
UNIVERSITÀ DI GENOVA
SCUOLA DI SCIENZE SOCIALI
DIPARTIMENTO DI ECONOMIA



Tesi di laurea magistrale in
economia e management
marittimo e portuale

**Ottimizzazione degli spazi all'interno di uno yard
portuale: approcci per il miglioramento delle politiche
di gestione dei cicli di export nel terminal Lorenzini**

Relatore: Daniela Ambrosino

Candidato: Riccardo Ciucci

Anno accademico
2023/2024

Ringraziamenti

Prima di procedere con la trattazione, mi sembra doveroso dedicare uno spazio per ringraziare tutte le persone che, con il loro supporto, mi hanno aiutato in questo meraviglioso viaggio di approfondimento delle conoscenze acquisite durante gli anni di magistrale.

Ringrazio la professoressa Ambrosino, per avermi guidato e supportato nella fase più importante del mio percorso accademico ed avermi affiancato nella stesura dell'elaborato.

Ringrazio i miei colleghi Dario e Matteo, per essermi stati accanto in questo periodo intenso e per avermi permesso, con la loro disponibilità, di seguire le lezioni in modo completo e puntuale. Senza il vostro supporto tutto sarebbe stato più complesso.

Grazie di cuore a mia moglie, alla mia mamma, al mio babbo, e alla mia famiglia tutta per aver compreso le mie esigenze di crescita ed averle da subito condivise, nonostante i mille impegni e le responsabilità cui devo render conto. Il vostro supporto è stato e sarà sempre la base di tutto.

Ai miei figli, per i quali spero di esser stato fonte d'esempio e futura ispirazione – volere è potere – senza eccezioni. Seguite con forza e impegno tutti i percorsi che riterrete opportuno seguire, senza scuse. Siete la mia vita.

A nonno...

Abstract (italiano)

L'elaborato che andremo a presentare tratta temi relativi alle politiche di gestione dei piazzali localizzati all'interno delle aree portuali, con specifico riferimento a quelli impiegati per la gestione di containers.

Le motivazioni che mi hanno spinto ad approfondire questo tema hanno una natura fortemente legata alla attività lavorativa che attualmente svolgo per conto dell'azienda Lorenzini & C. srl, che prevede appunto la gestione professionale delle aree in concessione con lo scopo di permettere un espletamento fluido dei cicli di import-export che interessano il terminal.

L'obiettivo del lavoro svolto è quello di riuscire ad introdurre nuovi strumenti che siano in grado di apportare modifiche migliorative alle regole di gestione dei piazzali attualmente implementate.

Per raggiungere lo scopo si presentano due metodi differenti. Il primo prevede la costruzione di una base di dati relativa ai contenitori caricati in un determinato periodo, relativamente alle quantità medie ed alla distribuzione dei pesi, che vengono organizzati ed analizzati sfruttando le potenzialità dei fogli di calcolo di excel.

Il secondo metodo prevede la costruzione e l'implementazione di un modello di PLI 0/1 che restituisca una soluzione ottimizzata rispetto allo stoccaggio dei contenitori appartenenti ad una determinata load list, in relazione alle baie a disposizione.

I risultati presentati forniscono risposte sicuramente positive rispetto all'efficacia degli strumenti proposti, che hanno portato ad un aumento della produttività e, in prospettiva futura, ad un ulteriore miglioramento della fluidità dei cicli di lavorazione.

Abstract (english)

The study we are going to present deals with issues relating to the management of yards located within port areas, with specific reference to those used for container management.

The motivations that prompted me to investigate this topic are strongly linked to the work I currently carry out on behalf of the company Lorenzini & C. srl, which precisely involves the professional management of the areas under concession with the aim of enabling the smooth execution of the import-export cycles involving the terminal.

The main aim of this work is to be able to introduce new tools to improve the currently implemented yard management rules.

Two different methods are presented to achieve this goal. The first involves the construction of a database of containers loaded in a given period, with regard to average quantities and weight distribution, which are organized and analyzed using the potential of Excel spreadsheets. The second method involves the construction and implementation of a 0/1 IPL model that returns an optimized solution with respect to the storage of containers belonging to a given load list, in relation to the available bays.

The results presented give undoubtedly positive responses to the effectiveness of the proposed tools, which have led to an increase in productivity and, in the future, to a further improvement in the smoothness of processing cycles.

Indice

Introduzione.....	7
1. La portualità italiana: un quadro generale.....	9
2. Terminal container e politiche di gestione di uno yard portuale	
2.1 Cos'è e come funziona un terminal container.....	12
2.2 Servizi offerti.....	15
2.3 Situazione relativa ai principali terminal italiani nel 2022.....	16
2.4 Yard planner e politiche di yard management.....	20
3. L'ambiente di riferimento: il terminal Lorenzini	
3.1 Lorenzini & C. s.r.l. – la storia del terminal.....	27
3.2 Dimensioni e prestazioni del terminal.....	33
3.3 Linee di traffico servite.....	40
3.4 Lorenzini yard – organizzazione delle aree di piazzale.....	42
3.5 Lorenzini yard – innovazioni nelle politiche di gestione.....	47
4. Modelli di programmazione	
4.1 Modelli di PL: introduzione generale.....	62
4.2 Descrizione del modello di PLI 0/1.....	64
4.3 Definizione del modello in AMPL.....	73
4.4 Applicazione del modello – il contesto di riferimento.....	86
4.5 Applicazione del modello – soluzione con 3 classi di peso.....	89
4.6 Applicazione del modello – soluzione con 2 classi di peso.....	105
4.7 Applicazione del modello – comparazione dei risultati e considerazioni.....	113
Conclusioni.....	117
Bibliografia e sitografia.....	119

Introduzione

Al giorno d'oggi circa l'80-90% delle merci (se ne consideriamo il peso) o circa il 70% (se ne consideriamo il valore), viene trasportato via mare e, in particolare, passa da un porto all'altro grazie a circa 100.000 grandi navi da carico. Buona parte di queste merci, quelle che, generalmente, sono caratterizzate da un valore unitario maggiore, vengono spostate mediante l'utilizzo dei containers. Per la movimentazione di queste unità di carico, standardizzate ed omogenee nella forma e dimensione, è necessario che gli scali portuali siano strutturati in modo adeguato sia a livello di infrastrutture (materiali e immateriali) che di sovrastrutture, tali da permettere una efficiente ed efficace gestione dei cicli di lavorazione.

Nei terminal container, anche alla luce degli importanti sviluppi tecnologici introdotti "lato banchina" (che hanno reso maggiormente produttive le operazioni di carico/scarico nave), i bottleneck operativi sono stati spostati sulle questioni che riguardano appunto lo yard e le sue implicazioni; conseguentemente, una buona organizzazione dei cicli di lavorazione è senza dubbio legata ad una altrettanto efficiente ed efficace gestione dei piazzali di stoccaggio.

Alla base di questo elaborato c'è appunto la volontà di approfondire questa problematica, al fine di cercare, sfruttando le conoscenze acquisite durante il percorso di studi, di fornire strumenti che mirino ad ottimizzare le precedenti politiche di stoccaggio attuate al terminal. Lo studio è stato condotto sull'azienda Lorenzini & C. srl, operante all'interno del porto di Livorno.

L'obiettivo è quello di migliorare la gestione dei processi di lavorazione, attraverso una analisi dei dati storici, da cui estrarre spunti di riflessione importanti al fine di determinare le future politiche di gestione da implementare sui piazzali.

La tesi è suddivisa in quattro capitoli, escludendo la presente introduzione nonché le riflessioni conclusive.

Il primo capitolo cerca di inquadrare il contesto generale della portualità italiana, con una presentazione del modello *landlord*, attraverso la quale si cerca di chiarire il ruolo rivestito rispettivamente dal soggetto pubblico e dal soggetto privato nello sviluppo del porto e nella sua competitività.

Nel capitolo successivo, si propone una descrizione generale circa il funzionamento di un terminal container standard, soffermandoci in particolare sulle politiche di gestione dei piazzali implementate comunemente in questa tipologia di terminal.

Nella seconda parte dell'elaborato, l'attenzione si sposta invece sull'ambiente specifico di riferimento.

In apertura del terzo capitolo viene presentata la storia del terminal Lorenzini, con un breve richiamo alle principali caratteristiche dimensionali e prestazionali dell'azienda. Sempre con riferimento al contesto del terminal, viene proposta una descrizione dettagliata degli spazi in concessione e di come questi vengono organizzati al fine di una efficace gestione dei volumi di lavorazione. All'interno del capitolo viene poi dato ampio spazio alla analisi condotta sui volumi di imbarco relativi alle navi in transito dal terminal nel 2021, soffermandoci sulle modalità con cui i dati sono stati estratti dal TOS ed organizzati all'interno dei fogli di calcolo; chiude un paragrafo in cui si presentano i risultati ottenuti in termini di aumento della produttività.

Nella quarta ed ultima sezione dell'elaborato si presenta un modello matematico costruito con lo scopo di ottimizzare lo stoccaggio di un determinato numero di contenitori, dei quali si conoscono le informazioni principali in termini di destinazione/altezza/dimensione e peso, all'interno di un contesto spaziale definito. Il capitolo si apre con una introduzione generale rispetto a cos'è un modello di programmazione lineare; successivamente viene presentata la struttura del modello configurato, con una descrizione esaustiva dei singoli elementi che lo compongono. In ultima analisi si concentra l'attenzione sulla descrizione dei risultati ottenuti relativamente a due scenari ipotetici differenti, rispettivamente caratterizzati da una suddivisione dei contenitori per due o tre classi di peso. Tali risultati sono stati poi comparati con quanto accaduto nella realtà operativa, per la gestione delle medesime unità di carico.

CAPITOLO 1

1.1 La portualità italiana: un quadro generale

La governance portuale, in Italia, riflette il landlord port model, caratterizzato dalla compresenza di due soggetti pubblico e privato che, con ruoli e responsabilità diverse, hanno come obiettivo comune quello di raggiungere un equilibrio sostenibile tra interessi pubblici e privati. I soggetti in questione sono rappresentati da un ente gestore concentrato sullo sviluppo dei traffici e sulla programmazione del territorio (Autorità di sistema portuale), e da imprese private che gestiscono servizi di cargo handling quali sono, appunto, i terminal portuali.

La convergenza di obiettivi tra pubblico e privato dovrebbe sostanziarsi nello sviluppo del porto e quindi nell'ottimizzazione delle sue capacità di attrarre clienti, ossia compagnie di shipping e volumi di traffico.

La responsabilità dell'ente gestore riguarda lo sviluppo economico del porto-territorio, in un'ottica di sostenibilità, e contempla la realizzazione e manutenzione degli accessi marittimi e terrestri, nonché delle banchine e dei piazzali da affidare in concessione ai privati.

La responsabilità degli operatori privati si estrinseca, invece, nello svolgimento di un'attività industriale coerente rispetto agli obiettivi fissati dall'ente gestore ed alla attrezzatura dell'area loro affidata in concessione dietro pagamento di canone. Tale attività deve essere improntata al mantenimento di un proprio equilibrio economico duraturo e sostenibile, orientato quindi alla creazione di valore.

I terminal portuali sono aziende che operano quindi, come accennato, in regime di concessione conferita da un Ente pubblico, ed esercitano la propria attività secondo le seguenti linee generali: acquisizione di fattori produttivi atti a consentire l'ottenimento del servizio, la produzione del servizio attraverso processi tecnici ed economici, la vendita del servizio. Si tratta di un servizio strumentale al trasporto in quanto consente il passaggio della merce da un mezzo marittimo ad un altro mezzo marittimo che segue rotte diverse.

Il processo attraverso il quale si estrinseca il servizio comporta lo svolgimento di attività connesse alla ricezione della merce nei piazzali o magazzini di stoccaggio ed alle relative operazioni di movimentazione della merce per sbarco ed imbarco da e verso i mezzi di trasporto interessati. Tale processo può comprendere, come vedremo successivamente, anche altre attività di supporto alle prime quali ad esempio la custodia dei contenitori, il loro posizionamento per verifiche di vario tipo e la produzione documentale che deve accompagnare le suddette operazioni. Solitamente il processo è disarticolato in tre sub sistemi: importazione via camion/treno; esportazione via nave/treno; e trasbordo feeder/relay. Gli input del processo sono rappresentati dalle risorse umane, tecniche ed informatiche nonché finanziarie che, variamente combinate concorrono all'ottenimento dell'output ossia alla resa del servizio. L'efficacia del processo realizzato dal terminalista risente delle condizioni di operatività del porto realizzate dalla governance portuale; esse sono in parte riconducibili alle strutture ed infrastrutture dell'area, ed in parte alle linee strategiche che le autorità competenti intendono sviluppare.

