

# La capacità delle aree di sosta nei terminal container

Paolo Sartor

DOTTORANDO IN INGEGNERIA DEI TRASPORTI  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

*Intermodal rail-truck transportation is a service in which rail and truck services are combined to complete a door to door movement. The purpose of this paper is to present a methodology for determining and planning the capacity of intermodal terminal and to identify the critical point of the service.*

definita "throughput" che rappresenta la misura in termini di volume di contenitori che può essere stoccata durante un prefissato intervallo di tempo normalmente riferito al giorno, mese e anno. Quando questa definizione si riferisce ai terminal container e nel proseguo del testo, si farà riferimento al numero di contenitori espressi in TEU (Twenty Equivalent Unit). Nella definizione del "throughput" occorre inoltre definire alcuni limiti alla capacità di un terminal

## 0 Alcune considerazioni generali

Lo sviluppo del trasporto combinato e delle tecniche intermodali ha portato soprattutto in Italia a teorizzare, progettare e realizzare una rete di terminal<sup>1</sup>, per i quali sono stati elaborati adeguati standard, dimensionali per le risorse umane e le infrastrutture necessarie.

In particolare questa evoluzione ha interessato gli impianti per il trasporto non-accompagnato, mentre gli impianti per il trasporto

accompagnato, a causa delle minori esigenze operative nella fase di trasbordo strada-ferrovia, non hanno subito ulteriori sviluppi.

In dettaglio, il dimensionamento delle aree di stoccaggio e di immagazzinamento delle merci, costituisce uno dei principali problemi nella progettazione delle infrastrutture nodali, atte al trasferimento modale delle unità di carico tra i diversi sistemi di trasporto. Tale dimensionamento è particolarmente delicato a causa della ristrettezza delle aree disponibili con cui in genere si deve confrontarsi.

In questa relazione si intende proporre una metodologia per la determinazione della capacità di stoccaggio, in modo da fornire ai decisori un supporto per una corretta valutazione economica dell'investimento, monetizzando dove possibile le perdite di efficienza causate dai colli di bottiglia. I risultati della ricerca e le ipotesi fatte saranno applicate a due diverse tipologie di terminal:

- inland terminal nella gestione dei container di derivazione marittima;
- terminal intermodali per la gestione di casse mobili e semi rimorchi del traffico combinato strada-rotaia.

## 1 Il concetto di capacità di un terminal intermodale

La capacità di un terminal intermodale può essere definita come il volume di contenitori che può essere movimentato e stoccato nelle apposite aree, in un determinato intervallo di tempo. Un razionale flusso di contenitori all'interno degli spazi attrezzati, richiede il contenimento dei periodi di congestione, su intervalli di tempo contenuti e occasionali.

La capacità del terminal è legata essenzialmente da una complessa interrelazione tra parametri fissi e statici (area di stoccaggio, altezza delle pile di contenitori, mezzi di movimentazione), ma anche da una serie di variabili che possono discostarsi in funzione del grado di efficienza con il quale gli operatori gestiscono il processo e che possono essere determinate dagli stessi per far fronte alle differenti esigenze operative che a loro si presentano.

Quando si parla di capacità viene utilizzata una grandezza

che sono determinati dalla catena delle operazioni a monte ed a valle del processo:

- un limite superiore ed inferiore è rappresentato dalla capacità di carico e scarico delle navi portacontainer per i terminal marittimi, e dei treni blocco per gli inland-terminal;
- nel caso di inland-terminal la capacità è regolata anche dai limiti legati agli orari in cui i treni possono viaggiare, caratterizzati da una certa rigidità e dalle dimensioni del fascio di arrivi e partenze dei treni dove i convogli possono essere fermati per procedere successivamente al carico ed allo scarico dei contenitori.

I fattori chiave che determinano la capacità operativa di un terminal sono due:

- capacità di stoccaggio e potenzialità delle infrastrutture di movimentazione<sup>2</sup>;
- tempo medio di sosta dei contenitori al terminal, considerando anche il periodo di accettazione dei convogli nel fascio arrivi-partenze.

