolabili", ma anche contenitori aventi forma di cassette e dimensioni le più diverse. In altre parole, i contenitori movimentabili con i traslatori possono essere - all'occorrenza - di piccole dimensioni ed avere forme adeguate al tipo di impiego cui sono destinate. Per movimentare tali contenitori, il telaio mobile dei trasloelevatori deve essere dotato - in sostituzione delle forche - di mezzi adatti al prelievo ed al successivo reinserimento degli stessi nello scaffale.

Le stazioni di picking possono anche essere previste in aree distanti dal magazzino vero e proprio: in tale caso, il trasferimento dei contenitori dalla testata degli scaffali alle stazioni di picking è affidato a trasportatori a rulli, catene o tapparelle; al rientro nel

magazzino, i contenitori vengono automaticamente identificati e riportati nelle rispettive allocazioni.

La gestione automatica del sistema "magazzino-prelievo e reintroduzione dei contenitori-picking", è normalmente configurata come già indicato nel capitolo 6.2.

Peraltro, quando l'impianto è prevalentemente destinato alle operazioni di picking, la richiesta delle unità di carico occorrenti alla stazione di prelievo manuale può essere digitata da una tastiera locale oppure provenire dal calcolatore dedicato.

5.4 ULTERIORI ASPETTI SIGNIFICATIVI

Relativamente all'alimentazione ed al carico dei trasloelevatori occorre precisare che le unità di carico destinate all'immagazzinamento devono essere dotate di un documento di identificazione (ad esempio, una etichetta od un codice a barre); la lettura delle informazioni relative (codice od articolo, quantità, peso, volume, ecc.) è affidata o ad un operatore, che digita i dati e li trasmette al sistema gestionale, o ad un lettore collegato ad un elaboratore, che provvede alla identificazione ed alla trasmissione dei dati in automatico. Oltre alla identificazione, viene sempre effettuato il "controllo sagoma", al fine di verificare che le dimensioni "fuori tutto" dell'unità di carico (e le eventuali deformazioni delle palette, allorquando l'unità di carico prevede il loro impiego) rispettino determinati valori massimi prestabiliti: infatti, solo se sono soddisfatte tali tolleranze, le unità di carico potranno essere introdotte nei vani predisposti a magazzino. Sovente si prevede anche il controllo del peso delle unità di carico in arrivo al magazzino.

In caso di anomalie (etichetta illeggibile, dimensioni o pesi inaccettabili), l'unità di carico viene smistata su un binario di by-pass solitamente denominato "*not ok*": qui si effettuano le operazioni necessarie per renderla adatta all'immissione nel magazzino oppure se ne constata l'inadeguatezza e quindi la si allontana.

Un ulteriore aspetto da sottolineare è quello relativo alla valutazione dei tempi operativi dei trasloelevatori. Innanzitutto si deve precisare che il dimensionamento dei magazzini intensivi che prevedono l'impiego di trasloelevatori a comando automatico e la movimentazione dei materiali sotto forma di unità di carico, è facilitato da alcune

regole precisate nella norma *FEM (Fédération Européenne de la Manutention)* n. 9851. Tali regole consentono di calcolare il tempo che un traslatore impiega mediamente per depositare negli scaffali e per portare fuori dagli stessi una unità di carico. È ovvio che il tempo suddetto dipende dai seguenti parametri: configurazione degli scaffali serviti dal traslatore (altezza e lunghezza); prestazioni che quest'ultimo è in grado di fornire (velocità, accelerazioni, tempi di centraggio e di inserimento e sfilamento delle forche); posizioni di partenza e di arrivo del trasloelevatore, successione delle operazioni da eseguire. Le regole FEM consentono di valutare il tempo medio necessario per compiere i cicli di lavoro che possono essere richiesti ad un traslatore. Nella valutazione dei tempi di trasferimento tra le diverse posizioni occorre considerare anche i transitori d'accelerazione e decelerazione, che spesso per semplicità vengono conglobati nei tempi fissi relativi al posizionamento, controllo e ciclo forche da effettuare presso tutte le posizioni.

Infine da quanto detto sopra, risulta evidente che, a parità di potenzialità ricettiva richiesta ad un magazzino automatizzato, la soluzione ottimale di quest'ultimo dipende dai seguenti parametri:

- prestazioni che i trasloelevatori sono in grado di fornire (velocità ed accelerazioni sui movimenti lungo gli assi x, y, z);
- lunghezza ed altezza degli scaffali;
- mix di cicli semplici e combinati da effettuare.

In pratica, le prestazioni delle macchine sono un dato del problema, mentre la ripartizione percentuale fra cicli singoli e combinati può essere orientata verso il maggior numero possibile di cicli combinati attraverso una razionale organizzazione del magazzino stesso e delle missioni di prelievo/deposito; organizzazione che coinvolge:

- a) le linee di movimentazione ed accumulo delle unità di carico destinate al magazzino ed in uscita dallo stesso;
- b) i criteri di allocazione dei materiali nelle scaffalature (illustrati nel capitolo 5.4);
- c) il sistema automatico di gestione e controllo dell'intero impianto di magazzino.

Si tratta allora di individuare, fra tutte le possibili configurazioni degli scaffali, quella che richiede il numero minimo di trasloelevatori, il cui rendimento non deve peraltro superare determinati valori di affidabilità.

L'integrazione ottimale fra le dimensioni degli scaffali e le prestazioni dei trasloelevatori si può ottenere mediante modelli analitici e modelli di simulazione dinamica, basati generalmente sulle seguenti assunzioni:

- lunghezza ed altezza della scaffalatura,
- numero di vani disponibili,
- dimensione dei vani,
- velocità, a regime, di traslazione orizzontale e verticale del trasloelevatore,
- accelerazioni e decelerazioni della macchina,
- velocità di posizionamento.

Attraverso ripetute simulazioni che considerino variazioni realistiche delle dimensioni degli scaffali e del mix di cicli semplici e combinati, i suddetti modelli permettono di individuare le configurazioni di magazzino cui corrisponde - a parità di ricettività delle scaffalature - la massima potenzialità di movimentazione.

Si deve però tenere presente che le dimensioni delle scaffalature non sono solo sottese all'esigenza di massimizzare la potenzialità di movimentazione dei trasloelevatori, ma anche ad altri vincoli, fra i quali citiamo:

- gli aspetti statico-costruttivi;
- il costo, che varia con il peso e le dimensioni delle unità di carico, nonché con l'altezza degli scaffali stessi;
- i vincoli plano-volumetrici eventualmente imposti dall'autorità pubblica;
- la disponibilità di area fabbricabile.

6. DMECA

La precedente descrizione degli elementi che costituiscono la struttura, del funzionamento e delle modalità operative dei trasloelevatori risulta essere propedeutica per l'applicazione della metodologia DMECA (*Dysfunction Mode and Effects Critical Analysis*), descritta nel dettaglio in questo Capitolo, ad un processo operativo proprio del trasloelevatore. L'applicazione di questo strumento fornisce supporto al team di progetto, assicurando una conoscenza più approfondita della fasi di operatività di un trasloelevatore all'interno dell'impianto automatizzato, in modo tale che il team sia in grado di portare avanti un'efficace progettazione secondo il modello progettuale descritto in precedenza.

La metodologia DMECA deriva concettualmente dalla tecnica FMECA, pertanto è opportuno partire da una breve descrizione di questa tecnica.

6.1 CENNI SULLA FMECA

L'analisi dei modi di guasto, degli effetti e delle criticità, conosciuta con l'acronimo *FMECA* (*Failure mode effects and criticality analysis*), rappresenta una metodologia di analisi affidabilistica di tipo *bottom-up*, di solito utilizzata come strumento per la gestione delle attività di manutenzione, volta ad evidenziare ed analizzare, sia durante la fase di progettazione di un sistema, sia nel suo periodo di esercizio, tutti i possibili modi di guasto, tanto a livello di singolo componente che, più in generale, di una macchina o di un intero impianto. Questo perché un guasto si concretizza sempre all'atto della realizzazione di un prodotto o di un processo, ma è potenzialmente generato durante la fase progettuale.

La metodologia pone le sue fondamenta sul principio secondo il quale i guasti più ricorrenti in un sistema complesso riguardano un numero piuttosto limitato di componenti: alcune analisi statistiche evidenziano che, in genere, non più del 5% dei componenti di un sistema è interessato con continuità da attività manutentive. Risulta perciò conveniente, al fine di non disperdere troppo le risorse disponibili, riuscire ad isolarli e concentrare su di essi gli sforzi tesi a prevenire possibili disfunzioni.

Storicamente la FMECA è nata e si è sviluppata negli Stati Uniti nel corso dei primi anni '60, utilizzata dalla NASA durante lo sviluppo del 'Progetto Apollo'. Solo

successivamente è stata introdotta in campo automobilistico e Ford Motor Company ne ha migliorato e potenziato alcuni aspetti, definendo, di fatto lo standard attuale.