La struttura patrimoniale dell'impresa terminalista presenta carattere di rigidità per l'elevata presenza di immobilizzazioni tecniche di cui il terminal deve essere dotato e per gli investimenti in ICT finalizzati a velocizzare le operazioni e le comunicazioni tra i vari soggetti che direttamente e indirettamente partecipano all'attività del terminal. La struttura finanziaria dell'impresa terminalista presenta anch'essa intrinseci connotati di rigidità legati appunto alla tipologia di investimenti cui sono destinati i finanziamenti. Con riferimento all'area economica, tra i costi che caratterizzano la gestione del terminal quelli più rilevanti riguardano il personale. Considerata la specificità del lavoro svolto ed il grado di sicurezza richiesto nell'espletamento delle operazioni portuali, è importante che la forza lavoro sia qualificata e possieda capacità e competenze per ottimizzare la produttività, la velocità e la sicurezza del processo. Queste imprese possono appaltare parte delle attività da terze economie, ciò consente loro di flessibilizzare la struttura economica e di rispondere ai picchi di domanda senza appesantire i costi fissi. Dal lato dei ricavi qualche riflessione si rende necessaria. Va infatti ricordato che la domanda di servizi terminalisti, come quella del trasporto, è una domanda derivata ed in quanto tale risente degli accadimenti macroeconomici e della loro ciclicità. Ciò rende alquanto problematiche le decisioni inerenti alla dimensione della capacità produttiva da allestire

e alla definizione delle aree da chiedere in concessione. Per le stesse ragioni la programmazione di uno sviluppo di traffico assume per queste imprese elevata criticità e, comunque, una loro valutazione economica richiede un arco temporale di riferimento pluriennale, tale da contemplare l'intero ciclo di ascesa e discesa della domanda; quanto appena espresso contrasta con quanto previsto dalla normativa che richiede, da parte dell'Autorità Portuale, verifiche annuali sull'effettivo raggiungimento da parte del terminalista dei valori indicati nel Piano di impresa.

CAPITOLO 2

2.1 Cos'è e come funziona un terminal container

Un terminal container, come detto, è una struttura all'interno della quale vengono movimentati carichi unitizzati, cioè merci contenute all'interno di unità di carico intermodali: container, casse mobili e ISO tank. Grazie alla standardizzazione dei contenitori, la merce può essere movimentata in maniera rapida, sicura ed efficiente, utilizzando pacheo, gru semoventi a sbraccio, gru a portale RTG/RMG, carrelli e reach stacker per trasferire da una modalità di trasporto all'altra, riducendo tempi e costi.

I terminal container possono trovarsi all'interno di un porto (terminal container marittimi), oppure nell'entroterra (terminal intermodali, anche noti come dry port). L'attività principale di un terminal container è il trasferimento delle unità di carico da una modalità di trasporto all'altra, mentre le attività di supporto prevedono lo stoccaggio temporaneo dei contenitori e servizi a valore aggiunto, come la manutenzione e la riparazione delle unità di carico e, in alcuni casi, il consolidamento e deconsolidamento dei carichi stessi, all'interno delle cosiddette Container Freight Stations.

In breve, un terminal può essere definito come un luogo in cui l'impresa terminalista, con adeguati mezzi attrezzature e personale, svolge le operazioni di movimentazione necessarie per trasferire merci da un mezzo di trasporto in arrivo al terminal ad un altro mezzo in partenza.

Un terminal portuale per contenitori, in termini generali, può essere considerato come formato da quattro sottoinsiemi:

- Il *landside* o il *quayside*, ovvero il gate e la banchina, che rappresentano l'interfaccia tra il terminal ed il mondo esterno e sono le porte attraverso le quali i contenitori entrano e lasciano il terminal.
- Lo *storage system*, cioè lo yard (piazze), dove i contenitori in attesa di trasbordo o di proseguire il loro viaggio verso terra o verso mare, vengono stoccati.

Le aree di stoccaggio sono generalmente organizzate in modo coerente con i cicli operativi e la tipologia di merci lavorate dal terminal; relativamente alle aree di piazzale possiamo distinguere:

- Una zona destinata allo stoccaggio dei contenitori pieni in partenza (export stack)
 - Una zona destinata allo stoccaggio dei contenitori pieni in importazione o sbarcati ed in attesa di trasferimento all'utente finale (import stack)
 - Una zona destinata allo stoccaggio dei contenitori vuoti
 - Una zona destinata allo stoccaggio dei contenitori che presentano particolari necessità di stivaggio, quali ad esempio i contenitori reefer o ADR.
 - Una zona destinata allo stoccaggio dei contenitori in visita, o in attesa di tramacco della merce.
 - Una zona che ospita gli uffici e i gate di accettazione merci.
- Il *cargo handling system*, che connette le interfacce con il piazzale ed è costituito da una rete di mezzi per la movimentazione dei container all'interno del terminal.

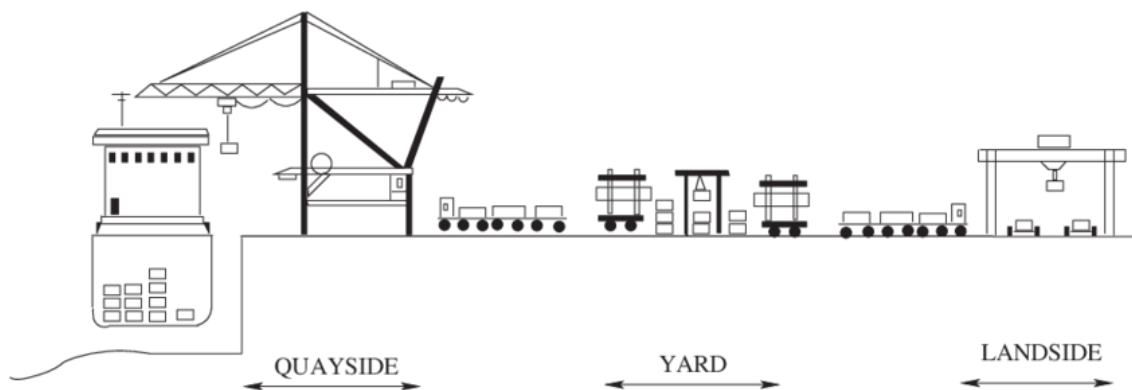


Fig. 2.1 – Sezione schematizzata di un terminal portuale containerizzato.

Prendendo come riferimento la figura 2.1, possiamo riuscire ad inquadrare con facilità quelli che sono i tre principali cicli operativi che un terminal containerizzato deve saper gestire in modo efficiente: *ciclo di import*, *ciclo di export* e *ciclo di transshipment*.

Con ciclo operativo si intende l'insieme delle lavorazioni svolte dal terminal containerizzato necessarie per eseguire il passaggio delle unità da un vettore ad un altro mediante processi operativi standardizzati e ordinati secondo successioni di operazioni ben definite.

Possiamo quindi dire che un ciclo operativo rappresenta il percorso del contenitore all'interno del terminal, percorso che procede generalmente da un'entrata, ad un punto di stoccaggio e quindi ad un'uscita.

I cicli operativi corrispondenti ai tre flussi che attraversano il terminal sono, come sopra accennato, i seguenti:

- *Ciclo di import*: caratterizzato da un flusso di contenitori che arrivano dalla banchina (quayside), vengono stoccati temporaneamente sullo yard, per poi essere processati dal gate e riconsegnati (landside) proseguendo il loro viaggio verso il ricevitore finale
- *Ciclo di export*: caratterizzato da un flusso di contenitori che seguono il percorso opposto, ovvero vengono accettati in ingresso lato terra per poi essere stoccati e quindi proseguire il loro viaggio via mare.
- *Ciclo di transhipment*: riguarda quei contenitori che arrivano al terminal via mare, per essere stoccati temporaneamente e a loro volta reimbarcati su un'altra nave per giungere alla destinazione finale.

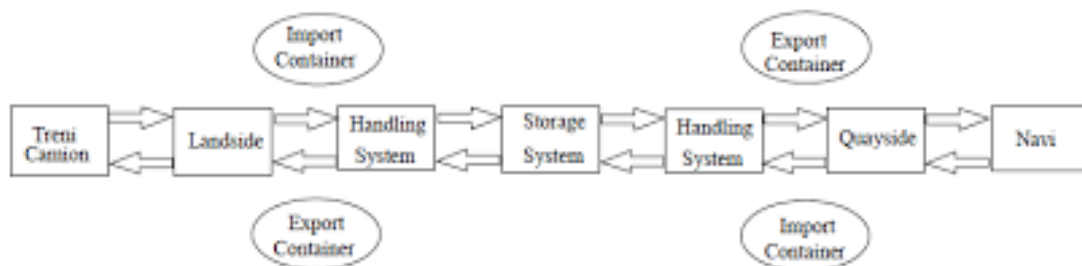


Fig. 2.2 – Flussi operativi

Le attività elementari, cioè non scomponibili, in cui può essere suddiviso un ciclo operativo sono dette appunto “operazioni”. Ogni operazione prevista è connessa con le altre immediatamente precedenti e successive ad essa, all'interno di una sequenza ben definita e ripetitiva di attività. Facendo una scomposizione schematica dei cicli appena descritti, ognuno di questi può essere definito come un insieme di operazioni elementari.

Con riferimento a quanto suddetto il ciclo di importazione relativo ai contenitori in arrivo via mare si compone, ad esempio, delle seguenti operazioni elementari:

- Gru sbarca il contenitore caricandolo sulla ralla

- Ralla trasporta il contenitore nella posizione prevista sul piazzale
- Mezzo di terra (reach stacker/RTG/RMG) scarica il contenitore dalla ralla
- Mezzo di terra ricarica il contenitore sul camion che lo trasporterà a destinazione

In modo diametralmente opposto si configura invece il ciclo di esportazione, che parte con la RS che scarica sul piazzale un contenitore in arrivo lato terra e si completa con l'imbarco sulla nave ad opera della gru di banchina.

Il ciclo di transshipment è, invece, così composto:

- Gru sbarca il contenitore caricandolo sulla ralla
- Ralla trasporta il contenitore nella posizione prevista sul piazzale
- Mezzo di terra (reach stacker/RTG/RMG) scarica il contenitore dalla ralla
- Al momento dell'imbarco, il mezzo di terra ricarica nuovamente il contenitore sulla ralla
- Ralla trasporta il contenitore sotto la gru
- Gru imbarca il contenitore

2.2 Servizi offerti

I terminal container rappresentano i nodi intermedi delle supply chain globali, che collegano tra loro i mercati di produzione e consumo. Per questo motivo al loro interno è spesso possibile trovare servizi accessori, come quelli di manutenzione e riparazione dei contenitori e di gestione delle operazioni doganali.

Queste ultime consistono nei controlli documentali e fisici effettuati dalle agenzie doganali sulla merce importata. Questa attività di controllo è tradizionalmente concentrata all'interno dei terminal marittimi che svolgono funzione di gateway per l'import extracomunitario.

I processi doganali, e in particolare l'efficienza delle procedure di controllo e sdoganamento delle merci, influenzano profondamente la catena logistica e il lavoro del terminal container all'interno dei gateway portuali; processi doganali rapidi ed efficienti permettono di ridurre costi e tempi di consegna, contribuendo indirettamente alla competitività delle aziende.

A tal proposito oggi, grazie all'utilizzo dei fast corridor, le verifiche doganali possono essere effettuate anche presso alcuni terminal intermodali interni. In questo modo i contenitori possono essere trasferiti dal terminal marittimo ad un dry port, senza

l'emissione del documento di transito T1 e posticipando le operazioni di sdoganamento. Questo permette di evitare colli di bottiglia presso il porto di sbarco, riducendo sensibilmente i tempi di transito.