La capacità massima di stoccaggio in TEU è funzione dell'area a essa destinata, ma tale valore assoluto determinerebbe ancora prima del raggiungimento di tale numero, degli intollerabili fenomeni di congestione. In base a recenti studi del National Port Council che si basano sull'analisi delle operazioni svolte all'interno di terminal marittimi e inland-terminal, il livello ottimale di utilizzazione si raggiunge quando si impiega circa il 60-65% della capacità massima di stoccaggio. Questa valutazione tiene conto di una certa tolleranza necessaria per fare fronte ad eventuali picchi di traffico nei periodi in cui il volume di container nel terminal sia superiore a quello medio.

### 1.1 Il calcolo empirico della capacità di stoccaggio dei terminal

Per definire in fase di pianificazione delle potenzialità di un futuro impianto, oppure in corso di operatività la capacità massima di un terminal si è cercato di definire delle formule analitiche, basate anche su considerazioni empiriche che siano utile per calcolare la capacità di stoccaggio.

La capacità  $C$  di un terminal in un dato periodo di riferimento (generalmente l'anno) è definita come:

$$C = \frac{L \cdot H \cdot W \cdot K}{D \cdot F}$$

dove:

- $L$  definisce la quantità di spazio espressa in mq. o TEU destinati alla sosta dei contenitori
- $H$  è l'altezza media per le sovrapposizioni
- $W$  è il coefficiente di sottoutilizzo "working slots" dell'area di stoccaggio dei contenitori
- $K$  è il numero di giorni del periodo esaminato (365 giorni)
- $D$  è il tempo di sosta medio dei contenitori nel terminal
- $F$  è il fattore di picco che tiene conto dei picchi registrabili nel flusso di contenitori movimentati nel terminal

Analizziamo nel dettaglio i singoli fattori:

#### *Spazio per lo stoccaggio (L)*

All'interno dei terminal le unità di carico vengono normalmente stoccate nelle aree di competenza, la cui estensione ed ubicazione tengono conto di diversi fattori come la tipologia di attrezzature di trasbordo: gru a portale o frontali gommate. A questo riguardo la Società nazionale per il trasporto combinato sembra privilegiare la concezione infrastrutturale fornita da moduli di 40 metri con gru a portale su guide e la predisposizione nella zona sottostante di tre binari ferroviari con lateralmente due file di stoccaggio dei contenitori. All'esterno del modulo insistono due corridoi per la presa e consegna dei mezzi stradali.

#### *Altezza media delle pile (H)*

Con questo termine si intende il numero medio di sovrapposizione dei contenitori. Il risultato si ottiene moltiplicando  $L$  per i livelli di sovrapposizione e che rappresenta la capacità statica del terminal senza tenere in considerazione altri fattori dinamici come i tempi di sosta, le fluttuazioni di carico ed il grado di efficienza del terminal. In questo senso risulterà utile ricordare che per le unità di carico del trasporto combinato si dovranno predisporre delle aree specifiche per semirimorchi e casse mobili che non accettano la sovrapposizione. Per fornire un ordine di grandezza ricordiamo che i container accettano un grado di sovrapposizione compreso tra 3 ed 8 in funzione del posizionamento del terminal, delle attrezzature disponibili e della disposizione di contenitori pieni o vuoti.

#### *Coefficiente di sottoutilizzo (W)*

Viene definito un margine programmato di spazio vuoto per evitare una diminuzione della efficienza operativa. In pratica si definisce una quota percentuale di sottoutilizzo, ad esempio 30% che significa il 70% come spazio disponibile per lo stoccaggio. Un classico caso di inefficienza operativa è costituito dalle movimentazioni multiple per la ricerca di un contenito-

re all'interno delle aree di stoccaggio. I contenitori vengono movimentati più volte e gli stessi operatori hanno difficoltà a trovare posizioni ottimali per i medesimi.