Il concetto basilare è quello di poter quantificare in modo preciso alcuni parametri caratteristici ed importanti: questi ultimi, opportunamente combinati, consentono di identificare quegli elementi che sono critici o comunque a rischio elevato, in modo da poter definire delle priorità di intervento. Un'analisi dettagliata dei risultati ha permesso di verificare che un'applicazione sistematica della metodologia può consentire l'individuazione di un numero di modi di guasto variabile da un minimo del 50% fino all'80% ed oltre, risultando perciò molto efficace.

Un beneficio collaterale molto importante è, inoltre, quello di permettere la creazione di un database continuamente aggiornato dei componenti e delle apparecchiature, rendendo più semplice e più efficiente ogni successivo step dell'analisi.

L'approccio migliore per ottenere risultati più significativi è quello di applicare la FMECA secondo la filosofia propria del *Total Quality Management* (TQM) e del miglioramento continuo: in definitiva si tratta di operare ciclicamente seguendo la metodologia del PDCA, in modo che la procedura diventi un processo da condurre lungo tutto il ciclo di sviluppo, e non rimanga, invece, un compito isolato da svolgere dopo che sia conclusa la fase progettuale.

In questo modo si procede sistematicamente, seguendo un percorso preciso, teso ad anticipare le anomalie di un processo mediante l'individuazione delle potenziali criticità: per prima cosa si pianifica un'analisi approfondita e la si applica; in seguito si controllano i risultati ottenuti e si interviene sui punti critici evidenziati per eliminare i problemi all'origine. Infine si pianifica un nuovo ciclo di analisi che evolve naturalmente a partire dai risultati ottenuti. Appare evidente come il sistema rappresenti un controllo in retroazione (*Closed Loop Control*), in cui l'errore misurato in output è utilizzato come riferimento per intervenire sugli ingressi.

In particolare dunque l'esecuzione della FMECA prevede che ogni parte del prodotto venga accuratamente analizzata considerando i suoi modi di guasto più probabili, la frequenza con cui si verificheranno tali guasti ed i relativi effetti funzionali e sull'ambiente circostante. Perciò per poterla impiegare correttamente occorre un'ottima conoscenza del prodotto e delle sue funzioni. L'aggiunta di un'analisi di criticità permette di quantificare e classificare gli effetti di ciascun modo di guasto in base ad un indice di criticità.

6.2 METODOLOGIA DMECA

Con l'acronimo DMECA (*Dysfunction Mode and Effects Critical Analysis*) si identifica uno strumento di analisi, anch'esso di tipo *bottom-up*, atto ad evidenziare ed analizzare, sia durante la fase di progettazione, sia nel suo periodo di esercizio, possibili malfunzionamenti e/o non conformità in un determinato processo aziendale. L'approccio migliore per ottenere risultati più significativi è quello di applicare la DMECA secondo la filosofia propria del *Total Quality Management* (TQM) e del miglioramento continuo: si tratta di operare ciclicamente seguendo la metodologia del PDCA, in modo che la procedura diventi un processo da condurre lungo tutto il ciclo di sviluppo, e non rimanga, invece, un compito isolato da svolgere dopo che sia conclusa la fase progettuale.

Questo approccio deriva concettualmente dalla tecnica FMECA descritta in precedenza, con la differenza che esso deve essere applicato ad un processo e non ad un prodotto/componente; tale approccio fornisce, quindi, la possibilità di procedere sistematicamente, seguendo un percorso preciso, teso ad anticipare le anomalie e le non conformità di un processo mediante l'individuazione delle potenziali criticità: per prima cosa si pianifica un'analisi approfondita e la si applica, in seguito si controllano i risultati ottenuti e si interviene sui punti critici evidenziati per eliminare i problemi all'origine.

In letteratura non era, in precedenza, presente un unico strumento in grado di riassumere un approccio sistematico e logico che consentisse di:

- i) descrivere ed analizzare i vari processi aziendali,
- ii) scegliere le opportune azioni di miglioramento.

Per raggiungere questi due obiettivi, in letteratura, vengono utilizzate due principali classi di metodologie: la prima è una tecnica che consente di rappresentare i processi sulla base di un metodo grafico, come ad esempio la metodologia *IDEF 0*. Questa tecnica può individuare la correlazione tra le attività e definire i rapporti "padre-figlio" tra i processi, ma non può valutare le criticità di possibili malfunzionamenti, né consentire la definizione di criteri, o la definizione di priorità, per le azioni di miglioramento.

Il secondo tipo di approccio è rappresentato dalle tecniche di *problem solving*, che sono generalmente in grado di definire le priorità ed i criteri delle azioni di miglioramento attraverso l'adozione di approcci strutturati costituiti, per esempio, da

sessioni di brainstorming, metodi di supporto alle decisioni, matrici di correlazione o diagrammi di flusso. Purtroppo, questi non permettono la correlazione dei risultati ottenuti dalle azioni di miglioramento e la valutazione del loro impatto sugli altri processi aziendali.

Quindi, non esistono metodi adeguati per supportare la descrizione e l'analisi dei processi e, contemporaneamente, in grado di indagare i malfunzionamenti, il loro impatto sull'efficienza dei processi ed anche la definizione di azioni di miglioramento. Lo strumento DMECA può essere in grado di colmare questa lacuna.

In definitiva questa metodologia è stata sviluppata per consentire l'analisi di processo attraverso un approccio che si basa e prende origine dalla tecnica FMECA.

6.2.1 DMECA in atto

La DMECA permette di indagare sistemi anche molto complessi in virtù del suo tipico approccio funzionale. Infatti, il primo passo per operare l'analisi di un processo, consiste nel decomporre quest'ultimo in ogni sua attività, fino al livello di profondità e di dettaglio desiderati. Tale *analisi funzionale* dipende da una serie di fattori concorrenti quali l'accuratezza della scomposizione, il tempo a disposizione per effettuare lo studio e le risorse economico-finanziarie disponibili. Quest'ultimo aspetto è un fattore particolarmente vincolante, in quanto è necessario calcolare a priori il guadagno ottenibile, soprattutto in termini di affidabilità del processo stesso, rispetto ai costi aggiuntivi di un'analisi molto dettagliata. Conseguentemente, uno stesso processo, o una sua parte, può essere analizzato a diversi livelli e diversi gradi di dettaglio, secondo le esigenze del momento. Di solito è prassi consolidata procedere ad una scomposizione ad un livello più superficiale e generale, per approfondire, in seguito l'indagine laddove sia ritenuto necessario od opportuno.

L'output della scomposizione funzionale è un diagramma ad albero che mostra come il processo sia suddiviso nei suoi vari sottoprocessi e nelle sue varie fasi ed attività.

Ottenuta in questo modo una struttura arboriforme, più o meno dettagliata, si passa ad effettuare l'*analisi di criticità* vera e propria. Questa consiste nel determinare, per ogni singola fase del processo, tutti i possibili malfunzionamenti di un'attività, unitamente agli effetti ad essa imputabili e che si ripercuoteranno sull'intero processo.

Tenendo presente che per "*malfunzionamento*" si intende l'attitudine di un'entità ad eseguire in maniera non conforme le funzioni richieste, possiamo convenire che esso rappresenti un evento che determina la non conformità della fase di processo od,

eventualmente, dell'intero processo in esame. Inoltre, ogni malfunzionamento riveste un'importanza diversa, perché i suoi effetti possono essere più o meno marcati sul processo nella sua interezza. Per questo motivo appare essenziale correlare all'evento "malfunzionamento" uno o più parametri capaci di rappresentarne quantitativamente il peso, affinché sia possibile costruire una lista delle priorità che diventi strumento di verifica e punto di partenza per ogni successivo ciclo di miglioramento. Infatti, in una DMECA ben condotta, uno degli aspetti più importanti risiede proprio nella definizione delle *priorità di intervento*, atta ad evidenziare le non conformità più significative per correggerle e scongiurarne gli effetti. Se classificassimo i malfunzionamenti per ordine del loro indice di criticità, cioè in funzione del parametro correlato alla loro importanza, e li cumulassimo, otterremmo una curva di Pareto in cui potremmo evidenziare poche cause di malfunzionamento critiche per il sistema, alcune di una certa importanza e, infine, molte di scarsa significatività. Allora, fissato un *valore di soglia* per il parametro utilizzato, in funzione delle esigenze specifiche del caso, potremmo isolare quei malfunzionamenti su cui intervenire subito con azioni correttive, tese ad eliminare il problema prima che possa presentarsi.

Applicando questo procedimento, descritto schematicamente tramite il diagramma di flusso di Figura 15, in modo sistematico e regolare, potremmo, in definitiva, tendere all'attuazione di quel *miglioramento continuo* che è punto focale di tutti i sistemi orientati all'attuazione del PDCA. Contemporaneamente, la metodologia potrebbe definire una serie di attività che complementano ogni passo del ciclo di sviluppo, aggiungendo valore e non limitandosi a fornire una semplice check-list per verificare quanto realizzato. Sostanzialmente si tratta di reiterare ed espandere l'analisi ad ogni step successivo, non appena nuovi dettagli divengono disponibili e fino a quando tutti gli elementi sono completamente definiti, analizzati e documentati.