I servizi offerti da un soggetto terminalista, siano essi ordinario o accessori, rappresentano una componente fondamentale dei ricavi dello stesso; mentre le operazioni di sbarco/imbarco/movimentazione dei contenitori possono definirsi come attività a basso valore aggiunto, diversamente possiamo affermare che i servizi messi a disposizione da un terminal sono attività che contribuiscono in modo rilevante a comporre la voce dei ricavi dello stesso.

I servizi ordinari offerti generalmente da una azienda terminalista possono essere di varia natura e possono riguardare diverse tipologie di merce; tra quelli maggiormente richiesti si possono citare:

- Allaccio e mantenimento temperatura frigo
- Posizionamento in apposita vasca di colaggio (per quelle unità per le quali se ne presenta la necessità)
- Messa a disposizione per verifica scanner IMP/EXP
- Messa a disposizione per visita reefer
- Messa a disposizione per visita doganale
- Messa a disposizione per visita radiometrica
- Messa a disposizione per visita del chimico di porto
- Messa in sicurezza su richiesta della autorità competente
- Ecc...

A queste tipologie di servizi se ne affiancano altri di natura "accessoria", come ad esempio il servizio di etichettatura delle unità, il servizio di fornitura sigilli, il servizio di fumigazione o quello di pesatura

2.3 Situazione relativa ai principali terminal italiani nel 2022

Per tentare di definire un quadro generale circa lo stato di salute dei principali terminal italiani, si riportano i dati elaborati e pubblicati annualmente da Fedespedi (vedi fig. 2.3), che cercano di fotografare appunto le performance ottenute dai maggiori soggetti

terminalisti del Paese. L'analisi di quest'anno, pubblicata il 22 novembre 2022, fotografa l'andamento delle maggiori società terminalistiche nell'esercizio 2021.

Per quanto riguarda le performance operative (Teu imbarcati e sbarcati), i terminal analizzati hanno movimentato complessivamente 8,878 milioni di Teu, ovvero quasi il 79% del totale italiano (11,296 milioni di Teu), su una superficie totale di 5,121 milioni di metri quadrati e avvalendosi di 92 gru da banchina. Rispetto al 2020 hanno dunque registrato una crescita complessiva dell'1,3% in termini di Teu movimentati.

Le migliori performance, in termini percentuali, sono state realizzate dal Terminal del Golfo di Spezia (+21,2%), dal La Spezia Container Terminal (+16,9%) e dal Terminal Container di Ravenna (+11,9%). Crescita più contenuta a Genova, primo porto container a livello nazionale, che registra +6,4% al Sech e +4,9% a Prà. In flessione, invece, le movimentazioni al Salerno Container Terminal (-18,3%), al Psa Venice – Vecon di Venezia (-14,2%) e al Roma Terminal Container di Civitavecchia (-10,3%).

In valore assoluto, invece, a dominare sono sempre il Medcenter Container Terminal di Gioia Tauro con 3,14 milioni (dato che ha una valenza particolare in quanto costruito per la maggior parte da contenitori movimentati in transhipment), il Psa Genova Prà (1,45 milioni di Teu), il La Spezia Container Terminal (1,26 milioni di Teu) e il Trieste Marine Terminal (con oltre 652 mila Teu).

Società	Teu 2019	Teu 2020	Teu 2021	Var % 2021/2020	Mq terminal	Metri banchina	n. gru banchina	mt banch./ Gru
ACT-AN	176.193	158.667	167.338	5,5%	60.000	333	3	111
CON-NA	519.594	526.808	523.043	-0,7%	157.000	970	6	162
LSCT-SP	1.304.522	1.081.071	1.263.518	16,9%	453.000	986	11	90
MCT-RC	2.522.874	3.193.360	3.146.533	-1,5%	1.600.000	3.391	22	154
SCT-SA	262.935	386.943	316.167	-18,3%	110.000	900	6	150
SECH-GE	311.749	270.002	287.364	6,4%	174.000	526	5	105
TCR-RA	180.918	164.044	183.553	11,9%	250.000	670	4	168
TDT-LI	560.339	469.498	468.942	-0,1%	389.000	1.430	6	238
TMT-TS	688.649	687.921	652.319	-5,2%	400.000	770	7	110
VCT-VE	310.054	254.672	218.731	-14,1%	283.000	852	4	213
VTE-GE	1.604.305	1.387.016	1.454.582	4,9%	978.000	1.494	12	125
TDG-SP	n.d.	92.589	112.198	21,2%	42.000	310	3	103
RTC-RM	n.d.	93.504	83.903	-10,3%	225.000	750	2	375
LOR-LI								
Totale (A)	8.442.132	8.766.095	8.878.191	1,3%	5.121.000	13.382	91	147
Totale ITALIA (B)	10.783.675	10.687.151	11.296.719	5,7%				
A/B (%)	78,3%	82,0%	78,6%					

Fig. 2.3 – Teus movimenti dai terminal italiani nel triennio 2019-2021

Spostando l'attenzione su altre tipologie di indicatori, riportati in figura 2.4, emerge che il primo terminal nazionale per rapporto Teu/mq di piazzale può vantarlo il Conateco

di Napoli (3,3), seguito dal Salerno Container Terminal (2,9), poi Lsct di La Spezia e Adriatic Container Terminal di Ancona con 2,8. Ultimo di questa speciale classifica è il terminal di Civitavecchia con 0,4 Teu per metro di concessione occupata. Il rapporto Teu/metri quadri di banchina è invece dominato da Lsct con 1.281, seguito a distanza dal Psa Genova Prà' (974), da Mct di Gioia Tauro (928) e dal Trieste Marine Terminal (847).

Guardando poi al rapporto tra valore aggiunto generato e fatturato il primo della classe è Lsct (66%), seguito da Psa Venice Vecon (63%).

Società	Teu/mq	Teu/mt banchina	Teu/dipen.	Teu/numero gru
ACT-AN	2,8	503	9.843	55.779
CON-NA	3,3	539	1.749	87.174
LSCT-SP	2,8	1.281	2.124	114.865
MCT-RC	2,0	928	2.592	143.024
SCT-SA	2,9	351	1.589	52.695
SECH-GE	1,7	546	1.266	57.473
TCR-RA	0,7	274	2.868	45.888
TDT-LI	1,2	328	1.699	78.157
TMT-TS	1,6	847	2.153	93.188
VCT-VE	0,8	257	2.635	54.683
VTE-GE	1,5	974	2.201	121.215
TDG-SP	2,7	362	2.387	37.399
RTC-RM	0,4	112	1.614	41.952
Totale	1,7	663	2.199	97.563

Fig. 2.4 – Alcuni indicatori di performance operative relativi ai terminal italiani nel triennio 2019-2021

Per quanto riguarda le performance economico-finanziarie, i terminal italiani nel 2021 ha fatto registrare una ripresa dei traffici realizzando un fatturato di 768,3 milioni di euro, con un valore aggiunto di 430 milioni di euro e un risultato finale positivo di 94.9 milioni di euro. Dati alla mano, rispetto al 2020 il volume d'affari è aumentato del 13.1%; tutte le aziende hanno chiuso positivamente il bilancio con le sole realtà di Ancona, Civitavecchia e Salerno che hanno evidenziato un utile in calo. I risultati migliori in termini di crescita percentuale di fatturato li fanno registrare a La spezia, con il Terminal del Golfo che segna un +35,1% e il La Spezia Container Terminal con +23,4%. Risultati negativi invece ad Ancona (-5,2%) e Venezia (-7,7%).

In termini di valore assoluto il PSA Genova Prà è al primo posto con 171,6 milioni di euro di fatturato (e un utile netto di 23,2 milioni di euro), segue Lsct con un fatturato di 166,9 milioni di euro (e un utile di 40 milioni), mentre Mct ha fatto registrare 126,5

milioni di ricavi (e 9,3 milioni di risultato netto). In fondo a questa speciale classifica troviamo invece l'Adriatic Container Terminal (6,3 milioni di fatturato e 663 mila euro di profitto) e il Roma Terminal Container di Civitavecchia (con rispettivamente 8,2 milioni di lordo e 220 mila euro di netto). Guardando i valori dell'Ebitda troviamo in testa Lsct (72 milioni) seguita da Psa Prà (33 milioni).

	Fatturato 2020 (x'000 €)	Fatturato 2021 (x'000 €)	Var % 2021/2020	Val.agg. 2021 (x'000 €)	EBITDA 2021 (x'000 €)	EBIT 2021 (x'000 €)	Risultato finale 2020 (x'000.€)	Risultato finale 2021 (x'000.€)	Var % 2021/2020	Dipendenti (n)
ACT-AN	6.737	6.386	-5,2%	1.834	800	704	1.007	663	-34,2%	17
CON-NA	41.970	43.019	2,5%	20.841	5.302	1.893	101	755	647,5%	299
LSCT-SP	135.224	166.923	23,4%	110.177	72.215	60.621	28.512	40.105	40,7%	595
MCT-RC	124.974	126.544	1,3%	75.504	15.509	214	7.019	9.316	32,7%	1214
RTC-RM	7.496	8.291	10,6%	3.253	583	234	279	220	-21,1%	52
SCT-SA	23.653	24.742	4,6%	14.070	3.827	1.560	1.482	1.202	-18,9%	199
SECH-GE	31.944	37.352	16,9%	21.749	5.277	433	-1.417	271	119,1%	227
TCR-RA	17.520	21.034	20,1%	9.739	5.714	3.290	1.729	3.097	79,1%	64
TDG-SP	7.933	10.719	35,1%	4.686	1.769	1.340	-223	973	536,3%	47
TDT-LI	39.535	48.859	23,6%	29.015	11.685	8.469	-867	6.342	831,5%	276
TMT-TS	75.786	80.175	5,8%	27.402	11.206	8.209	4.998	5.453	9,1%	303
VCT-VE	24.501	22.622	-7,7%	14.249	7.874	5.040	2.464	3.221	30,7%	83
VTE-GE	141.924	171.654	20,9%	97.741	51.929	33.570	10.445	23.282	122,9%	661
Totale	679.197	768.320	13,1%	430.260	193.690	125.577	55.529	94.899	70,9%	4.037

Ricavi delle prestazioni e utile (perdita) per Teu (€)

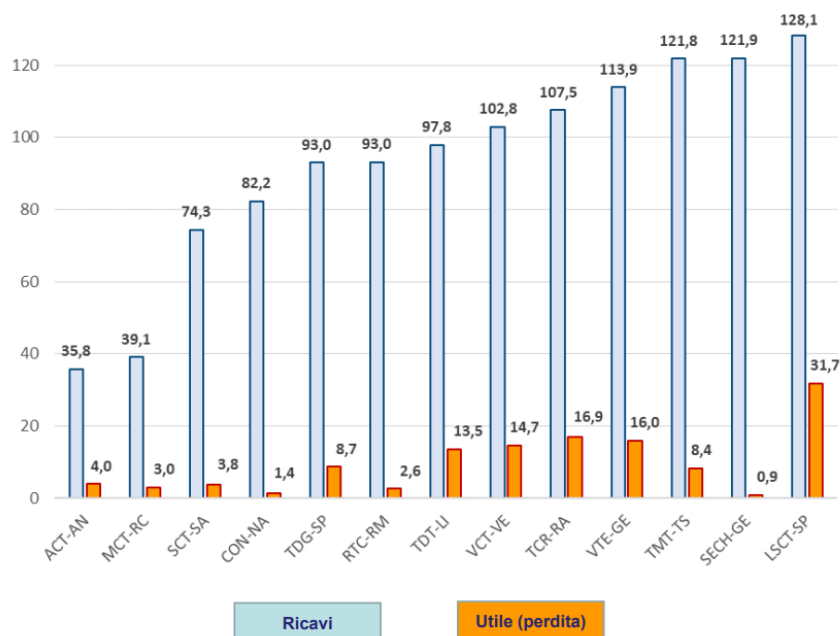


Fig. 2.5 – Alcuni indicatori di performance finanziarie relativi ai terminal italiani nel triennio 2019-2021

Soffermandosi sulla realtà Livornese il Terminal Darsena Toscana ha chiuso l'anno con 468.942 Teu (-0,1% rispetto ai 469.498 del 2020), di cui 292.965 relativi a traffici di

import-export (+9,4%) e 175.977 Teu erano container in trasbordo (-12,8%), mentre Lorenzini & C. è arrivato a 298.785 Teu per un totale di oltre 767mila Teu per lo scalo labronico (erano 716.223 un anno prima).