#### *Numero di giorni del periodo (K)*

Il fattore  $K$  rende possibile l'applicazione degli aspetti temporali al flusso di container. Dal momento che lo stoccaggio dei contenitori interessa tutte le giornate indipendentemente dal fatto che siano feriali o festivi, deve essere espresso in giorni.

#### *Tempo medio di sosta (D)*

Per questo fattore valgono le stesse considerazioni fatte per  $K$ . La capacità di un terminal risulta essere molto sensibile a questo fattore e diviene centrale il problema della sua massima precisione. Appare chiaro che ogni slot disponibile viene utilizzato  $n$  volte all'anno e quindi il tasso di riutilizzo dipende dai tempi di sosta di ogni container. La capacità di un terminal è inversamente proporzionale al tempo medio di sosta e pertanto all'aumentare di quest'ultimo la capacità diminuisce. Quando i tempi di sosta sono brevi le loro variazioni fanno cambiare di molto la capacità, mentre nel caso di tempi abbastanza lunghi la sensibilità della capacità al loro cambiamento è inferiore. Nel caso i tempi di sosta siano molto fluttuanti e ciò avviene in condizioni di elevato utilizzo del terminal gli operatori incontrano numerose difficoltà nella operatività quotidiana.

Normalmente nei terminal marittimi si possono rilevare dei tempi di sosta compresi tra i 5 -7 giorni in funzione della frequenza degli approdi delle linee marittime delle navi portacontenitori. Per gli inland terminal in passato le operazioni avvenivano nell'arco delle 12 ore successive alla disposizione del contenitore, oggi nella prospettiva di inserimento delle unità di carico intermodali nella catena logistica di produzione, il contenitore funge da magazzino viaggiante e quindi impone un periodo di sosta superiore con maggiori variazioni temporali.

#### *Fattore di picco (F)*

Il flusso di contenitori che viene gestito da un terminal non è costante ed è per questo che bisogna tenerne conto tramite una adeguata tolleranza nel livello di stoccaggio per poter far fronte ai picchi di traffico. Il fattore  $F$  quindi rappresenta la misura degli eccessi di volume containers rapportata al loro flusso medio in un determinato periodo.

Una volta determinato  $F$  e fissato il valore di  $W$  se si divide  $W$  per  $F$  si ottiene il livello medio di occupazione di tutte le posizioni disponibili in un determinato periodo che viene definito da  $M_o$ .

$$M_o = \frac{W}{F}$$

Rilevazioni su situazioni reali hanno dimostrato che i primi segni di congestione compaiono quando il terminal raggiunge il 70% della sua massima operatività.

1.1.1 Una applicazione di calcolo della capacità di stoccaggio di un terminal

I risultati teorici a cui si è pervenuti sono stati verificati con una indagine per il calcolo della capacità di stoccaggio di un piazzale di superficie pari a 18.000 mq. Nell'indagine sono

state raffrontate le performance di un terminal terrestre container (inland-terminal) con quelle di un'area destinata al trasporto combinato strada-rotaia come illustrato nelle successive tabelle 1, 2 e 3.

Area di ingombro contenitori (in mq.)	40'	20'	TEU	Numero contenitori*
Gru semoventi frontali	35	18.20	18	1.000
Gru a portale	32.86	16.96	16.7	1.080

Note: \* il numero di contenitori si intende in TEU.

**Tabella 1: Dati e parametri caratteristici dei contenitori**

	Container			Casse mobili		
	vuoti	38%	5	vuoti	32%	1
Grado di sovrapposizione	pieni	62%	3	pieni	68%	1
Capacità teorica di impilamento			3,76			1,0
Capacità teorica di deposito in TEU			3.760			1.000
Coefficiente di sottoutilizzo			0,7			0,85
Capacità reale di stoccaggio			2.632			850
Tempo di sosta medio in gg.	vuoti		9,91	vuoti		5
Tempo di sosta medio in gg.	pieni		3,32	pieni		1
F coef. di picco			6,19			2,76
Mo = W/F			1,179			1,179
Capacità terminal in TEU / anno			0,593			0,721
			131.636			66.949