6.2.2 Scomposizione funzionale e analisi di criticità

L'attività di analisi funzionale di un processo, sia esso produttivo, di supporto, organizzativo o di sviluppo, parte generalmente dalla definizione dei limiti fisici e funzionali dello stesso. In pratica, questo si traduce in un'elencazione delle fasi di processo, con la descrizione di tutte le attività, siano esse operative, di controllo, di movimento o di stoccaggio, delle performances e delle limitazioni prescritte, con la costruzione di modelli matematici, logici o fisici, atti a riprodurre tutte le relazioni funzionali fra le diverse fasi.

Come già in precedenza evidenziato, il livello di scomposizione funzionale è una variabile dipendente da un notevole numero di fattori e quindi dovrà essere l'esperienza del responsabile dell'analisi decidere quale precisione raggiungere.

La struttura arboriforme derivante dal processo di scomposizione funzionale può essere rappresentata sotto forma di diagramma a blocchi, in quanto tale rappresentazione visuale rende più semplice l'individuazione dei legami tra le varie fasi e tra i malfunzionamenti e le attività cui essi fanno riferimento. L'obiettivo è quello di ottenere una struttura completa ed omogenea, in cui ogni nodo sia caratterizzato da dati ed informazioni pertinenti ed esaustive.

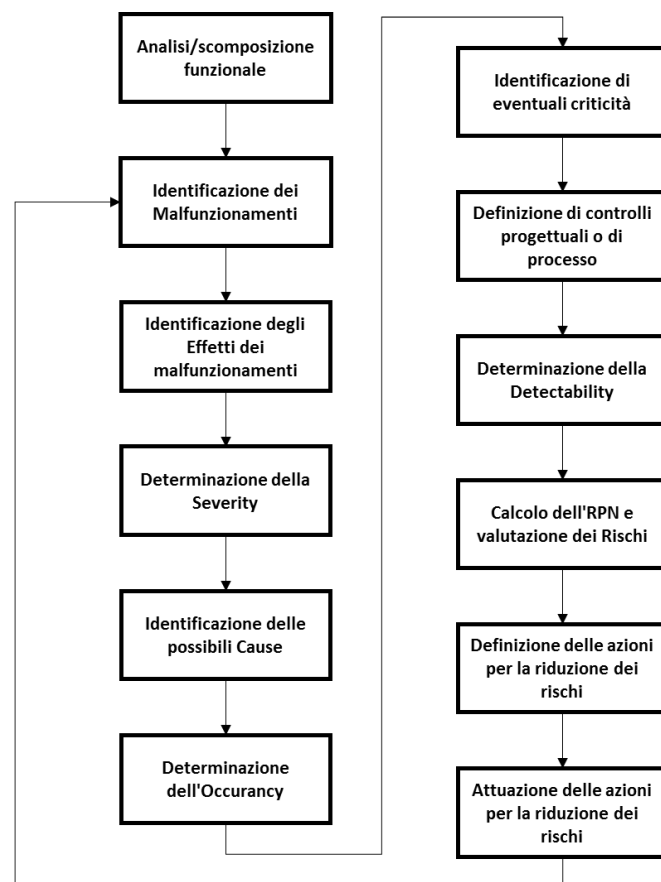


Figura 15 Diagramma di flusso delle fasi di attuazione della DMECA

Inizialmente si è detto che la metodologia DMECA è un'analisi di tipo bottom-up: in effetti, al termine dell'analisi funzionale dovremmo essere in grado di esaminare direttamente i malfunzionamenti ai livelli più bassi, considerando gli effetti sul livello immediatamente precedente, quasi in un processo ricorsivo fino al nodo iniziale. In

pratica, l'effetto del malfunzionamento si ripercuote a cascata su tutti i livelli a monte e, di conseguenza, l'analisi non può che procedere a ritroso fino a riguardare il processo nel suo complesso.

Il procedimento si svolge perciò secondo una sequenza logica ben chiara, la quale, prendendo spunto dalla metodologia FMECA, può essere definita come *flusso logico della catena causale* (Figura 16).

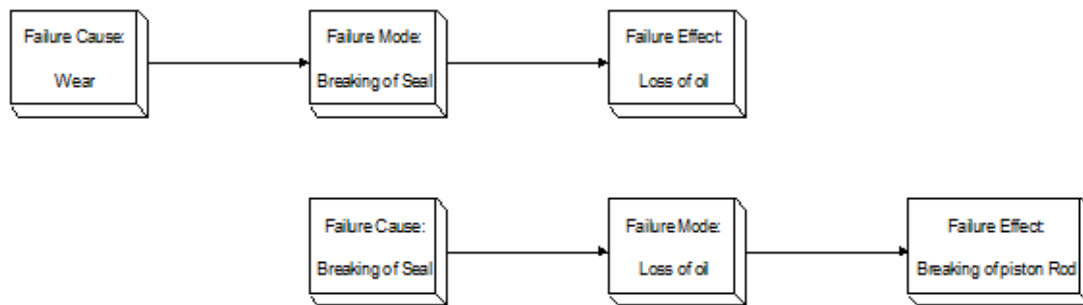


Figura 16 Rappresentazione del flusso logico della catena causale, secondo la FMECA

L'identificazione dei possibili malfunzionamenti risulta essere un momento particolarmente importante del processo, in quanto spesso si genera confusione tra il malfunzionamento inteso come evento, il modo in cui esso si concreta e la causa che ne ha determinato l'insorgenza. Affinché ciò non accada, un malfunzionamento deve essere definito in modo inequivocabile e tale da non causare ambiguità nota l'attività che, a causa del malfunzionamento, subisce la transizione di stato da attività conforme ad attività non conforme, il malfunzionamento è rappresentato dalla non conformità stessa. Trovata la causa che ha prodotto il malfunzionamento, sarà allora possibile esaminarne gli effetti e procedere a ritroso nella catena causale.

Il punto più rilevante dell'analisi di criticità resta in ogni caso l'attribuzione di uno o più parametri caratterizzanti il peso del malfunzionamento che di volta in volta si prende in esame. A questo proposito è bene evidenziare che non esistono standard consolidati in merito all'adozione dei parametri, mentre sono state proposte molte varianti specifiche ed adattate a diversi problemi.

Facendo riferimento alla metodologia FMECA, strumento di riferimento sulla base del quale la DMECA è stata sviluppata, si fa generalmente riferimento ad un “Numero di Criticità”, o *Criticality Number* (CN), così come definito nella norma US MIL STD 1629: $CN = \alpha \beta \lambda_i t$.

In questo caso la procedura richiede la conoscenza diretta del rateo di guasto λ_t del componente sotto esame, la probabilità condizionata con cui si potranno verificare gli effetti di quel guasto (β), la percentuale dei guasti all'interno di una certa tipologia (α) ed il tempo di funzionamento. Proprio questa esigenza rende il procedimento applicabile solo per un prodotto/componente (quindi non per un processo) ed attuabile solamente in presenza di dati certi ed attendibili: di conseguenza esso viene utilizzato prevalentemente laddove siano disponibili ingenti quantità di dati storici e di analisi statistiche riferite ai componenti in esame.

Sempre con riferimento alla FMECA, ha prevalso l'impostazione data alla metodologia dalla 'Ford Motor Company' e dalla 'Society of Automotive Engineers' (SAE): in questo secondo approccio si fa riferimento a tre parametri distinti, ciascuno valutato mediante espressioni linguistiche semplici da interpretare e correlate ad un range di punteggio variabile tra un minimo (generalmente 1) ed un massimo (generalmente 10). Tale approccio consente un'applicazione dell'analisi anche ad un processo o ad un'attività e quindi può essere sfruttato anche nell'applicazione della metodologia DMECA.

Il prodotto di questi tre parametri fornisce l'*Indice di Criticità* o, più comunemente, il *Risk Priority Number* (RPN).

Con riferimento alla DMECA, i tre parametri sono nell'ordine:

- *Occurance Dysfunction* (OD): indica la probabilità che un malfunzionamento possa verificarsi nel modo previsto.
- *Detectability Dysfunction* (DD): misura la "visibilità" o la "rilevabilità" del malfunzionamento, cioè l'attitudine o meno di una non conformità ad essere identificata mediante controlli o ispezioni.
- *Severity Dysfunction* (SD): è intesa come la gravità degli effetti del malfunzionamento che si ripercuotono sulla fase stessa o, molto più di frequente, sul processo cui quella fase appartiene.