2.4 Yard planner e politiche di yard management

Come visto nei capitoli precedenti, un terminal container deve poter gestire in modo fluido 3 cicli: ciclo di import, ciclo di export e ciclo di transshipment.

Con riferimento alle attività operative che caratterizzano tali cicli, le politiche di stoccaggio dei container sul piazzale svolgono un ruolo di primaria importanza, anche alla luce degli importanti sviluppi tecnologici introdotti “lato banchina”, che hanno reso maggiormente produttive (in termini di contenitori lavorati/ora) le operazioni di carico/scarico nave, trasladando i *bottleneck* operativi sulle questioni che riguardano appunto lo yard e sulla sua gestione.

Quanto appena espresso significa che le attività svolte sul piazzale, quali ad esempio stoccaggio, picking e movimentazione in inbound e in outbound, devono essere sapientemente gestite al fine di migliorare l'efficienza del terminal e la sua competitività all'interno dell'intera catena logistica di trasporto nonché ridurre gli spazi utilizzati per lo stoccaggio dei contenitori. In sostanza ad una buona gestione del piazzale ne consegue una riduzione dei tempi di picking, una riduzione dei tempi di carico scarico nave/treno, una riduzione della congestione e in generale un aumento della produttività.

Generalmente lo *yard* rappresenta l'area che si estende tra la banchina portuale e l'ingresso/uscita dei mezzi lato terra che viene utilizzata per lo stoccaggio, il controllo e la riconsegna dei contenitori. Tale area viene generalmente suddivisa in due macro-zone, relativamente sperate tra loro, ciascuna delle quali è assegnata per lo stoccaggio di una specifica tipologia di contenitori (destinati all'importazione piuttosto che all'esportazione), ed occupa buona parte del totale di mq ottenuti in concessione dal terminalista.

Quest'area si presenta generalmente suddivisa in blocchi di allocazioni, ognuno dei quali si compone di un numero variabile di singole baie (*bay*). Ciascuna baia è a sua volta definita da un determinato numero di *row* (file di contenitori), ognuna delle quali

prevederà un determinato numero di tiri (*tier*, ovvero la quantità di contenitori che possono essere impilati su ciascuna *row*). Generalmente le baie definite all'interno di un terminal non possono estendersi in altezza oltre 4/5 tiri se sono utilizzate per lo stoccaggio dei contenitori *full*, 5/6/7 tiri se sono invece utilizzate per lo stoccaggio dei contenitori *mty* (il numero di contenitori impilati varia in relazione alla tipologia di mezzo utilizzato per la movimentazione).

Un blocco è quindi composto da un insieme di baie (*bay*), ognuna delle quali sarà definita da un certo numero di file (*row*) e tiri (*tier*) in altezza. Il numero di slot corrispondenti al prodotto ottenuto tra il numero di baie ed il numero di row che le compongono, è detto *ground slot capacity* del blocco di riferimento. Moltiplicando la capacità in termini di *ground slot* per il numero di tiri previsti si ottiene invece la capacità totale del blocco. I blocchi predisposti, come detto, presentano caratteristiche differenti tra loro relativamente al numero di baie, file e tiri e quindi, di conseguenza, di capacità in termini di TEU.

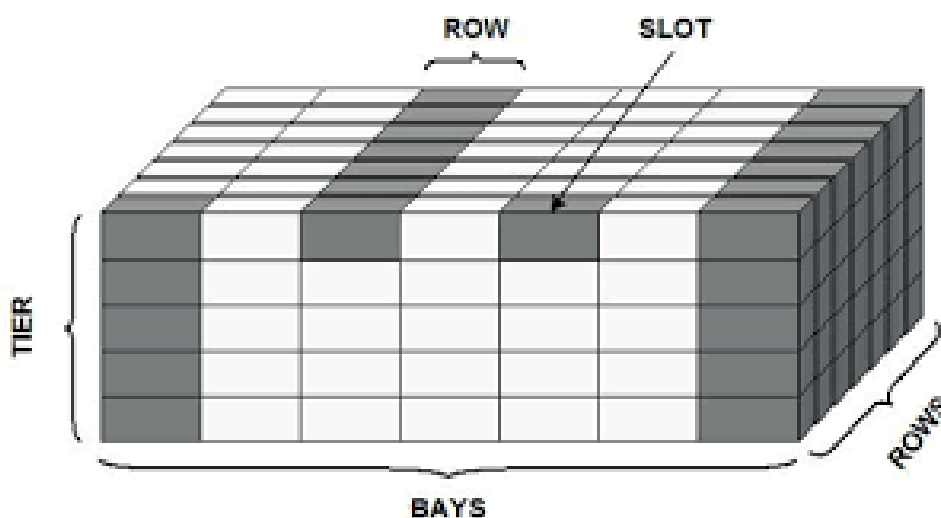


Fig. 2.6 – Struttura di una baia di stoccaggio

Nella figura 2.6 si descrive in modo schematico la struttura di un blocco, mettendo in evidenza le 3 dimensioni che lo caratterizzano. Ogni slot in questo caso è occupato da un contenitore da 20 piedi; diversamente, un eventuale contenitore da 40 piedi, avrebbe occupato lo spazio di due slot e quindi una capacità di 2 TEU.

La numerazione all'interno dei blocchi riprende concettualmente quella utilizzata sulle navi portacontenitori, secondo cui vengono numerate le singole baie con numeri

dispari in ordine crescente. Seguendo questa logica si utilizzano le baie dispari per stoccare i contenitori da 20 piedi, mentre diversamente quelle pari vengono utilizzate per stoccare i contenitori da 40.

La composizione nonché la disposizione dei diversi blocchi sul piazzale è influenzata dai mezzi di movimentazione utilizzati dal terminal oggetto di studio. Un terminal che, ad esempio, si avvale di RTG per le movimentazioni dei contenitori sarà organizzato diversamente rispetto ad un terminal che utilizza reach stacker per svolgere le medesime operazioni. Le diverse modalità di handling (RTG lavora dall'alto, RS lavora frontalmente), infatti, determinano diverse necessità di disporre i contenitori nelle stive al fine di minimizzare le movimentazioni in fase di imbarco.



Fig. 2.7 – Reach stacker



Fig. 2.8 – RTG (rubber tyre gantry crane)

Come detto in apertura di capitolo, l'importanza rivestita dalle politiche di *yard management* in relazione soprattutto all'impatto che queste hanno sulle performance in termini di produttività che il terminal ottiene in fase di lavorazione nave, fa sì che l'attenzione dei planner (così come quella degli studiosi del tema) si concentri sulla gestione delle unità in export.

Da questo punto di vista le decisioni si definiscono, dato una determinata struttura di piazzale in termini di numero di baie e loro disposizione (decisa a livello strategico), su due livelli: a livello *tattico* viene generalmente deciso, su base deterministica ovvero guardando i numeri di contenitori relativi rispettivamente a ciascuna linea di traffico, quale area di piazzale dedicare a ciascun servizio. A livello operativo, invece, dato un

determinato *yard template*, spetta al planner definire le regole in base alle quali i contenitori verranno stivati tra le diverse allocazioni disponibili, con l'obiettivo di rendere quanto più fluido possibile il lavoro in fase di imbarco (c.d. *storage allocation problem*).

Come visto durante il corso di ottimizzazione, le strategie di base generalmente utilizzate per la gestione di uno yard portuale si dividono in due tipologie: la *consignment strategy* e la *random strategy*.

La *consignment strategy* è una strategia che prevede una gestione immediata dei flussi di unità in ingresso cercando, fin dal momento dell'accettazione al gate, di suddividere tali unità con l'obiettivo di predisporre stive quanto più possibile omogenee sulla base delle caratteristiche peculiari di ciascun contenitore processato. Per ottenere risultati ottimali utilizzando questa tipo di strategia di stivaggio è necessario poter contare su spazi di piazzale ampi che possano permettere di predisporre fin da subito un numero di stive idoneo a gestire i volumi storicamente previsti per quel determinato servizio.

Diversamente dalla *consignment strategy*, la *random strategy* prevede lo stivaggio indifferenziato di contenitori destinati all'imbarco su un determinato servizio all'interno di un'unica baia temporanea; generalmente avviene che, al momento dell'imbarco dei contenitori sulla nave del viaggio x , le stive liberate saranno utilizzate per la suddivisione ottimale dei contenitori destinati all'imbarco sulla nave del viaggio $x+1$, precedentemente ammassati. Con questa strategia di stivaggio si sfrutta il fatto di conoscere con precisione, al momento della pianificazione degli spazi, il numero e le caratteristiche dei contenitori presenti *on yard*, predisponendo le allocazioni in modo ottimale. È necessario, se si decide di utilizzare quest'ultima strategia, riuscire a prevedere e schedulare al meglio i tempi di lavorazione necessari per la sistemazione di cui sopra.

Rimanendo in tema di politiche di gestione abbiamo avuto modo di conoscere le cosiddette attività di *pre-marshalling* e *re-marshalling*, correntemente utilizzate all'interno di molte realtà portuali.

Nello specifico, il *pre-marshalling* indica la movimentazione preventiva di alcuni contenitori tra le diverse stive dello yard, con l'obiettivo di migliorarne la disposizione relativamente alla necessità di predisporre catoste omogenee che minimizzino le movimentazioni necessarie e di conseguenza velocizzino la fase di imbarco.

Differentemente il *re-marshalling* prevede la movimentazione in toto di un'intera baia, trasferendo i contenitori che la compongono dalla posizione di origine ad un'altra

fisicamente più vicina all'area di banchina dove si prevede l'ormeggio della nave sulla quale saranno imbarcati i contenitori stessi.

Con riferimento alle strategie di gestione di uno yard portuale, è necessario sottolineare come queste siano pensate ragionando sulla base delle caratteristiche peculiari che contraddistinguono i contenitori tra loro.

Ciascun contenitore è caratterizzato da determinate informazioni, la cui elaborazione risulta fondamentale per definire una corretta strategia di stivaggio. Nello specifico, queste caratteristiche riguardano:

- *Size*: i contenitori si dividono in unità da 20 piedi e 40 piedi, rispettivamente circa 6 o 12 metri di lunghezza; generalmente come vedremo i piazzali di stoccaggio vengono organizzati con slot omogenei da 20 piedi.
- *Type*: esistono contenitori di diversa tipologia, adatti al condizionamento e trasporto di differente tipologia di merce. Ad esempio, esistono i maggiormente diffusi contenitori standard (adatti allo stoccaggio e trasporto di varie tipologie di merce che non presentano particolari necessità in relazione al trasporto e conservazione), contenitori reefer (refrigerati per merce che ha bisogno di viaggiare a temperatura controllata), contenitori open-top (per il trasporto di merce eccedente in altezza rispetto ai normali contenitori), contenitori flat (senza sponde per merce extra-size) ecc.... Da sottolineare come ciascuna tipologia di contenitore necessiti di particolari accorgimenti per lo stivaggio e la movimentazione sia a terra che a bordo.
- *Destination*: i contenitori hanno una destinazione ben precisa in base alla quale vengono stivati sullo yard. Generalmente i piani di carico delle navi, sulla base dei quali lo yard deve cercare di strutturare le catoste a terra, prevedono una organizzazione delle stive che tiene conto del porto di destinazione finale dei contenitori stessi.
- *Weight*: i contenitori sono stivati a bordo tenendo conto del loro peso, con l'obiettivo di salvaguardare i requisiti necessari per la sicurezza della navigazione. Generalmente i piani di carico predisposti dai vessel planner di linea prevedono il posizionamento di contenitori più pesanti in stiva (o comunque nei tiri più bassi) e di quelli più leggeri in coperta (o comunque nei tiri più alti), allo scopo di favorire la stabilità dei cannoli. Per lo stesso motivo i planner tendono ad evitare, garantendo ad ogni modo un margine di tolleranza, che un contenitore più pesante sia posizionato sopra ad uno

molto più leggero. Il peso delle unità riveste quindi un'importanza centrale nella predisposizione dei pianetti.