**Tabella 2: Calcolo della capacità di stoccaggio di un terminal attrezzato con gru semoventi frontali gommate**

	Container			Casse mobili		
	vuoti	38%	5	vuoti	32%	1
Sovrapposizione	pieni	62%	3	pieni	68%	1
Capacità teorica di impilamento			3,76			1,0
Capacità teorica di deposito in TEU			4.060			1.000
Coefficiente di sottoutilizzo			0,95			1
Capacità reale di stoccaggio			3.857			1.000
Tempo di sosta medio in gg.	vuoti		9,91	vuoti		5
Tempo di sosta medio in gg.	pieni		3,32	pieni		1
F coef. di picco			6,19			2,76
Mo = W/F			1,179			1,179
Capacità terminal in TEU / anno			0,806			0,848
			184.150			112.320

**Tabella 3: Calcolo della capacità di stoccaggio di un terminal attrezzato con gru a portale su guide**

L'esito finale dei calcoli effettuati evidenzia le maggiori potenzialità di stoccaggio annuale offerte dai terminal container rispetto al settore del trasporto combinato. I motivi sono essenzialmente legati alla impossibilità tecnica di sovrapporre le unità di carico del trasporto combinato, anche se queste ultime registrano dei tempi di sosta decisamente più contenuti rispetto al container. Inoltre sul piano dello sfruttamento intensivo degli spazi per lo stoccaggio, i terminal attrezzati con gru a portale hanno evidenziato capacità di stoccaggio superiori del 40% per i containers e del 70% per le casse mobili rispetto all'utilizzo di gru frontali gommate.

### **1.2 Capacità operativa e livello del servizio di un terminal intermodale**

Al fine di valutare l'influenza dei fattori operativi interni nella qualità dell'offerta prestazionale di un terminal intermodale sono stati esaminati i cosiddetti colli di bottiglia che limitano la capacità operativa e qual è l'indicatore determinante per stabilire la capacità massima operativa di un terminal.

La capacità teorica di un terminal è condizionata innanzitutto dal numero massimo di treni/gg. programmabili. Da misurazioni effettuate nei principali terminal nazionali si è potuto verificare che ogni binario operativo (di almeno 550-600 metri) può gestire al massimo 3-4 coppie di treni/gg, a cui corrispondono circa 90-120 carri ferroviari che generano in funzione della tecnica e delle tipologie di traffico intermodale diversi risultati. Da recenti stime si può supporre che per ogni metro lineare di binario operativo debbano corrispondere circa 30 mq. di area dedicata al fine di garantire una buona organizzazione interna.

Nell'ottica di aumentare le potenzialità di ogni binario operativo è consigliabile prevedere nel futuro la possibilità di affiancare nella zona operativa, dei binari di sosta temporanea dei treni blocco, una volta terminate le operazioni di carico-scarico, per non impegnare ulteriormente la zona operativa, aumentando le potenzialità in termini di treni/gg per binario operativo.

Dalle prime analisi svolte appare difficile definire la capacità di un terminal relazionata alle variabili dimensionali, infrastrutturali e di esercizio ferroviario. Anzi queste ultime possono definire esclusivamente dei valori di riferimento minimi e massimi raggiungibili da una infrastruttura di interscambio.

Decisivi diventano nella operatività di un terminal, ad esempio le relazioni tra i fattori esterni, interni e le risorse umane nella gestione delle informazioni. In questo senso è più opportuno ricercare quale è il collo di bottiglia che vincola la capacità di un terminale identificare qual è l'elemento critico che mi consente di dimensionare le strutture di un terminal al fine di evitarli e al contempo prevenire fenomeni di congestione lungo la catena operativa.