Allora il *Risk Priority Number* è così definito:

$$RPN = OD \times DD \times SD$$

Il punto di forza del metodo del RPN, che ne ha decretato il successo e la diffusione, risiede proprio nella possibilità di fare ricorso ad espressioni linguistiche e nel correlare ad esse, mediante opportune tabelle di conversione, valori numerici precisi. È evidente come, in questo modo, sia possibile ricorrere alla DMECA, così come può essere fatto per la FMECA, anche laddove non siano disponibili dati storici e statistici dettagliati,

purché si ponga particolare cura nell'attribuzione dei giudizi, per evitare che la soggettività di chi esegue l'analisi ne pregiudichi il risultato.

6.2.3 Attribuzione dei valori numerici

La metodologia FMECA ha fornito i criteri più idonei all'attribuzione dei valori numerici relativi ai parametri scelti tramite l'analisi DMECA. In breve, si possono distinguere due approcci: il primo, prettamente *quantitativo*, è particolarmente indicato qualora siano disponibili dati certi preventivamente registrati, come ad esempio quelli ricavati da serie storiche o da statistiche interne.

Il secondo approccio, *qualitativo*, è invece praticabile quando non sono disponibili dati sufficienti e certi, sia perché non sono stati registrati, sia perché il parametro in questione mal si presta ad una valutazione numerica diretta. Questo secondo approccio derivante dalla metodologia FMECA maggiormente si adatta allo svolgimento della tecnica DMECA per l'analisi di processo.

Come già detto, il problema più grande riguarda la soggettività e l'attendibilità del giudizio e, proprio per superare questa importante limitazione, vari autori hanno evidenziato come, seguendo alcuni principi di base, sia possibile ottenere una certa omogeneità di giudizio e l'oggettività dei risultati. In pratica:

- i) Ogni parametro dovrebbe essere individuato mediante elementi di giudizio il più generali possibile. Brevemente, è necessario costruire un *set* di elementi di giudizio, magari mediante ricorso ad un *brainstorming*, con la partecipazione di tutti coloro che in seguito saranno presenti all'analisi.
- ii) Il numero dei possibili valori che ogni elemento di giudizio può assumere dovrebbe essere chiuso e ristretto. In questo modo si evita di creare confusione e di rendere troppo sfumati i confini tra un giudizio e l'altro.
- iii) É necessario verificare tutte le possibili combinazioni che gli elementi di giudizio possono assumere per ogni parametro, fissando in questo modo tutti i corretti valori numerici ed eliminando a priori tutte le combinazioni prive di significato.
- iv) Ogni combinazione ottenuta dovrebbe dare in output un unico valore su una scala predefinita. Più combinazioni possono fornire lo stesso valore numerico, perché i singoli elementi di giudizio presentano influenze diverse.

Procedendo in modo sistematico secondo i criteri sopraesposti si arriva, generalmente, a costruire vere e proprie tabelle di conversione, da utilizzare in seguito durante la fase esecutiva dell'analisi. Nella vasta letteratura riguardante l'argomento in questione, si

possono trovare alcuni esempi notevoli, utilissimi da prendere a riferimento per riadattarle di volta in volta alle esigenze del caso. Un esempio di tali tabelle è riportato in seguito, nell'applicazione della DMECA al processo di deposito di merce svolto da un trasloelevatore nel magazzino automatizzato.

6.2.4 Fogli di lavoro e piano di miglioramento

Attribuiti in questo modo i giudizi ai parametri, è possibile proseguire oltre nell'analisi calcolando, come già esposto in precedenza, il *Risk Priority Number* (RPN) e riempiendo i moduli per l'analisi di criticità propri della metodologia. Questi "fogli di lavoro" possono assumere forme leggermente diverse tra loro, in quanto non esiste uno standard unico, ma presentano tutti la forma di tabulati per raccogliere i dati in modo sintetico e molto leggibile.

I moduli devono riportare il nome ed il codice del processo oggetto dell'analisi (in pratica la radice dell'albero risultante dalla scomposizione funzionale), il nome della fase che subisce il malfunzionamento e l'attività primaria di cui tale fase fa parte, unitamente ai loro codici univoci di identificazione. Per ogni fase vengono elencati il malfunzionamento, l'effetto e la causa, insieme con i valori numerici dei parametri adottati e con il valore risultante dell'indice di priorità del rischio.

Usando un foglio di calcolo il team di lavoro potrebbe inoltre rivedere le sue valutazioni iniziali conducendo un'analisi di sensibilità: si possono variare pesi e valutazioni per determinare il loro effetto sull'analisi. In questo modo il gruppo può valutare quanto l'incertezza della valutazione abbia effetto sull'esito della DMECA stessa.

L'ultima fase della metodologia consiste nel fissare un valore di soglia per il RPN e nello stabilire le azioni correttive e/o migliorative, volte a ridurre la criticità dei malfunzionamenti che superano tale valore. La soglia di intervento non dovrebbe essere ritenuta costante, ma dovrebbe dipendere da considerazioni specifiche riguardanti il peso dei criteri utilizzati nell'assegnare i giudizi. Dato che il parametro di gravità, o meglio Severity, è quello che tiene conto degli effetti dei malfunzionamenti, potrebbe risultare conveniente ed opportuno suddividere i malfunzionamenti in classi di importanza, fissando in seguito la soglia all'interno di ciascuna classe.

Tutte le cause di malfunzionamento con un valore di RPN superiore al valore di soglia dovrebbero essere oggetto di ulteriori approfondimenti, mediante la compilazione di moduli opportuni per stilare un elenco di proposte di intervento, come controlli, ispezioni, verifiche, sostituzioni o modifiche di progetto.

Il piano di miglioramento conseguente, una volta redatto, non deve tuttavia essere considerato assoluto e definitivo, ma suscettibile bensì di revisioni periodiche: dunque, la DMECA non dovrebbe esaurirsi con la definizione degli interventi necessari, così come vengono elencati nella prima stesura del piano di miglioramento, ma dovrebbe, invece, essere attuata continuamente, soprattutto durante il ciclo di sviluppo di un prodotto o di un impianto, per essere un valido complemento alla progettazione e non uno strumento da utilizzarsi *ex-post* come una semplice check-list, alla fine del processo di realizzazione.

6.3 APPLICAZIONE AD UN PROCESSO OPERATIVO DEL TRASLOELEVATORE

Nel presente capitolo la metodologia DMECA, precedentemente descritta, viene applicata operativamente, alle fasi di un ciclo combinato per il trasloelevatore, relative ad una missione di deposito (Figura 17) ed alla successiva predisposizione per il prelievo di merce, disposta su pallet, da determinate ubicazioni all'interno del magazzino automatizzato.

Il fine di tale applicazione è quello di fornire al team, che sta svolgendo il processo di progettazione e sviluppo di un magazzino automatizzato, una conoscenza più approfondita della fasi di operatività di un trasloelevatore all'interno dell'impianto automatizzato così che il team stesso sia in grado di portare avanti la progettazione in maggior autonomia riducendo la dipendenza nei confronti del soggetto fornitore dell'automazione di magazzino.

Le fasi prese in considerazione per questo processo sono le seguenti:

- acquisizione dati della missione
- ciclo forche per il prelievo dell'unità di carico nella posizione di partenza
- trasferimento "a carico" verso la posizione di deposito
- posizionamento e verifica
- ciclo forche per il deposito dell'unità di carico nella posizione di arrivo
- trasferimento "a vuoto" per il prelievo di una nuova unità di carico



Figura 17 Fase di deposito merce in un magazzino automatizzato servito da trasloelevatore

(fonte www.sick.com)

Nella seguente Tabella 6 vengono riportate le singole attività nelle quali possono essere suddivise le fasi precedentemente descritte. È opportuno notare che il livello di dettaglio utilizzato nella scomposizione di queste fasi è volutamente più generale in questa prima applicazione della DMECA. Inizialmente, infatti, si procede ad una scomposizione con un livello più superficiale e generale, per approfondire, in seguito l'indagine laddove sia ritenuto necessario od opportuno. Questa tabella oltre al nome della fase che subisce il malfunzionamento e dell'attività di cui tale fase fa parte, riporta i loro codici univoci di identificazione.

Fase		Attività	
Id	Descrizione	Id	Descrizione
1.	Acquisizione dati della missione	1.1	Ricezione dati di input da sistema di elaborazione
		1.2	Registrazione dati
		1.3	Predisposizione allo svolgimento della missione
2.	Ciclo forche per prelievo	2.1	Trasmissione dati per ciclo forche
		2.2	Movimentazione forche fino a fine corsa
		2.3	Sollevamento carico
		2.4	Rientro forche dopo prelievo pallet
3.	Trasferimento carico	3.1	Accelerazione per movimentazione carico
		3.2	Trasferimento bidirezionale
		3.3	Decelerazione verso ubicazione di deposito
4.	Posizionamento e verifica	4.1	Arresto in corrispondenza dell'ubicazione finale
		4.2	Verifica corretta ubicazione
		4.3	Verifica corretta posizione per ciclo forche
5.	Ciclo forche per deposito	5.1	Movimentazione forche fino a fine corsa
		5.2	Abbassamento carico
		5.3	Rientro forche dopo rilascio pallet
6.	Trasferimento a vuoto	6.1	Accelerazione per movimentazione nuovo carico
		6.2	Trasferimento bidirezionale
		6.3	Decelerazione verso ubicazione di nuovo prelievo

Tabella 6 Fasi, attività e codici identificativi del processo in esame

La tabella che segue nelle successive tre pagine (Tabella 7) riporta l'analisi dei possibili malfunzionamenti legati alle singole attività precedentemente descritte. Per ogni attività, cui è associato il rispettivo codice identificativo, vengono riportati modi, cause ed effetti del relativo malfunzionamento; ad ognuna di queste triplette è stato inoltre associato un ulteriore codice identificativo che può facilitare il proseguo dell'analisi.