Coerentemente con quanto descritto lo *yard planner*, lato piazzale, dovrà cercare di programmare una gestione degli spazi che preveda la predisposizione di stive omogenee sulle base delle caratteristiche sopra enunciate, in modo da ottimizzare la fase di picking e di conseguenza minimizzare i tempi di lavorazione nave. Molti terminal da questo punto di vista si avvalgono delle c.d. classi di peso, sulla base delle quali vengono raggruppati sottoinsiemi di contenitori con parametri di peso simili.

Normalmente gli *yard planner* cominciano definendo quale sia la configurazione di peso che meglio si adatta alle caratteristiche dei traffici che transitano dal terminal. Scegliere una configurazione di peso significa in sostanza definire il numero di classi sulla base delle quali si andranno a suddividere i contenitori.

Può ad esempio essere adottata una configurazione di peso a due classi (leggeri/pesanti), piuttosto che altra che si basa su 3 o anche 4 classi di peso differenti. Per ciascuna classe di peso sono fissati un limite minimo ed un limite massimo che la definiscono; ad esempio, nella configurazione a tre classi di peso, possiamo definire una classe dei leggeri che va da 0 a 14 tonnellate, una classe dei medi che va da 14 a 24 tonnellate e una classe dei pesanti che si compone da contenitori con peso superiore alle 24 tonnellate.

Ogni strategia di gestione, per ben funzionare, deve essere pensata sulla base del layout del terminal e quindi sulla quantità e la corrispondente capacità in termini di slot delle baie a disposizione.

Le regole che definiscono la strategia adottata vanno ad impattare sul numero di contenitori di cui si compongono i diversi gruppi, nonché sul numero degli stessi.

Prendendo in analisi la figura 2.9 si vede come, secondo la strategia esemplificata, i contenitori sono raggruppati secondo la loro destinazione, la loro altezza, la loro dimensione e la loro classe di peso. Così facendo, si vede come per ogni destinazione si crea la necessità di allocare distintamente nove differenti gruppi di contenitori.

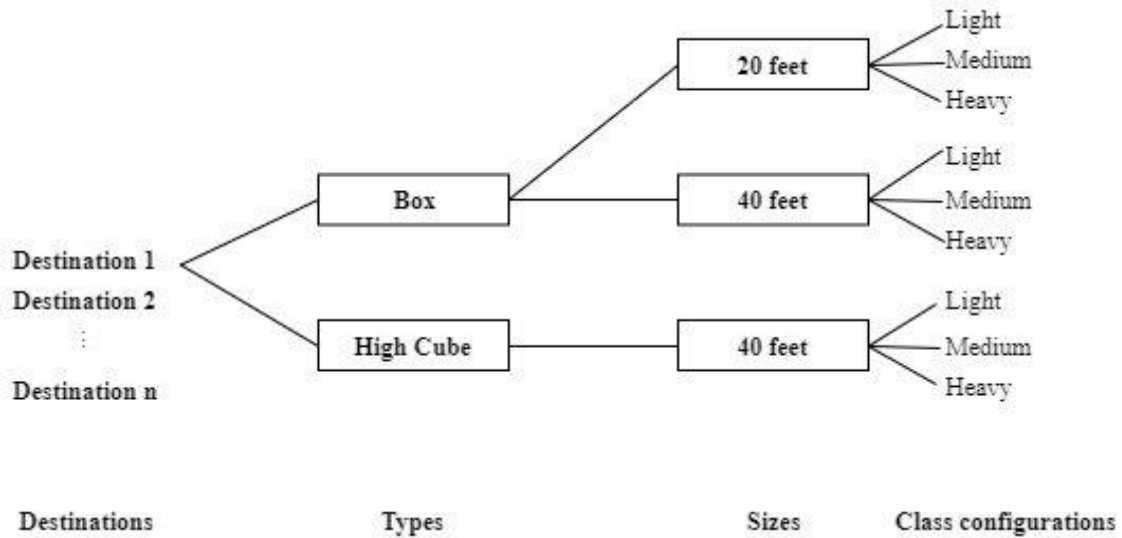


Fig. 2.9 – Criteri generali di suddivisione dei contenitori.

Chiaramente, maggiore è il numero di *patterns* da dover gestire, maggiore sarà lo spazio necessario per una corretta implementazione della strategia prevista. Lo spazio necessario è altresì influenzato dalla capacità, in termini di TEU, delle baie a disposizione.

Il numero delle classi di peso adottate va a definire dunque il numero di gruppi di contenitori da dover gestire, mentre la configurazione delle singole classi (in termini di range di peso assegnato a ciascuna di esse) va ad influire sulla distribuzione dei contenitori tra i gruppi stessi; in relazione a quanto detto, se decidessimo ad esempio di adottare una configurazione a due classi leggeri/pesanti, la quantità di contenitori che verrebbero distribuiti tra i vari gruppi sarebbe diversa a seconda che l'*upper bound* impostato per la classe dei leggeri sia fissato a 16 piuttosto che, ad esempio, a 18 tonnellate.

Alla luce di quanto detto, gli aspetti summenzionati rappresentano due leve di fondamentale importanza per calibrare regole di stivaggio che più si adattino alle condizioni contestuali e che garantiscano una gestione ottimale dei volumi in relazione agli spazi a disposizione.

Sarà dunque responsabilità dello yard governare in modo ottimale tutti gli aspetti descritti in precedenza col fine ultimo di riuscire a definire ed implementare un set di regole idonee a garantire una gestione ottimizzata dei cicli di lavorazione di interesse del terminal.

CAPITOLO 3

3.1 Lorenzini & C. S.r.l. – la storia del terminal


Il terminal Lorenzini nasce nel 1979 per volontà di Enio Lorenzini ed Ugo Grifoni. L'azienda, con sede sulla calata Addis Abeba, è una realtà di spicco nel settore dei docks service, trasporti e logistica del porto di Livorno che, con il passare degli anni, si è contraddistinta per gli innumerevoli investimenti in tecnologia e risorse umane riuscendo a divenire una tra le più importanti realtà del porto labronico.


Le aree a disposizione, passate dai 1000 metri quadrati del 1985 agli attuali oltre 100 mila metri quadrati, si sviluppano su una importante porzione della sponda est della darsena toscana del porto di Livorno (vedi fig. 3.1); la maggior parte di tali spazi viene dedicato alla gestione dei flussi di contenitori che l'azienda è chiamata giornalmente a dover gestire. A tal proposito nel 2021 sono state accordate in concessione, per volontà dell'Autorità Portuale di riferimento, ulteriori aree di piazzale in precedenza assegnate alla Compagnia Impresa Lavoratori Portuali con destinazione d'uso a parco automobili, sempre nella zona della sponda est.





Fig. 3.1 – area in concessione al Terminal Lorenzini

Per ciò che riguarda i mezzi operativi utilizzati, negli ultimi anni, tra i vari acquisti si possono contare 4 gru RTG ed una nuova gru semovente Gottwald HMK7608. Ad oggi il parco mezzi risulta essere così composto:

- Mobile Cranes: 
 - N. 1 Gru mobile Gottwald HMK 300 tons 100
 - N. 1 Gottwald HMK 8412/64 tons 100
 - N. 1 Gottwald HMK 7408 tons 100
 - N. 2 Gottwald HMK 7608 tons 150

- Fork Lifts: 
 - N. 5 mezzi di sollevamento da 4 tons
 - N. 3 mezzi di sollevamento da 16 tons
 - N. 1 mezzo di sollevamento da 32 tons

- Reach stacker: 
 - N. 14 Reach Stacker da 42 tons

- RTG: 
 - N. 4 RTG Noell Fantuzzi 5+1 AC

Il terminal è inoltre dotato di un binario ferroviario interno di circa 400 metri, raddoppiato negli ultimi anni a seguito di un progetto di investimento.

L'azienda opera con professionalità, flessibilità e dinamicità. Proprio queste caratteristiche hanno permesso di aumentare notevolmente il numero di clienti, costituiti soprattutto da importanti compagnie di navigazione di livello mondiale, tra cui MSC, Maersk, CmaCgm, Tenaris/Dalmine, Hamburg Sud, General Electric, Zim, Hapag-Lloyd, Combi Lift, BBC Chartering, Hansa Heavy Lift, MGM lines, Thorco Shipping, Big Lift, Sal Heavy Lift.

A tal proposito il terminal si fregia oggi di un riconoscimento internazionale, la certificazione AEO “*authorized economic operator*”.

Con il termine “operatore economico autorizzato” si intende un operatore economico residente nel territorio dell’unione europea che abbia conseguito, a seguito di un audit da parte dell’agenzia delle dogane, un certificato AEO valevole in tutto il territorio doganale comunitario.



Tale certificazione attribuisce una “patente” di affidabilità e di solvibilità a cui sono collegati una serie di vantaggi. L’acquisizione di questo status permette infatti all’operatore di godere di una serie di benefici in materia doganale e/o di sicurezza; tali benefici variano a seconda del certificato richiesto nonché del grado di affidabilità dimostrato dall’operatore a seguito di una valutazione condotta da funzionari dell’agenzia delle dogane. Quanto sopra detto si traduce in un evidente vantaggio competitivo del soggetto terminalista nei confronti degli altri concorrenti non certificati.

Il terminal offre operatività 24h su 24h per l’intero arco dell’anno assicurando agevole e rapida esecuzione in modalità Lo/Lo e Ro/Ro delle operazioni di imbarco e sbarco con la movimentazione di ogni tipo di merce: dai contenitori ai rotabili, dai macchinari di impiantistica specializzata al legname. Garantendo sempre la flessibilità per poter operare professionalmente in tutti gli ambiti.

Il terminal, nato come azienda multipurpose, agli albori della sua storia si occupava principalmente della movimentazione di merce varia, sfruttando le competenze in tale settore dei due soci fondatori, ex operativi in porto con un importante esperienza nel campo. Negli anni l’azienda sarà protagonista di una crescita a 360° che coinvolgerà tutti gli aspetti organizzativi, dall’organico dei dipendenti diretti al parco mezzi utilizzati finanche al modello di business. Tale crescita è stata diretta conseguenza dell’importante sviluppo in termini di volumi garantito dalla lavorazione dei contenitori, che ha portato ad una modifica sempre più marcata del core business aziendale, il quale si orienta progressivamente verso il comparto dei servizi dedicati al traffico di linea.

A tal proposito basta ricordare che nel 2015 i containers movimentati erano poco più di 100 mila, numeri impennati negli anni successivi fino a sfiorare le 180 mila unità nel 2021. Un trend di crescita che ha visto, dal 2010 ad oggi, quasi un raddoppio dei volumi. Su questa categoria merceologica si sono perciò concentrati i vari sforzi di adeguamento tecnologico e gli acquisti dei mezzi.

Tra le cause che hanno condotto a questa crescita esponenziale dei volumi di lavorazione, quella di maggior importanza è stata sicuramente l'operazione con la quale, nell'estate del 2014, la Lorenzini & C. S.r.l. ha rafforzato ulteriormente l'assetto societario accordandosi per l'ingresso nella compagine sociale di MSC, leader mondiale a livello armatoriale; "partnership" che sta dando sostegno a nuovi ed ulteriori progetti e prospettive di sviluppo. Da evidenziare a tal proposito come MSC abbia, pochi mesi fa, acquisito la proprietà anche dell'altro terminal del porto di Livorno, il Terminal Darsena Toscana, palesandosi di fatto come soggetto unico nelle mani del quale passerà tutto il traffico containerizzato negli anni a venire.

Conseguentemente all'accordo di partnership con l'armatore, tra il 2017 ed il 2018 c'è stato l'ingresso delle prime navi da 9.000 TEUs nel porto di Livorno, operazione avvenuta in sinergia con le autorità competenti e che ha permesso alla Lorenzini & C. di raggiungere un traguardo importante per tutta la comunità portuale livornese. Un servizio, quello MSC per il Sud America, che adesso attracca al terminal settimanalmente con navi appunto da 9.000 TEUs.

Molti dei progetti di sviluppo portati avanti dall'azienda sono tutt'ora in corso e riguardano da un lato programmi di investimento per poter aumentare gli spazi disponibili, come accaduto lo scorso anno con l'acquisizione delle nuove aree nella zona retrostanti la banchina, e dall'altro lato azioni per potenziare la filiera logistica. Negli ultimi mesi del 2017 la Lorenzini & C. ha progettato ed ottenuto l'approvazione di un progetto di allargamento del canale di accesso al porto, lavoro di importanza storica e strategica resosi necessario per attrarre nuovi servizi e nuove navi, mantenendo così la competitività dello scalo livornese negli anni che dovranno passare fino al completamento della Darsena Europa, il progetto di sviluppo a mare del porto.