Per fattori interni intendiamo ad esempio:

- numero e capacità dei gate di ingresso al terminal;
- tipologia dei mezzi di trasbordo<sup>3</sup>;
- coefficiente di efficienza globale del terminal;
- fattore di contemporaneità di servizio;

- numero di addetti;
- numero e potenzialità dei binari operativi;
- aree disponibili per lo stoccaggio delle unità di carico;
- gestione dei contenitori vuoti;
- tempo medio per le operazioni di carico e scarico delle unità di carico;
- tempo medio per il ciclo di movimentazione del convoglio;
- tempo medio di sosta del contenitore;
- ore/giorno e ore/anno di lavoro del terminal;
- tipologia delle unità di carico.

#### *1.2.1 Numero e capacità dei gate di ingresso*

Il primo collo di bottiglia di un terminal in termini di importanza e nell'ordine della catena organizzativa di produzione del servizio è certamente costituito dal gate di ingresso. In questo punto vengono assunti i principali elementi che poi condizioneranno la risposta prestazionale del terminal in termini di efficienza complessiva. Centrale diviene il nodo della gestione delle informazioni fra i tre principali attori coinvolti:

- autista del mezzo stradale,
- operatore della gru;
- cervello del centro operativo di coordinamento.

#### *1.2.2 Coefficiente di efficienza globale di un terminal*

Per coefficiente di efficienza globale di un terminal si intende il rapporto tra il numero di unità di carico effettivamente movimentate e il numero che sarebbe possibile movimentare teoricamente. Tale rapporto è influenzato dal numero di contenitori (congestione del traffico), da fattori ambientali, disponibilità immediata di mezzi di movimentazione, sistema di gestione del terminal (capacità di schedulare le attività in modo corretto, sequenzialità delle operazioni, picchi di attività nel rispetto dei tempi operativi, ispezioni doganali per alcuni traffici internazionali, etc.).

#### *1.2.3 Aree disponibili per lo stoccaggio*

L'area di stoccaggio data la specializzazione delle aree potrà essere valutata e/o raggiunta una volta che il traffico si sarà consolidato, non essendo disponibili in molti casi i dati sulla composizione del traffico, si ritiene più opportuno fare a posteriori una ulteriore specializzazione in settori dedicati.

#### *1.2.4 Fattore di contemporaneità di servizio*

In ogni sistema fisico in cui operano delle macchine è necessario tener conto della possibilità di gestire dei picchi di traffico che modificano sensibilmente i risultati previsti da una richiesta media costante. La possibilità del sistema di far fronte a tali picchi deve essere prevista al fine di garantire la continuità del servizio.

#### *1.2.5 Gestione dei contenitori vuoti*

La movimentazione dei contenitori pieni costituisce l'elemento di maggiore valore aggiunto, mentre la gestione di vuoti dovrà essere effettuata con macchine dedicate in modo da ridurre i costi di handling per singolo contenitore. La loro locazione all'interno del terminal non costituisce problema, in

quanto ricavata negli spazi disponibili. Per le unità di carico vuote non vi sono generalmente problemi di selettività ed il deposito può essere effettuato in modo casuale. In situazioni di traffico elevate potrà essere preferibile ricercare aree esterne o adiacenti al terminal per la gestione dei vuoti al fine di migliorare la circolazione e le potenzialità della zona operativa del terminal.

## 1.2.6 Considerazioni conclusive

Una valutazione a priori dell'efficienza globale di un terminal non è possibile in maniera accurata e dipende per la sua totalità dall'esperienza specifica, relazionata alle capacità di ottimizzare il flusso fisico e delle informazioni all'interno del terminal. A tale scopo è forse più opportuno utilizzare un coefficiente globale di efficienza del terminal che tiene conto di tutti i fattori interni qui identificati che condizionano l'efficienza reale rispetto a quella teorica.

E' presumibile che alla fine di ogni processo di pianificazione delle aree di stoccaggio di un terminal contenitori si determineranno diversi livelli di servizio a cui si accompagneranno differenti livelli di capacità operativa del terminal.

## NOTE

<sup>1</sup> La C.E.M.T. in un suo recente documento riconosce l'opportunità di due definizioni della nozione di terminal:

- piattaforma logistica dove oltre allo scambio di unità di carico dalla strada alla rotaia possono essere assicurate anche operazioni tecniche e commerciali legate in modo complementare al trasporto combinato;
- nodo di trasferimento per il terminal di puro trasferimento modale.