Attività		Malfunzionamento			
Id	Descrizione	Id	Modo	Causa	Effetto
1.1	Ricezione dati di input da sistema di elaborazione	1.1.1	Dati di input non corretti	Errata elaborazione dei dati da parte del sistema	Merce allocata in errata ubicazione
1.2	Registrazione dati	1.2.1	Errata registrazione dati in memoria	Guasto alla memoria di immagazzinamento dati	Blocco/errore movimentazione del trasloelevatore
1.3	Predisposizione allo svolgimento della missione	1.3.1	Errato funzionamento del PLC presente a bordo macchina	Dati di input non corretti	Blocco movimentazione del trasloelevatore (ubicazione inesistente)
		1.3.2	Errato funzionamento del PLC presente a bordo macchina	Dati di input non corretti	Merce allocata in errata ubicazione
		1.3.3	Errato funzionamento del PLC presente a bordo macchina	Guasto del PLC presente a bordo macchina	Blocco movimentazione del trasloelevatore
2.1	Trasmissione dati per ciclo forche	2.1.1	Errata trasmissione dati tra trasloelevatore e impianto a terra	Guasto delle fotocellule di trasmissione	Blocco movimentazione del trasloelevatore
2.2	Movimentazione forche fino a fine corsa	2.2.1	Urto tra forche e struttura di inbound	Errata disposizione del trasloelevatore rispetto a sistema di inbound merce	Danneggiamento a struttura di inbound e forche
		2.2.2	Urto tra forche e pallet	Errata disposizione del trasloelevatore rispetto a pallet	Danneggiamento a forche e merce su pallet
		2.2.3	Urto tra forche e pallet	Errata disposizione del pallet in ingresso	Danneggiamento a forche e merce su pallet
2.3	Sollevamento carico	2.3.1	Errato sollevamento del pallet	Pallet precedentemente danneggiato e non sostituito	Rottura pallet e caduta carico
		2.3.2	Errato sollevamento del pallet	Errata disposizione del trasloelevatore rispetto a pallet	Caduta carico
		2.3.3	Errato sollevamento del pallet	Errata disposizione del pallet in ingresso	Caduta carico
2.4	Rientro forche dopo prelievo pallet	2.4.1	Urto tra merce e struttura del trasloelevatore	Dimensioni carico eccedenti rispetto a pallet	Danneggiamento a merce e/o caduta carico

Attività		Malfunzionamento			
Id	Descrizione	Id	Modo	Causa	Effetto
3.1	Accelerazione per movimentazione carico	3.1.1	Elevata accelerazione in partenza	Scarso peso del carico e/o carso fissaggio del carico	Caduta carico
3.2	Trasferimento bidirezionale	3.2.1	Errata movimentazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di trasmissione del moto	Blocco movimentazione del trasloelevatore
		3.2.2	Errata movimentazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di alimentazione	Blocco movimentazione del trasloelevatore
3.3	Decelerazione verso ubicazione di deposito	3.3.1	Mancata decelerazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di trasmissione del moto	Brusco arresto in corrispondenza dell'ubicazione
		3.3.2	Mancata decelerazione del trasloelevatore	Guasto del sistema frenante	Urto tra trasloelevatore e struttura del magazzino
4.1	Arresto in corrispondenza dell'ubicazione finale	4.1.1	Brusco arresto in corrispondenza dell'ubicazione	Mancata decelerazione del trasloelevatore	Caduta carico
		4.1.2	Mancato arresto del trasloelevatore	Guasto del sistema frenante	Danneggiamento a struttura del magazzino, trasloelevatore e merce
4.2	Verifica corretta ubicazione	4.2.1	Errata ubicazione di deposito	Dati di input non corretti	Merce allocata in errata ubicazione
		4.2.2	Errata ubicazione di deposito	Dati di input non corretti	Merce non allocata causa ubicazione non libera
		4.2.3	Errata ubicazione di deposito	Errato arresto in corrispondenza dell'ubicazione	Merce allocata in errata ubicazione
		4.2.4	Errata verifica ubicazione di deposito	Guasto a sensore di lettura ubicazione	Merce allocata in errata ubicazione
4.3	Verifica corretta posizione per ciclo forche	4.3.1	Errata verifica posizione per ciclo forche	Guasto a sensore di posizionamento rispetto all'ubicazione	Urto tra forche e struttura del magazzino
		4.3.2	Errata verifica posizione per ciclo forche	Guasto a sensore di posizionamento rispetto all'ubicazione	Urto tra pallet/carico e struttura del magazzino

Attività		Malfunzionamento			
Id	Descrizione	Id	Modo	Causa	Effetto
5.1	Movimentazione forche fino a fine corsa	5.1.1	Urto tra forche e struttura del magazzino	Errata verifica posizione per ciclo forche	Danneggiamento a struttura del magazzino e forche
		5.1.2	Urto tra struttura del magazzino e pallet	Errata verifica posizione per ciclo forche	Danneggiamento a struttura del magazzino e pallet
		5.1.3	Urto tra struttura del magazzino e pallet	Errata verifica posizione per ciclo forche	Caduta carico
5.2	Abbassamento carico	5.2.1	Errato abbassamento pallet	Presenza di materiale in ubicazione (parti di pallet danneggiate)	Pallet immagazzinato in modo non stabile
5.3	Rientro forche dopo rilascio pallet	5.3.1	Rientro forche con merce non depositata	Errato abbassamento pallet	Trasloelevatore occupato e non disponibile per nuova missione
6.1	Accelerazione per movimentazione nuovo carico	6.1.1	Errata accelerazione del trasloelevatore	Incompleto rientro forche	Urto tra forche e struttura del magazzino
6.2	Trasferimento bidirezionale	6.2.1	Errata movimentazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di trasmissione del moto	Blocco movimentazione del trasloelevatore
		6.2.2	Errata movimentazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di alimentazione	Blocco movimentazione del trasloelevatore
6.3	Decelerazione verso ubicazione di nuovo prelievo	6.3.1	Mancata decelerazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di trasmissione del moto	Brusco arresto in corrispondenza dell'ubicazione
		6.3.2	Mancata decelerazione del trasloelevatore	Guasto del sistema frenante	Urto tra trasloelevatore e struttura del magazzino

Tabella 7 Analisi di modi, cause ed effetti dei malfunzionamenti per ogni attività

A questo punto, secondo la metodologia DMECA, ogni malfunzionamento ed ogni relativo modo, causa ed effetto, devono essere giudicati in accordo ai seguenti tre parametri:

- OD: *Occurancy Dysfunction*
- DD: *Detectability Dysfunction*
- SD: *Severity Dysfunction*

La probabilità di accadimento del malfunzionamento (OD) di un processo viene solitamente definita, facendo riferimento ad espressioni linguistiche qualitative, attraverso tabelle come la seguente (vedi Tabella 8):

Valutazione qualitativa della probabilità di accadimento	Intervallo tra due malfunzionamenti	Percentuale di accadimento	OD
Molto Alta	< 2 settimane	> 50 %	10
Alta	2 settimane ÷ 1 mese	25 ÷ 49 %	8 ÷ 9
Moderata	1 ÷ 2 mesi	11 ÷ 24 %	6 ÷ 7
Bassa	2 ÷ 4 mesi	6 ÷ 10 %	4 ÷ 5
Remota	4 ÷ 11 mesi	2 ÷ 5 %	2 ÷ 3
Irrilevante	> 1 anno	< 1 %	1

Tabella 8 Tabella di conversione per la probabilità di accadimento del malfunzionamento

Per il parametro rilevabilità del malfunzionamento (DD), invece, è prassi consolidata fare riferimento ad espressioni linguistiche che indicano la visibilità degli effetti del malfunzionamento sul processo e, solitamente, si fa riferimento a tabelle simili alla seguente Tabella 9:

Valutazione qualitativa della rilevabilità	Descrizione	DD
Molto bassa	Durante il processo successivo si rileva la disfunzione generata in precedenza	9 ÷ 10
Bassa	Disfunzione rilevata al termine del processo	7 ÷ 8
Moderata	Disfunzione rilevata da un'ispezione o dopo un controllo	4 ÷ 6
Alta	Disfunzione rilevata durante l'operatività del processo	2 ÷ 3
Molto Alta	Disfunzione rilevata prima dell'inizio del processo	1