Durante il 2017 un altro importante investimento della Lorenzini & C. ha portato all'allargamento del varco doganale Galvani per agevolare il flusso della merce via

gomma. Operazioni complessivamente sempre intese a beneficio di tutta la comunità portuale e su beni demaniali.

Nel corso dell'ultimo decennio la Lorenzini ha investito in mezzi di produzione e lavori su beni demaniali oltre 29 milioni di euro, di cui ben 18 milioni nell'ultimo quinquennio. Gli investimenti profusi dall'azienda non hanno però riguardano solo le infrastrutture/sovrastrutture fisiche, ma anche e soprattutto aspetti legati alla tecnologia e all'innovazione che, con il crescere delle dimensioni nonché dei volumi di lavorazione, si sono resi necessari per rimanere competitivi sul mercato e continuare a fornire servizi con lo standard che i clienti si aspettano.

Da questo punto di vista l'azienda ha investito importanti risorse per l'acquisto di sofisticati strumenti di information technology introducendo, anno dopo anno, migliorie che hanno riguardato i settori più svariati. Tra i principali ambiti di intervento sono annoverabili: security, safety, manutenzione dei mezzi, produttività, privacy. Tutti aspetti sui quali le possibilità offerte dall'information technology hanno impresso miglioramenti nelle performance.

Nella lunga lista di esempi proponibili meritano particolare menzione i dispositivi volti a garantire la sicurezza dei lavoratori quali ad esempio un sistema di sensori anticollisione ed un sistema di telecamere che offrono ausilio nella guida del mezzo e che sono entrambi installati sulle gru RTG in funzione al terminal.

Spostandosi invece sul campo della security uno degli investimenti ha riguardato l'installazione di un moderno sistema di videosorveglianza in funzione continua e diffuso su tutte le aree del terminal che garantisce la sicurezza del perimetro delle zone in concessione e delle banchine nonché della merce, delle persone e dei clienti.

A settembre 2021 è stata inoltre introdotta, con ottimi risultati, un'app di ultima generazione sviluppata per andare incontro alle esigenze informative dei soggetti che gravitano intorno al trasporto delle unità containerizzate in transito dal terminal.

In termini di innovazione tecnologica, un ruolo di primo piano lo ha rivestito senza dubbio l'introduzione, avvenuta nel 2011, di STEP II, un sistema informativo con software applicativo specifico per la gestione integrata delle informazioni, sia per il ciclo operativo che per la gestione delle fasi amministrative e contabili.



STEP supporta molte attività di un moderno terminal container ed è aggiornato anno dopo anno con funzionalità sempre nuove. È un prodotto utilizzato da diverse società italiane ed estere quali: Roma Terminal Container, Terminal San Giorgio, Europa Servizi Terminalistici, Terminal Intermodale Nola ed altri.

I moduli utilizzati dalla Lorenzini & C. permettono di gestire l'operatività del terminal e di avere la tracciabilità continua del contenitore sia in entrata che in uscita ed in qualunque condizione di trasporto sia la merce: nave, treno o camion.

E-Terminal è un'interfaccia web tramite la quale è possibile accedere alla tracciabilità del contenitore per verificare gli stati di avanzamento delle operazioni. È un servizio offerto agli attori che ruotano intorno al traffico della merce, siano essi enti di controllo o agenzie, clienti. Si accede al servizio tramite user name e password personalizzati per ogni utente.

Tramite Yard e Vessel il personale interno sfrutta le potenzialità di STEP per pianificare e gestire i piazzali e le operazioni di imbarco e sbarco delle navi e dei treni. Sono moduli dotati di una veste grafica che facilita la gestione dei vari lotti in cui è suddiviso un piazzale portuale o la stiva della nave.

RFNET è invece un modulo ad hoc a servizio del personale operativo sui mezzi (Gru, Reach Stacker, RTG) e fornisce la lista delle operazioni da svolgere sui container (movimenti, consegne, scarico), di gestire le visite doganali e molto altro. È installato su vari dispositivi, tra cui palmari, per mezzo dei quali gli operatori rilevano anche il tipo ed il numero del sigillo di ogni container trasmettendolo al database interno. È possibile anche avere una stampa che evidenzia le differenze tra i sigilli ricevuti con il manifesto e quelli rilevati sul campo. L'utilizzo di RFNET permette la comunicazione tra lo yard planner e i soggetti operativi sul piazzale, permettendo di fatto l'organizzazione del lavoro giornaliero.

EDI-Step rende il terminal collegato in tempo reale con i vari partner tramite la ricezione e l'invio dei file EDIFACT contenenti informazioni quali i movimenti di gate

in e gate out, i dati di imbarco e sbarco delle navi, i dati di planning della nave, i delivery order ed i booking.

Step è inoltre integrato con il sistema TPCS (Tuscan Port Community Sistem), funzionalità che permette di ricevere i dati doganali relativi ai containers ed alle altre tipologie di merce varia. Per la merce in export vengono trasmessi al TPCS i sigilli rilevati, utilizzati poi dagli spedizionieri per generare i manifesti della merce in partenza.

Il modulo billing permette la generazione delle fatture in automatico a partire dai movimenti registrati al terminal.

L'utilizzo di un gestionale a 360° è soluzione ormai diventata obbligatoria in ambito portuale stante l'evoluzione continua delle operazioni e la varietà degli aspetti da tenere in considerazione. Ma c'è anche un elemento di controllo e garanzia: tramite Step è infatti possibile estrapolare tutti i dati ricevuti e visionarne la regolarità, permettendo anche la stampa di report qualora richiesti dagli enti di controllo come la dogana.

Con un occhio sempre orientato verso il futuro, la Lorenzini & C. sta progettando l'espansione su nuove aree portuali. Le esigenze di spazi sono continuamente in crescita.

3.2 Dimensione e prestazioni del terminal

Come anticipato nei paragrafi precedenti, l'azienda è cresciuta molto nel corso degli anni aumentando il proprio portafoglio clienti nonché il numero dei lavoratori, sempre più professionalmente qualificati.

Le dimensioni aziendali sono quelle di una media impresa, che conta attualmente circa 90 dipendenti. L'azienda pone una particolare attenzione alla valorizzazione delle risorse umane in quanto, come detto, componente essenziale nell'erogazione dei servizi offerti. Considerata la specificità del lavoro svolto e il grado di sicurezza richiesto nell'espletamento delle operazioni portuali, è infatti importante che la forza lavoro sia qualificata e possieda capacità e competenze idonee al fine di ottimizzare la produttività, la velocità e la sicurezza del processo.

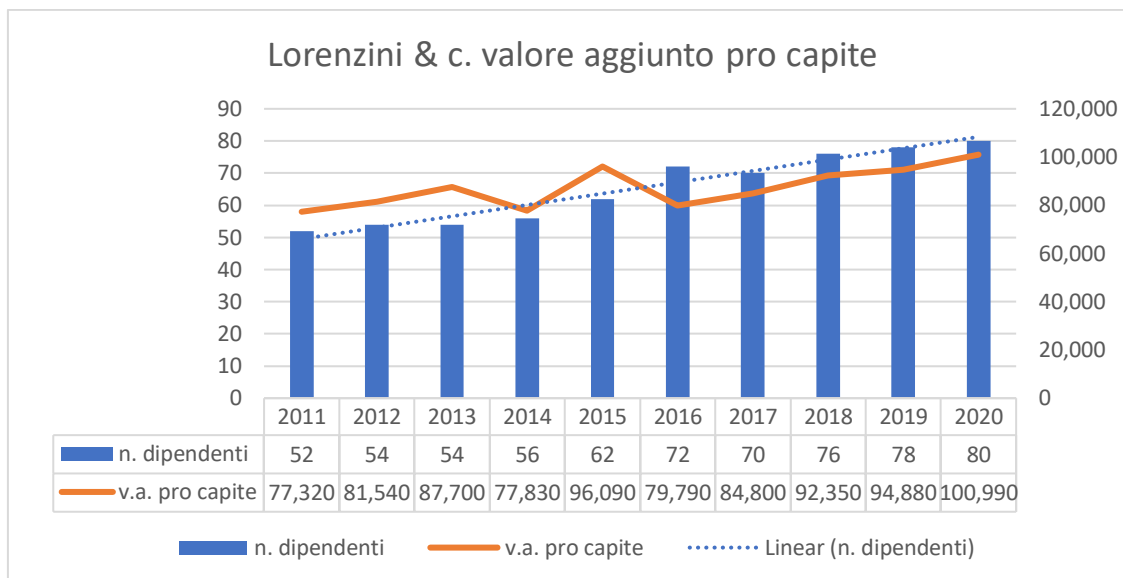


Fig. 3.2 – valore aggiunto pro capite dei dipendenti – periodo 2011-2020

Da questo punto di vista è indicativo sottolineare il buon dato relativamente al valore aggiunto che ciascun dipendente garantisce all'azienda (vedi fig. 3.2), con numeri che hanno fatto registrare un trend mediamente in crescita nel tempo dal 2011 al 2020.

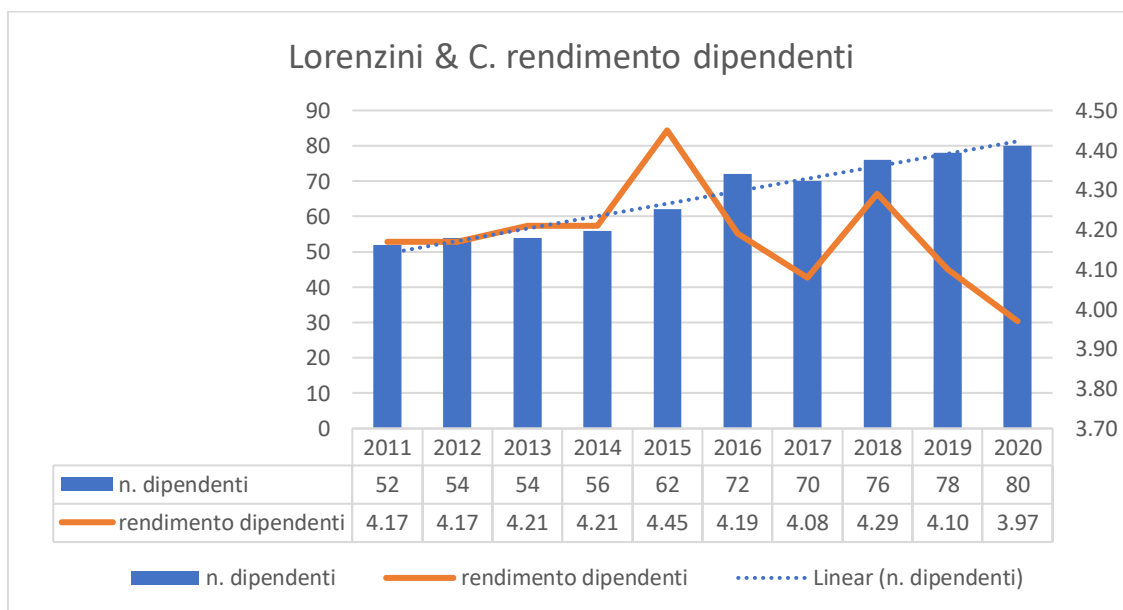


Fig. 3.3 – rendimento pro capite dei dipendenti – periodo 2011-2020

Con riferimento al focus aziendale sullo sviluppo delle risorse umane, appare altrettanto significativo porre in rilievo i dati ricavati relativamente al rendimento pro capite dei dipendenti, ovvero il rapporto tra il valore che un dipendente riesce a produrre in termini di ricavi ed il costo sopportato dall'azienda per sostenere economicamente lo

stesso dipendente. Questa informazione evidenzia il buon rendimento dei lavoratori aziendali, i quali nel tempo riescono mediamente a quadruplicare il valore investito su di essi (fig. 3.3).

A livello strutturale l'azienda, così come tutte le altre realtà terminalistiche esistenti, si presenta rigida. Questa composizione è legata alla tipologia di attività svolta, in quanto l'erogazione dei servizi offerti avviene in via prevalente attraverso l'utilizzo di impianti, macchinari e attrezzature; per questo motivo il capitale immobilizzato risulta essere di non scarsa entità.