<sup>2</sup> La scelta dei mezzi di movimentazione è connessa principalmente all'entità del traffico, alla grandezza e alla collocazione delle aree di deposito ed al grado di flessibilità richiesto dal sistema

<sup>3</sup> Il trasbordo delle merci avviene essenzialmente con due tecniche:

- *verticale* con l'ausilio di una gru semovente gommata (gru frontali o laterali) con capacità di portata da 35 ton. a 45 ton. Con la crescita dei traffici vengono utilizzate gru a portale gommate o su vie di corsa fisse. Data la differente temporizzazione degli arrivi e delle partenze tra mezzi stradali e servizi ferroviari, si rende necessaria una zona di stoccaggio delle unità di carico che, a seconda del sistema di movimentazione, della natura del carico e del tempo di deposito può essere ricavata in adiacenza al binario (per i contenitori) e/o in aree limitrofe (per semirimorchi e automezzi).
- *orizzontale* in cui vengono trasbordate le unità di carico non idonee alla movimentazione a mezzo gru. A causa della limitata produttività, questa tecnica di carico oggi è scarsamente o addirittura totalmente inutilizzata. Gli impianti in genere vengono realizzati all'interno di aree ferroviarie già esistenti (centri intermodali).

## RINGRAZIAMENTI:

Si ringraziano per la collaborazione l'ing. Eugenio Muzio, l'ing. Franco Ercolani e l'ing. Francesco Maternini della Società Nazionale di Trasporto Combinato, Cemat SpA.

## BIBLIOGRAFIA:

AA. VV. *Containers: their handling and transport. A survey of current practice*, National Port Council, 1978;

AL KAZILY J., *Productivity at marine-land container terminals*, in Transportation Research Record 907, 1983;

CATALANI M., *Esternalità positive ed ottimizzazione delle operazioni in un terminal contenitori marittimo*, S.I.E.T., Trieste, 19-21 maggio 1997;

DE CASTILHO B., DAGANZO C. F., *Handling Strategies for import containers at marine terminals*, in Transportation Research B, v. 27b, n. 2, 1993;

DOWD T. J., LESCHINE T. M., *Container terminal productivity: a perspective*, in Maritime Policy and Management, vol. 17, n. 2, 1990;

ERCOLANI F., *L'impresa di trasporto intermodale, corso di Formazione Professionale nel settore del trasporto merci e della logistica*, Università di Trieste, 1997;

European Intermodal Yearbook *Intermodal transport, equipment and service*, Cargo System Publication, 1997;

EURET *Smart Intermodal European Transport, Transportation Research Euret Intermodal Transport*, Simet, European Communities 1997;

HEE K. M. VAN, WIJBRANDS R. J., *Decision support system for container terminal management*, in European Journal of operation research, vol. 34, 1988;

MUZIO E., *Appunti sul trasporto intermodale merci*, 1988 (dattiloscritto);

MUZIO E., *Il terminal intermodale*, Conferenza sul Trasporto Combinato in Europa, Istituto di Ricerca Internazionale, Milano, 24 e 25 gennaio 1996;

RADZIKOWSKI P., *Rail and water terminal interface*, in transportation research record 907, 1983;

REGIS. A. S., *L'automazione nello stivaggio dei container*, in Trasporti Industriali, n. 317-318, Luglio-Agosto 1985;

TALEB-IBRAHIMI M., DE CASTILHO B., DAGANZO C. F., *Storage space as handling work in container terminals*, in transportation research B, vol. 27B, n. 1, 1993;

TALLEY W. K., *Optimum throughput and performance evaluation of marine terminals*, Maritime Policy and Management, vol. 15, n. 4, 1988;

TRANSTEC, *Manuale di progettazione degli interporti*, Volume 1 e 2, C.N.R. 1987;

VALLEGA A., *Unitizzazione e ciclo del trasporto*, Camera di Commercio di Savona, 1984;