Tabella 9 Tabella di conversione per la rilevabilità del malfunzionamento

Infine, facendo riferimento alla metodologia FMECA, quando si studia l'affidabilità del prodotto, il fattore di gravità si basa su parametri come la sicurezza. Per la DMECA, invece, occorre considerare altri parametri relativi ai metodi di gestione e di

funzionamento dei processi. In generale, prendendo in considerazione gli obiettivi di un'azienda, il fattore di gravità può essere basato sulla perdita di produttività, l'incremento di costo, il ritardo nel rispondere alle esigenze dei clienti e la perdita di qualità. Per il processo oggetto dell'analisi, sono stati considerati, come variabili critiche, gli aspetti legati al tempo di processo ed ai risultati di qualità, intesi come livello di danneggiamento di un prodotto movimentato. La gravità del malfunzionamento (SD) viene definita dalla seguente tabella (vedi Tabella 10):

Valutazione qualitativa della gravità	Descrizione	SD
Critica	Ritardo nel processo maggiore di 5 giorni o livello di qualità inaccettabile legato ad una disfunzione rilevata durante il processo successivo	10
Molto importante	Ritardo nel processo compreso tra 2 e 4 giorni o livello di qualità inaccettabile rilevato al termine del processo	$7 \div 9$
Importante	Ritardo nel processo compreso entro 1 giorno o livello di qualità inaccettabile rilevato al suo primo accadimento	$4 \div 6$
Non importante	Ritardo nel processo tra 1 e 4 ore o livello di qualità della merce nei limiti di accettabilità	$2 \div 3$
Trascurabile	Ritardo nel processo minore di 1/2 ora o disfunzione che non crea riduzione di qualità nella merce movimentata	1

Tabella 10 Tabella di conversione per la gravità del malfunzionamento

I rispettivi RPN sono quindi ottenuti come moltiplicazione dei tre fattori sopra menzionati, quindi vale: $RPN = OD \times DD \times SD$.

Di seguito, nelle successive tre pagine, viene riportata lo schema riepilogativo (Tabella 11) relativo all'applicazione della metodologia DMECA al caso del processo di deposito e successiva predisposizione per il prelievo di merce, disposta su pallet, dalle ubicazioni di un magazzino automatizzato, tramite trasloelevatore. Tale tabella riporta la valutazione attribuita ad ogni malfunzionamento precedentemente individuato, per ogni parametro (OD, DD, SD), ed il calcolo del valore RPN.

Id	Modo	Causa	Effetto	OD	DD	SD	RPN
1.1.1	Dati di input non corretti	Errata elaborazione dei dati da parte del sistema	Merce allocata in errata ubicazione	2	6	4	48
1.2.1	Errata registrazione dati in memoria	Guasto alla memoria di immagazzinamento dati	Blocco/errore movimentazione del trasloelevatore	1	1	2	2
1.3.1	Errato funzionamento del PLC presente a bordo macchina	Dati di input non corretti	Blocco movimentazione del trasloelevatore (ubicazione inesistente)	3	5	2	30
1.3.2	Errato funzionamento del PLC presente a bordo macchina	Dati di input non corretti	Merce allocata in errata ubicazione	3	5	4	60
1.3.3	Errato funzionamento del PLC presente a bordo macchina	Guasto del PLC presente a bordo macchina	Blocco movimentazione del trasloelevatore	3	1	2	6
2.1.1	Errata trasmissione dati tra trasloelevatore e impianto a terra	Guasto delle fotocellule di trasmissione	Blocco movimentazione del trasloelevatore	3	3	2	18
2.2.1	Urto tra forche e struttura di inbound	Errata disposizione del trasloelevatore rispetto a sistema di inbound merce	Danneggiamento a struttura di inbound e forche	3	3	6	54
2.2.2	Urto tra forche e pallet	Errata disposizione del trasloelevatore rispetto a pallet	Danneggiamento a forche e merce su pallet	4	3	5	60
2.2.3	Urto tra forche e pallet	Errata disposizione del pallet in ingresso	Danneggiamento a forche e merce su pallet	4	2	5	40
2.3.1	Errato sollevamento del pallet	Pallet precedentemente danneggiato e non sostituito	Rottura pallet e caduta carico	4	3	6	72
2.3.2	Errato sollevamento del pallet	Errata disposizione del trasloelevatore rispetto a pallet	Caduta carico	4	3	5	60
2.3.3	Errato sollevamento del pallet	Errata disposizione del pallet in ingresso	Caduta carico	5	2	5	50
2.4.1	Urto tra merce e struttura del trasloelevatore	Dimensioni carico eccedenti rispetto a pallet	Danneggiamento a merce e/o caduta carico	3	3	5	45

Id	Modo	Causa	Effetto	OD	DD	SD	RPN
3.1.1	Elevata accelerazione in partenza	Scarso peso del carico e/o carso fissaggio del carico	Caduta carico	2	3	5	30
3.2.1	Errata movimentazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di trasmissione del moto	Blocco movimentazione del trasloelevatore	2	4	2	16
3.2.2	Errata movimentazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di alimentazione	Blocco movimentazione del trasloelevatore	2	3	2	12
3.3.1	Mancata decelerazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di trasmissione del moto	Brusco arresto in corrispondenza dell'ubicazione	2	4	3	24
3.3.2	Mancata decelerazione del trasloelevatore	Guasto del sistema frenante	Urto tra trasloelevatore e struttura del magazzino	2	4	6	48
4.1.1	Brusco arresto in corrispondenza dell'ubicazione	Mancata decelerazione del trasloelevatore	Caduta carico	3	3	5	45
4.1.2	Mancato arresto del trasloelevatore	Guasto del sistema frenante	Danneggiamento a struttura del magazzino, trasloelevatore e merce	3	4	6	72
4.2.1	Errata ubicazione di deposito	Dati di input non corretti	Merce allocata in errata ubicazione	3	5	4	60
4.2.2	Errata ubicazione di deposito	Dati di input non corretti	Merce non allocata causa ubicazione non libera	3	5	2	30
4.2.3	Errata ubicazione di deposito	Errato arresto in corrispondenza dell'ubicazione	Merce allocata in errata ubicazione	3	3	4	36
4.2.4	Errata verifica ubicazione di deposito	Guasto a sensore di lettura ubicazione	Merce allocata in errata ubicazione	3	4	4	48
4.3.1	Errata verifica posizione per ciclo forche	Guasto a sensore di posizionamento rispetto all'ubicazione	Urto tra forche e struttura del magazzino	3	4	6	72
4.3.2	Errata verifica posizione per ciclo forche	Guasto a sensore di posizionamento rispetto all'ubicazione	Urto tra pallet/carico e struttura del magazzino	3	4	5	60

Id	Modo	Causa	Effetto	OD	DD	SD	RPN
5.1.1	Urto tra forche e struttura del magazzino	Errata verifica posizione per ciclo forche	Danneggiamento a struttura del magazzino e forche	3	4	6	72
5.1.2	Urto tra struttura del magazzino e pallet	Errata verifica posizione per ciclo forche	Danneggiamento a struttura del magazzino e pallet	4	4	3	48
5.1.3	Urto tra struttura del magazzino e pallet	Errata verifica posizione per ciclo forche	Caduta carico	4	4	5	80
5.2.1	Errato abbassamento pallet	Presenza di materiale in ubicazione (parti di pallet danneggiate)	Pallet immagazzinato in modo non stabile	3	4	3	36
5.3.1	Rientro forche con merce non depositata	Errato abbassamento pallet	Trasloelevatore occupato e non disponibile per nuova missione	2	5	2	20
6.1.1	Errata accelerazione del trasloelevatore	Incompleto rientro forche	Urto tra forche e struttura del magazzino	3	3	6	54
6.2.1	Errata movimentazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di trasmissione del moto	Blocco movimentazione del trasloelevatore	2	4	2	16
6.2.2	Errata movimentazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di alimentazione	Blocco movimentazione del trasloelevatore	2	3	2	12
6.3.1	Mancata decelerazione del trasloelevatore	Guasto del sistema di trasmissione del moto	Brusco arresto in corrispondenza dell'ubicazione	2	4	1	8
6.3.2	Mancata decelerazione del trasloelevatore	Guasto del sistema frenante	Urto tra trasloelevatore e struttura del magazzino	2	4	6	48

Tabella 11 Valutazione quantitativa dei parametri OD, DD, SD e calcolo del RPN per ogni malfunzionamento precedentemente individuato

A questo punto dell'applicazione della metodologia DMECA, l'analisi di criticità è stata effettuata e le attività critiche (quelle che presentano elevati RPN), dove saranno necessarie azioni di miglioramento, sono state individuate.