Nel corso dell'ultimo decennio abbiamo visto come la Lorenzini & C. abbia prodotto ingenti investimenti in mezzi di produzione e lavori su beni demaniali nonché, da alcuni anni a questa parte, in importanti progetti di information technology introducendo tra le altre cose un sistema informativo con software applicativo specifico (software "STEP II").

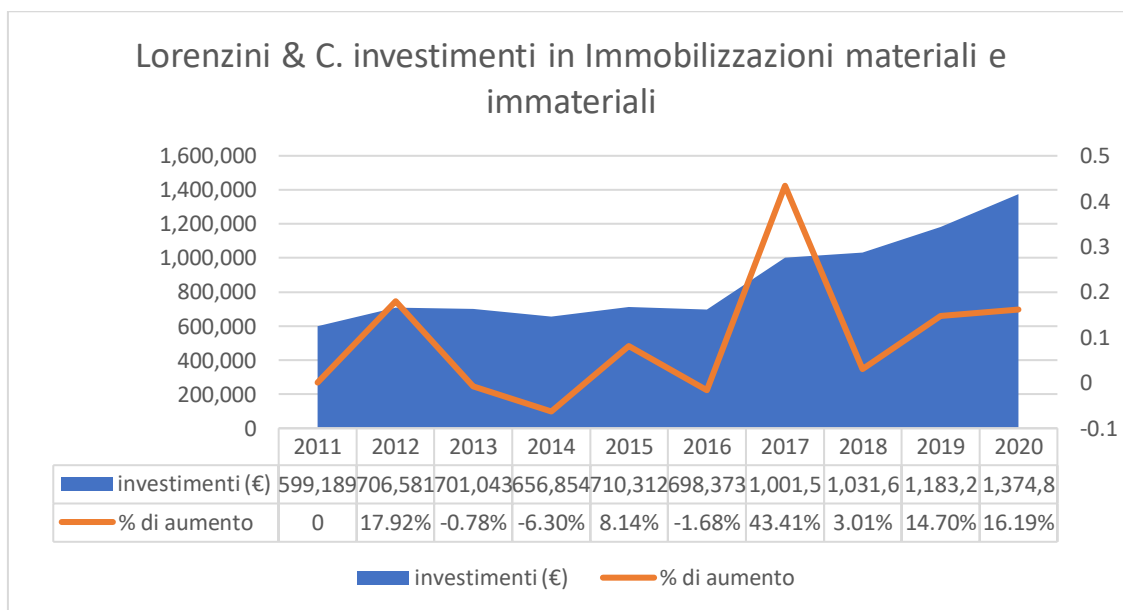


Fig. 3.4 – Investimenti prodotti per anno – periodo 2011-2020

Come possiamo vedere soffermandoci sul grafico in figura 3.4, infatti, il livello di investimenti prodotti dall'azienda ha fatto registrare un'importante tendenza di crescita dal 2016 ad oggi.

A livello di volumi di lavorazione, le performance aziendali mostrano una crescita continua nel corso degli anni (fig.3.5); nel 2020, ad esempio, il traffico di contenitori è cresciuto del 6,6% rispetto all'anno precedente.

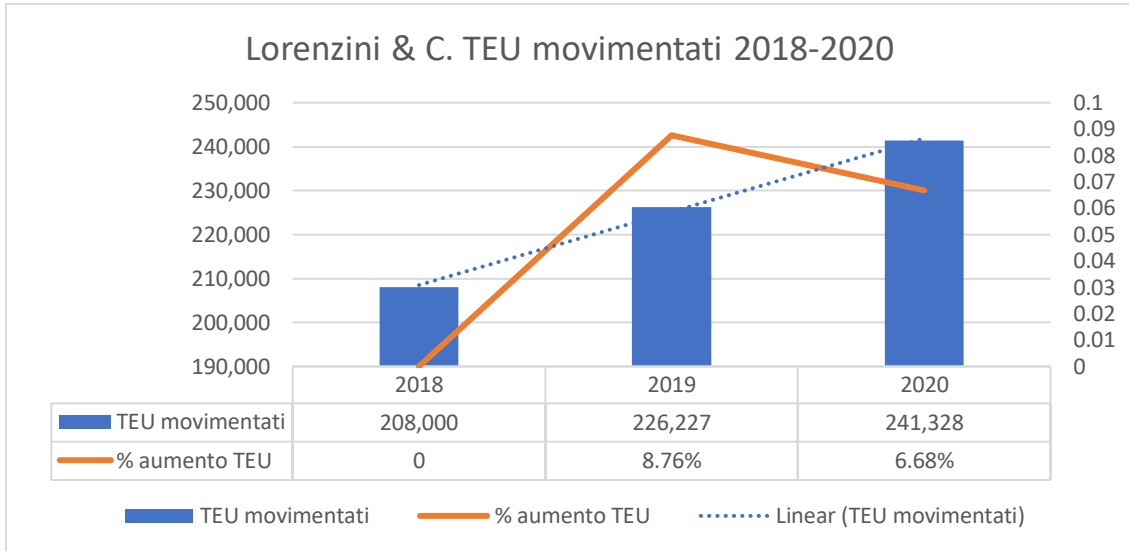


Fig. 3.5 – TEUs movimentati per anno – periodo 2018-2020

Anche i volumi relativi alla movimentazione di merci varie crescono negli anni, essendo l'azienda leader nella movimentazione di project cargo. Nonostante la pandemia abbia bloccato gli impianti industriali nel corso del 2020, l'azienda ha registrato volumi di movimentazione di merci varie sostanzialmente stabili rispetto al 2019, così come riportato nel grafico in figura 3.6.

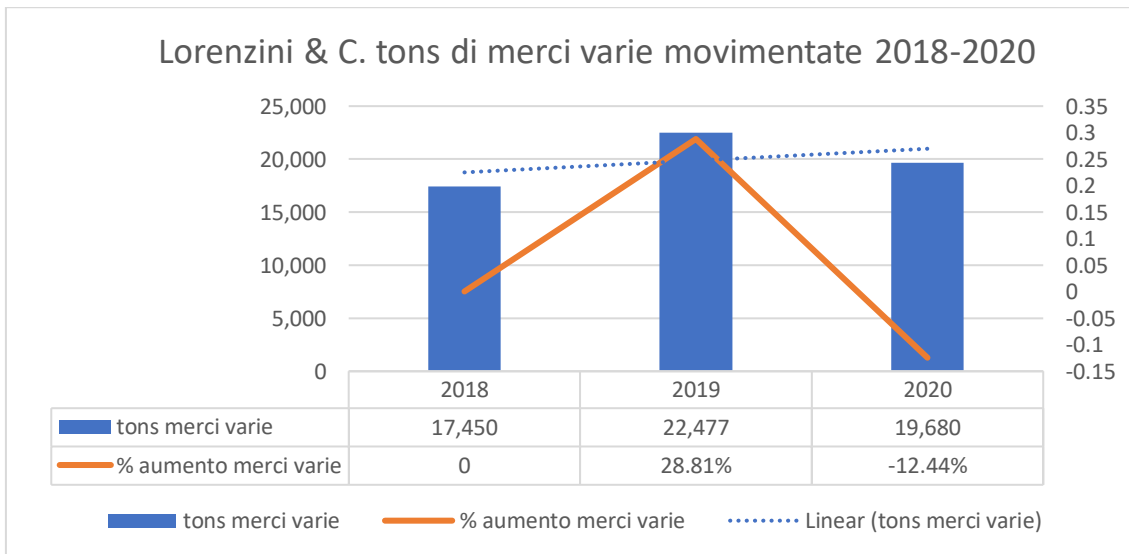


Fig. 3.6 – Tonnellate di merce movimentate per anno – periodo 2018-2020

L'attrattività dell'azienda per i clienti e gli *stakeholder* emerge anche dall'entrata, nel 2016, del player mondiale MSC nella compagine societaria. Essendo leader locale nel settore dei terminal portuali, Lorenzini & C. ha registrato un aumento del fatturato e dell'utile netto nel corso degli anni (vedi fig. 3.7) che ha permesso all'azienda di investire ulteriormente e accrescere la propria posizione nel mercato.

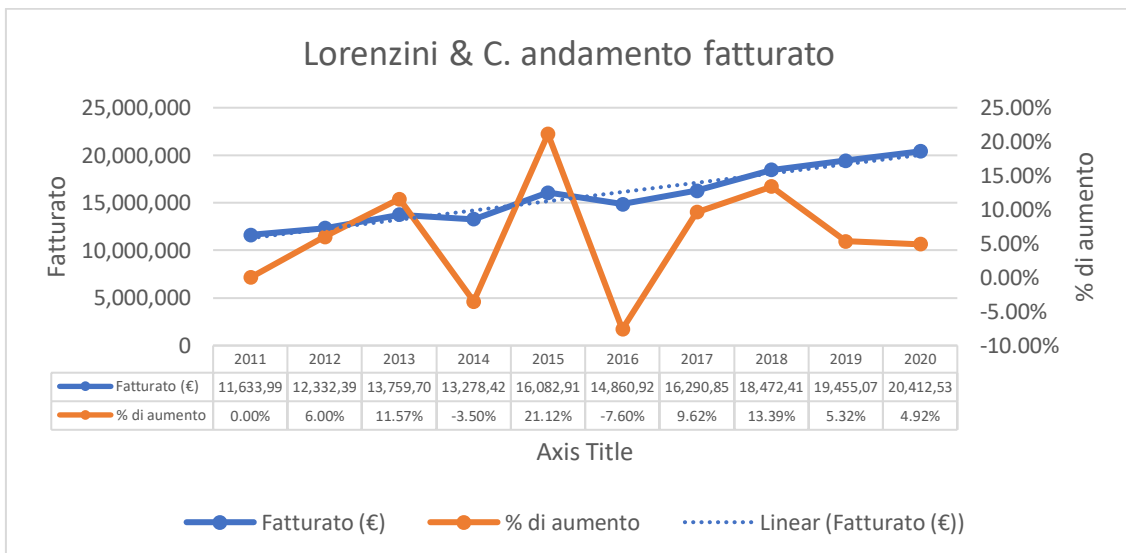


Fig. 3.7 – Andamento fatturato annuo – periodo 2011-2020

L'aumento di fatturato evidenzia infatti come l'azienda sia leader nella movimentazione portuale e come nel corso degli anni abbia incrementato il suo business. L'andamento dell'utile netto, anch'esso in crescita negli ultimi dieci anni di attività, conferma la tendenza di crescita delle performance aziendali (fig. 3.8).

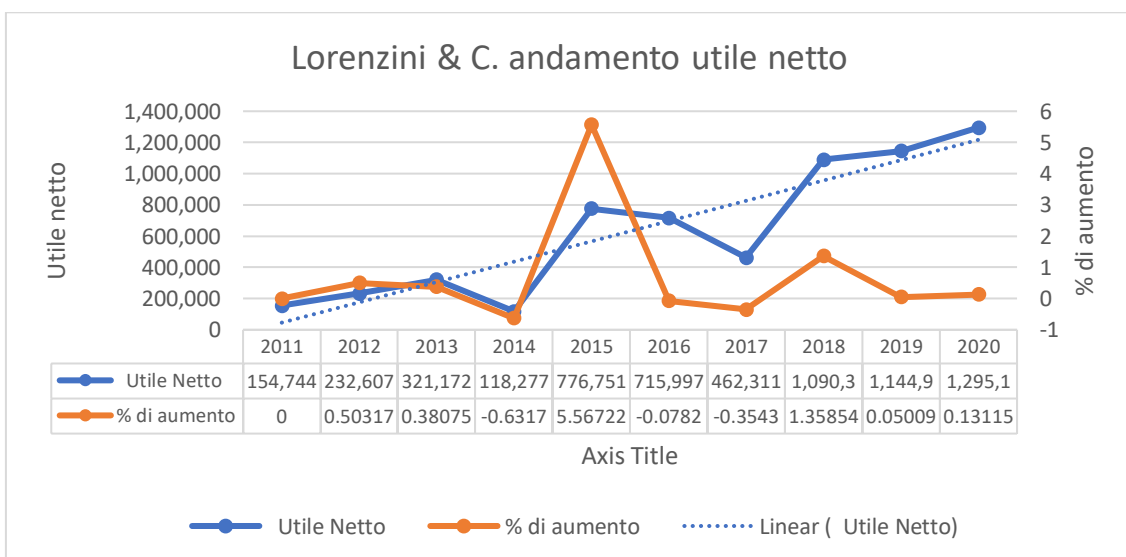


Fig. 3.8 – Andamento utile netto – periodo 2011-2020

Di seguito, vengono riportati gli indici di prestazione ritenuti di maggior rilievo al fine di rappresentare le performance dell'azienda ed il suo andamento negli anni.