Ad esempio, nella Tabella 11 sono stati evidenziati i malfunzionamenti che presentano un RPN superiore ad un valore di 70. Tale scelta è motivata dal fatto che avrebbe

portato uno scarso valore aggiunto la possibilità di considerare un valore di soglia specifico per ognuno dei tre fattori di riferimento (OD, DD, SD) in quanto la tabella mostra come questi valori, analizzati singolarmente, siano tutti scarsamente elevati e mai superiori al valore 6. Invece, il valore soglia per l'RPN è stato definito in prima battuta pari a 70 in quanto tale valore, considerando il fatto che si tratta di un prima applicazione dello strumento a tale processo, consente di individuare un certo numero di sequenze causa-modo-effetto per determinati malfunzionamenti tali per cui è possibile mettere in atto un significativo numero di azioni correttive e di miglioramento. Inoltre, ad ulteriore conferma della bontà della scelta di soglia effettuata, questo valore risulta essere discriminante tra le diverse attività appartenenti alle rispettive fasi, in quanto i punteggi di RPN di tutte le attività risultano essere inferiori al valore di 60 eccetto che per quelle attività evidenziate per le quale il valore di RPN supera la soglia discriminante di 70. La Tabella 12 riepiloga le fasi e le attività maggiormente critiche dal punto di vista del RPN e le rispettive sequenze di causa, modo ed effetto.

Fase	Attività	Id	Modo	Causa	Effetto	O D	D D	S D	R P N
2. Ciclo forche per prelievo	2.3. Sollevamento carico	.1	Errato sollevament o del pallet	Pallet precedentemen te danneggiato e non sostituito	Rottura pallet e caduta carico	4	3	6	72
4. Posizion amento e verifica	4.1. Arresto in corrispondenz a dell'ubicazion e finale	.2	Mancato arresto del trasloelevato re	Guasto del sistema frenante	Danneggiamento a struttura del magazzino, trasloelevatore e merce	3	4	6	72
	4.3. Verifica corretta posizione per ciclo forche	.1	Errata verifica posizione per ciclo forche	Guasto a sensore di posizionamento rispetto all'ubicazione	Urto tra forche e struttura del magazzino	3	4	6	72
5. Ciclo forche per deposito	5.1. Movimentazio ne forche fino a fine corsa	.1	Urto tra forche e struttura del magazzino	Errata verifica posizione per ciclo forche	Danneggiamento a struttura del magazzino e forche	3	4	6	72
		.3	Urto tra struttura del magazzino e pallet	Errata verifica posizione per ciclo forche	Caduta carico	4	4	5	80

Tabella 12 Schema riassuntivo delle attività maggiormente critiche per i malfunzionamenti del processo in esame

Quindi, occorre concentrare lo sforzo sulla definizione di azioni di miglioramento per eliminare le cause disfunzionali di queste attività. Per la trattazione e per un'approfondita analisi di tali azioni correttive e di miglioramento relative al processo sopra esposto, si rimanda a successivi studi ed analisi che non rientreranno in questo lavoro di tesi.

Al fine di predisporre lo studio di tali azioni di miglioramento, però, può essere utile predisporre una matrice che consenta di creare, progettare, pianificare e controllare le azioni correttive. Nelle colonne della matrice possono essere riportati i seguenti fattori:

- l'attività critica
- la causa di malfunzionamento
- l'azione di miglioramento proposta
- la frequenza dell'azione di miglioramento
- il tempo necessario per attuare l'azione
- un flag per indicare l'eventuale interruzione della realizzazione dell'azione
- la responsabilità dell'attuazione dell'azione
- l'esecutore
- il costo previsto
- il beneficio
- la data della prima review

Inoltre, si deve notare che l'approccio proposto con la metodologia DMECA consente agli utenti di identificare come un'azione correttiva, creata per eliminare un particolare malfunzionamento, possa essere utilizzata per correggere altri problemi od inefficienze in maniera indiretta. Pertanto, al termine dell'analisi DMECA, si possono ottenere risultati in cui relativamente poche azioni correttive possono risolvere molteplici malfunzionamenti di processo.

In conclusione, si può notare come l'approccio sistematico della metodologia DMECA proposta, permetta di analizzare un processo generico di un'organizzazione in modo semplice ma dettagliato e strutturato. L'applicazione della DMECA alle fasi del ciclo combinato di un trasloelevatore consente al team che sta svolgendo la progettazione e sviluppo di un nuovo magazzino automatizzato, così come di qualsiasi altro prodotto, servizio od impianto, di:

- evidenziare potenziali criticità in termini di attività elementari che compongono il processo analizzato;
- definire le azioni di miglioramento che devono essere attuate per completare l'analisi e migliorare i processi.

In particolare, questo permette al team di lavoro di pianificare, programmare e controllare le azioni proposte in termini di responsabilità, costi, tempi e risultati.

L'applicazione di questo strumento proposta al termine del presente lavoro di tesi è in grado di supportare il team di progetto fornendo una conoscenza più approfondita della fasi di operatività di un trasloelevatore all'interno dell'impianto automatizzato così che il team stesso sia in grado di portare avanti la progettazione in maggior autonomia riducendo la dipendenza nei confronti del soggetto fornitore dell'automazione di magazzino.

Inoltre l'applicazione sistematica di questo strumento a tutti i processi logistici ed a tutte le attività, disegnate ed analizzate durante le fasi del processo di progettazione e sviluppo, costituisce un valido strumento per la validazione sia dell'intero progetto che dell'insieme dei processi e dei flussi logistici di magazzino.

7. CONCLUSIONI

Attraverso questo lavoro di tesi ho voluto descrivere una metodologia, di generale applicabilità, strutturata e sistematica, per la progettazione e lo sviluppo di impianti di stoccaggio, tramite un tentativo di applicazione del processo di progettazione e sviluppo di un nuovo prodotto, attraverso un suo adattamento al processo di progettazione e realizzazione di un nuovo magazzino. L'idea che è stata approfondita si basa sulla considerazione di un impianto di stoccaggio alla stregua di un nuovo prodotto manifatturiero, per il quale sviluppare l'intero processo di progettazione, dalle fasi preliminari di ideazione e studio di fattibilità fino alle fasi conclusive di installazione, test ed avviamento.

Questo progetto, realizzato attraverso un mix di concetti e metodologie affrontate negli esami universitari e di nuovi aspetti approfonditi nell'attività quotidiana durante il periodo di stage, non ha la presunzione di essere una trattazione completa ed esaustiva ma intende fornire una metodologia strutturata e sistematica in grado supportare le fasi di realizzazione di un nuovo impianto di stoccaggio.

Un primo aspetto da sottolineare, al termine di questo lavoro di tesi, è legato al fatto che, in molte aziende, la progettazione di un nuovo magazzino o la ristrutturazione di uno esistente è un'attività che viene spesso sottovalutata ed affrontata con metodi e risorse non sempre soddisfacenti ed adeguate. Nel corso della mia esperienza, ho potuto appurare come la progettazione razionale e coerente, l'organizzazione delle diverse aree di magazzino e l'integrazione tra le stesse, siano le basi per l'ottimizzazione delle attività di magazzino in termini di efficienza ed efficacia.

Il processo di sviluppo di un nuovo impianto, quale un magazzino, ed in particolare un magazzino automatizzato, segue, in linea di massima, le fasi descritte per lo sviluppo di un nuovo prodotto; ovviamente sono state necessarie opportune modifiche ed adattamenti poiché un magazzino, in quanto tale, non può essere completamente assimilato ad un prodotto dell'industria manifatturiera.

Sebbene nel corso della trattazione siano state definite nel dettaglio le principali attività per la progettazione di un magazzino automatizzato servito da trasloelevatori, si è cercato di proporre un modello generale di processo per la realizzazione di un nuovo magazzino, il quale presenta un'applicabilità molto vasta poiché mette in luce, in

maniera strutturata ed ordinata, i passi da tener presenti per l'attuazione di un efficace processo di realizzazione di un nuovo magazzino, sia esso automatizzato o meno.

Occorre sempre ricordare, però, che per effettuare una corretta progettazione è necessario considerare molteplici aspetti ed adattarsi alla diversità dei sempre più specifici campi di applicazione: ogni progetto risulta essere a sé stante, presentando delle specifiche caratteristiche differenti rispetto a tutti gli altri.

Quindi, questo modello, applicabile ad una vasta tipologia di aziende, deve essere, di volta in volta, adattato sulle esigenze del caso specifico ed i diversi step del progetto possono acquisire un'importanza, ed eventualmente una sequenza, diversa, sia in termini assoluti che relativi. Sarebbe auspicabile, per un completamento didattico ed accademico di questo lavoro, che in futuro questa analisi venga ampliata nel dettaglio a tutte le fasi necessarie per la progettazione e realizzazione di un magazzino in modo tale che il processo risulti essere completo e di efficace applicazione operativa per la realizzazione di un nuovo magazzino.

Premesso ciò, inizialmente, è stato esposto il modello generale che descrive il processo di progettazione e sviluppo di un nuovo magazzino; successivamente, il modello descritto è stato applicato alla progettazione e realizzazione di un magazzino automatizzato servito da trasloelevatori, per il quale sono state approfondite le fasi principali e maggiormente caratterizzanti.

Al termine di tale analisi, il focus del lavoro si è spostato sulla descrizione sia degli elementi che costituiscono la struttura, sia del funzionamento sia delle modalità operative dei trasloelevatori. Tale analisi è stata funzionale e propedeutica per la successiva applicazione della metodologia DMECA. Questa applicazione è in grado di fornire supporto al team di progetto, assicurando una conoscenza più approfondita della fasi di operatività di un trasloelevatore all'interno dell'impianto automatizzato, in modo tale da portare avanti un'efficace progettazione secondo il modello progettuale descritto ed analizzato. Inoltre, la DMECA costituisce un valido strumento per la validazione sia dell'intero progetto di realizzazione di un magazzino che dell'insieme dei processi e dei flussi logistici di magazzino; è necessaria un'applicazione sistematica di questo strumento a tutti i processi logistici ed a tutte le attività, disegnate ed analizzate durante le fasi del processo di progettazione e sviluppo.

Infine, volendo valutare la metodologia DMECA astraendola dal contesto applicativo proposto in questa tesi, si può affermare che essa fornisce uno strumento interessante e completo per le aziende, che consente di individuare le inefficienze e di valutare eventuali malfunzionamenti nei processi gestionali e, di conseguenza, di definire le azioni di miglioramento più adeguate.

L'applicazione della DMECA consente di:

- evidenziare potenziali criticità in termini di attività elementari che compongono il processo analizzato;
- definire le azioni di miglioramento che devono essere attuate per completare l'analisi e migliorare i processi;

In particolare, questo permette al team di lavoro di pianificare, programmare e controllare le azioni migliorative proposte in termini di responsabilità, costi, tempi e risultati. Il metodo è utile per un'applicazione ed una reiterazione ripetute sulla base della metodologia del PDCA, consentendo l'ottenimento di un efficace miglioramento continuo dei processi.

Future applicazioni e sviluppi della DMECA saranno interessanti per tutte le aziende che mettono al primo posto la qualità e l'efficienza dei propri processi aziendali. Inoltre, potrebbe essere interessante l'applicazione della metodologia nel settore dei servizi, dove la misura della efficienza del processo è più difficile rispetto ad attività manifatturiere tradizionali. Infine, dal punto di vista prettamente teorico, sarebbe auspicabile:

- 1) stabilire modalità più obiettive (per esempio, tramite l'utilizzo di tecniche *fuzzy logic*) per valutare numericamente e quantitativamente l'RPN rispetto all'uso di questionari e di una semplice valutazione tramite giudizi soggettivi del team di lavoro;
- 2) integrare la metodologia DMECA con altre tecniche come il *Quality Function Deployment* (QFD), così come è stato proposto nella valutazione dell'affidabilità di prodotto, attraverso l'integrazione tra QFD e FMECA, denominata "House of Reliability".

8. INDICE DI FIGURE E TABELLE

8.1 Indice delle figure

Figura 1 Schema delle aree funzionali di un magazzino.....	11
Figura 2 Magazzino statico a catasta.....	13
Figura 3 Magazzino con scaffalature tradizionali	14
Figura 4 Magazzino dinamico live storage	16
Figura 5 Magazzino a carosello verticale.....	17
Figura 6 Fasi del processo di progettazione e sviluppo di un magazzino	21
Figura 7 Macro attività per la progettazione di un nuovo magazzino automatizzato	28
Figura 8 Rappresentazione tridimensionale di un magazzino automatizzato con trasloelevatori	29
Figura 9 Esempio di un trasloelevatore e relativi elementi di base.....	32
Figura 10 Diagramma di flusso della fase di Fattibilità	44
Figura 11 Diagramma di flusso della fase di Simulazione Dinamica	69
Figura 12 Diagramma di flusso delle fasi finali di realizzazione dell'impianto	75
Figura 13 Trasloelevatore impiegato per la realizzazione di magazzini intensivi	77
Figura 14 Trasloelevatore monocolonna, elementi principali.....	79
Figura 15 Diagramma di flusso delle fasi di attuazione della DMECA.....	95
Figura 16 Rappresentazione del flusso logico della catena causale, secondo la FMECA	96
Figura 17 Fase di deposito merce in un magazzino automatizzato servito da trasloelevatore	101

8.2 Indice delle tabelle

Tabella 1 Scelta della tipologia di magazzino in funzione dell'indice di accesso e della selettività.	23
Tabella 2 Determinazione dell'indice di accesso al fine di ricavare la sequenza di prodotti da allocare a partire dai vani più velocemente accessibili.	63
Tabella 3 Attività tipiche del Pre-commissioning.....	72
Tabella 4 Attività tipiche del Commissioning.....	73
Tabella 5 Principali prestazioni dei trasloelevatori	82
Tabella 6 Fasi, attività e codici identificativi del processo in esame	102
Tabella 7 Analisi di modi, cause ed effetti dei malfunzionamenti per ogni attività	105
Tabella 8 Tabella di conversione per la probabilità di accadimento del malfunzionamento.	106
Tabella 9 Tabella di conversione per la rilevabilità del malfunzionamento	106
Tabella 10 Tabella di conversione per la gravità del malfunzionamento	107
Tabella 11 Valutazione quantitativa dei parametri OD, DD, SD e calcolo del RPN per ogni malfunzionamento precedentemente individuato.....	110
Tabella 12 Schema riassuntivo delle attività maggiormente critiche per i malfunzionamenti del processo in esame.....	111

9. BIBLIOGRAFIA

1. K.T. Ulrich, S.D. Eppinger, "Progettazione e sviluppo di prodotto", McGraw-Hill, 2001
2. G. Fantoni, R. Mirandola, "Materiale didattico" del corso di "Progettazione e sviluppo dei sistemi e dei processi", Università di Pisa, 2015
3. G. Fantoni, M. Cappelli, "Lo studio di fattibilità e l'avamprogetto", Università di Pisa, 2011
4. A. Monte, "Elementi di Impianti Industriali vol.1", Libreria Cortina Torino, 2003
5. R. W. Mallick, A. T. Gaudreau, "Plant Layout: Planning and Practice", John Wiley & Sons, USA, 2013
6. A. J. Briggs, "Warehouse Operations Planning and Management", John Wiley & Sons, USA, 2000
7. M. Braglia, "Materiale didattico", Università di Pisa, 2004
8. A. Pareschi, "Impianti Industriali", Esculapio Editrice, Bologna, 2013
9. A. Pareschi, E. Ferrari, A. Persona, A. Regattieri, "Logistica integrata e flessibile", Esculapio Editrice, Bologna, 2011
10. F. Turco, "Principi generali di progettazione degli impianti industriali", Città Studi Edizioni, 1999
11. J. A. Tompkins, J. A. White, Y. A. Bozer, J. M. A. Tanchoco, "Facilities planning", John Wiley & Sons, USA, 2003
12. B.Y. Ekren, S.S. Heragu, A. Krishnamurthy e C.J. Malmborg, "Simulation Based Experimental Design to Identify Factors Affecting Performance of AVS/RS", Computers & Industrial Engineering 58, pp. 175-185., 2010
13. R. de Koster, T. Le-Duc, K.J. Roodbergen, "Design and control of warehouse order picking: a literature review". European Journal of Operational Research, 182 (2), 481-501, 2007
14. F. Dallari, G. Marchet, M. Melacini, "Design of order picking system". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 42 (1-2), 1-12, 2009
15. M. Bertolini, M. Braglia, G. Carmignani "An FMECA-based approach to process analysis", Int. J. Process Management and Benchmarking, Vol. 1, No. 2, pp.127-145, 2006

16. US Military Standard, MIL-STD-1629A "Procedures for Performing a Failure Mode, Effect and Criticality Analysis", Department of Defense, USA, 1983
17. M. Ben-Daya, A. Raouf, "A revised failure mode and effect analysis model", International Journal of Quality and Reliability Management, Vol. 13, No. 1, pp.43-47, 1996

10. RINGRAZIAMENTI

I miei ringraziamenti più sentiti vanno al Professor Gionata Carmignani per il tempo dedicatomi e per i preziosi consigli, che hanno portato al completamento di questo lavoro di tesi.

Un ringraziamento va a tutti i miei colleghi per i consigli, gli insegnamenti e la disponibilità che hanno sempre dimostrato durante il mio periodo di stage ed anche per i piacevoli momenti di divertimento durante le pause dal lavoro.

Inoltre, mi sembra doveroso ringraziare i miei genitori ed i miei fratelli che mi hanno sempre supportato ed aiutato durante tutto il mio percorso universitario, faticoso ma ricco di soddisfazioni, ed anche i miei nonni che mi staranno guardando da lassù.

Ringrazio poi i miei amici ed i miei compagni di corso per aver condiviso con me questi anni ricchi di studio e di esami ma anche di cene, feste e serate in compagnia.

Infine il più sincero grazie va a Camilla che mi ha sempre sostenuto, ascoltato, incoraggiato, supportato e sopportato, sperando che continui a farlo in futuro.