Si presentano vari indici di redditività, indici della gestione corrente, indici finanziari, indici di produttività e altri dati significativi.

Uno dei più noti indici di redditività è l'EBITDA margin (*earnings before interest, tax, depreciation and amortization*) il quale misura la redditività lorda delle vendite, cioè la percentuale di fatturato che residua dopo che sono stati sottratti dai ricavi i costi monetari della gestione corrente: consumi, il costo del lavoro e i servizi. Il buon andamento del valore dell'EBITDA (fig. 3.9) ci indica una gestione progressivamente migliorata negli anni.

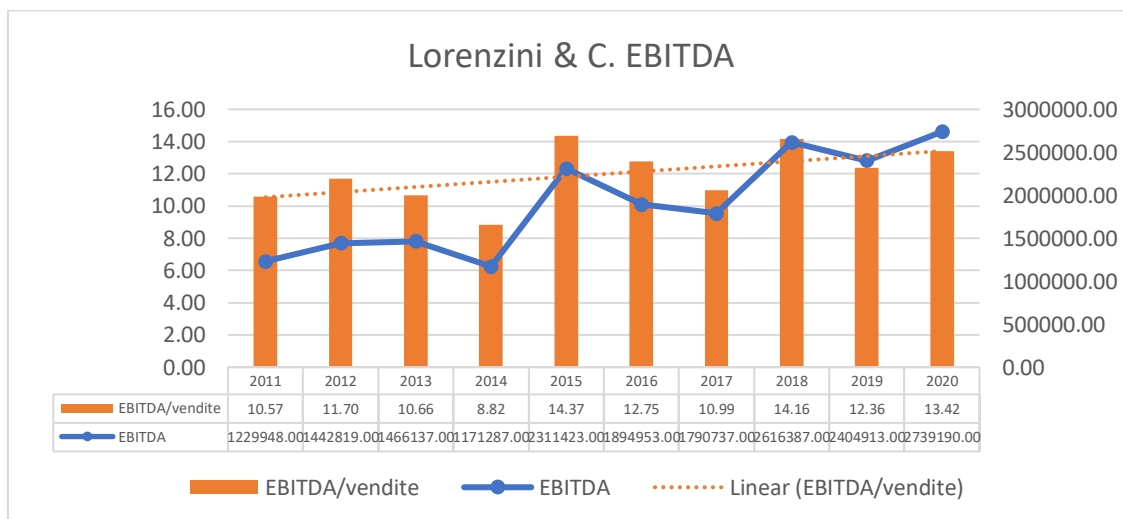


Fig. 3.9 – Andamento EBITDA – periodo 2011-2020

Fra gli altri indicatori delle buone prestazioni dell'azienda si ritrovano il ROS (*return on sales*), il ROI (*return on investment*), il ROA (*return on assets*) e il ROE (*return on equity*), in quanto indici di facile interpretazione nel fornire una sintetica visione della redditività dell'azienda. L'organizzazione mostra nel tempo valori soddisfacenti degli indici summenzionati ad evidenziare un buono stato di salute della Lorenzini & C. anche rispetto ai principali competitor locali (vedi gli andamenti riportati in fig. 3.10-3.11-3.12-3.13).

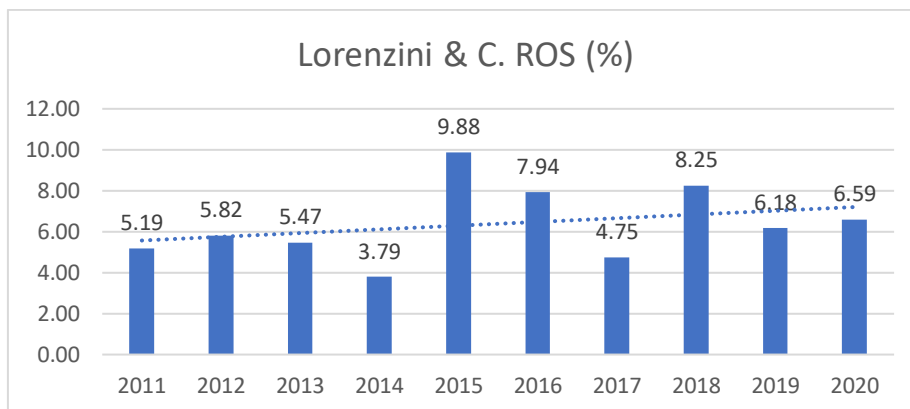


Fig. 3.10 – Andamento Return On Sales index – periodo 2011-2020

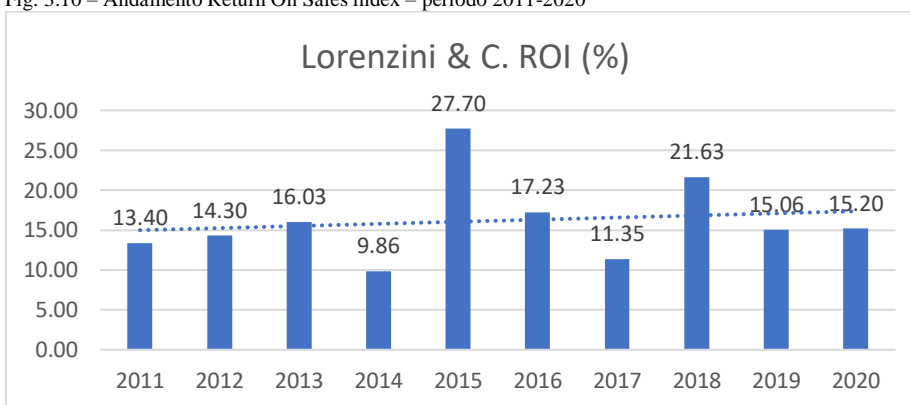


Fig. 3.11 – Andamento Return On Investment index – periodo 2011-2020

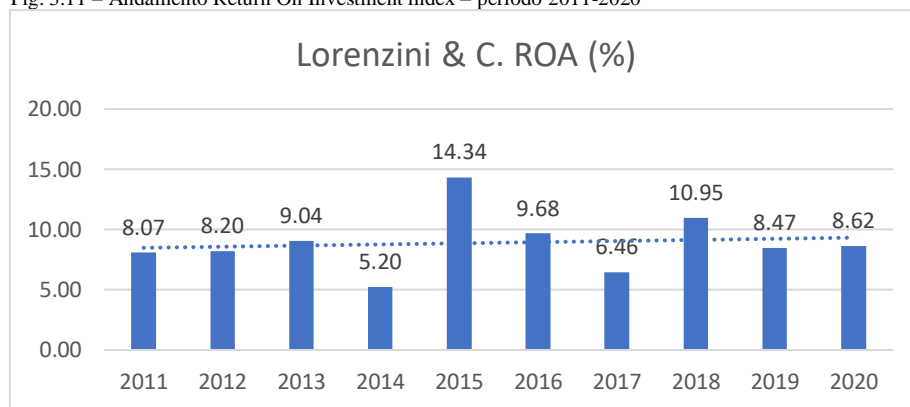


Fig. 3.12 – Andamento Return On Assets index – periodo 2011-2020

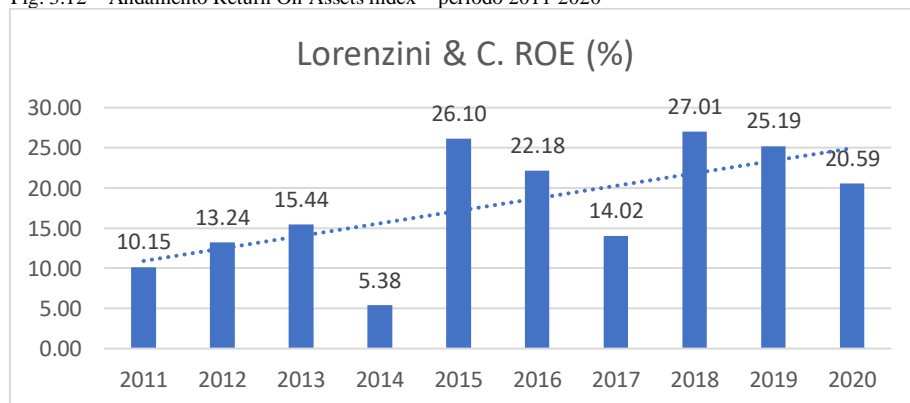


Fig. 3.13 – Andamento Return On Equity index – periodo 2011-2020

Da ultimo si evidenzia l'andamento negli ultimi anni del fatturato, dei costi e dell'utile rapportati ai Teu movimentati (fig. 3.14).

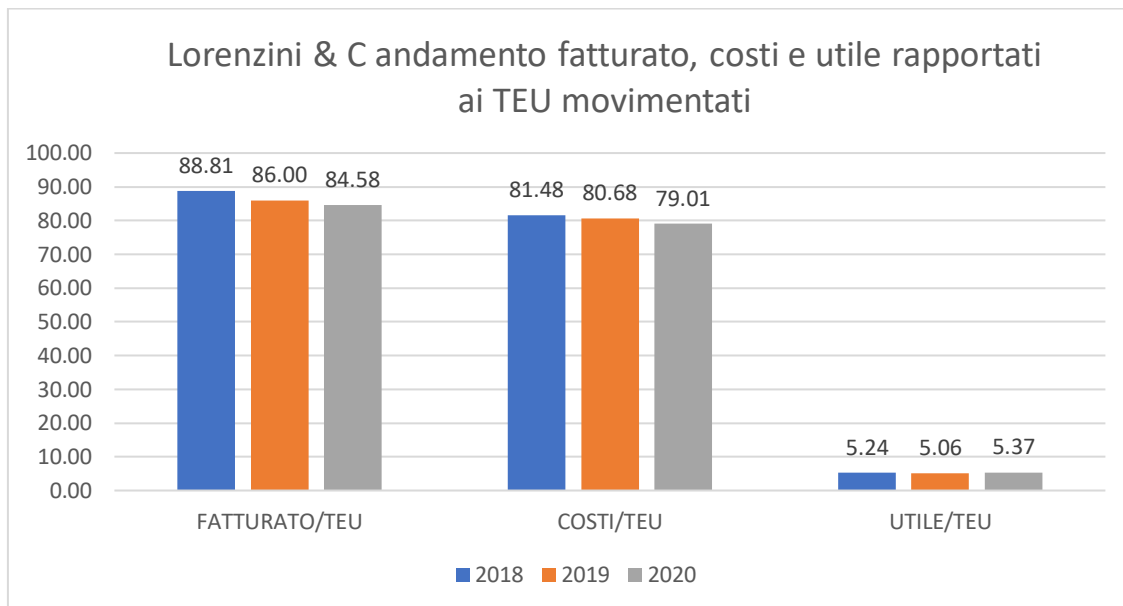


Fig. 3.14 – Andamento fatturato, costo e utile rapportati ai TEUs movimentati – periodo 2018-2020

L'azienda si dimostra quindi leader locale nel settore, facendo registrare performance stabili e in crescita nel corso degli anni a dimostrazione della sua capacità di innovarsi e attrarre clienti grazie alle alte professionalità e specificità delle attività offerte.

3.3 Linee di traffico servite

Come descritto in apertura di capitolo, il terminal Lorenzini è una azienda che negli anni, grazie a una corretta strategia ed investimenti mirati, ha saputo incrementare in modo graduale e costante i volumi di lavorazione, spalmati su un numero sempre maggiore di navi servite.

Attualmente dal terminal transitano imbarcazioni che prestano servizio su tre linee di traffico distinte: Nord America, Canada e Brasile.

I volumi lavorati in import/export dal terminal non sono equamente distribuiti sui tre servizi, contribuendo in modo sostanzialmente diverso a definire i totali annuali di lavorazione.

Distribuzione dei volumi di lavorazione

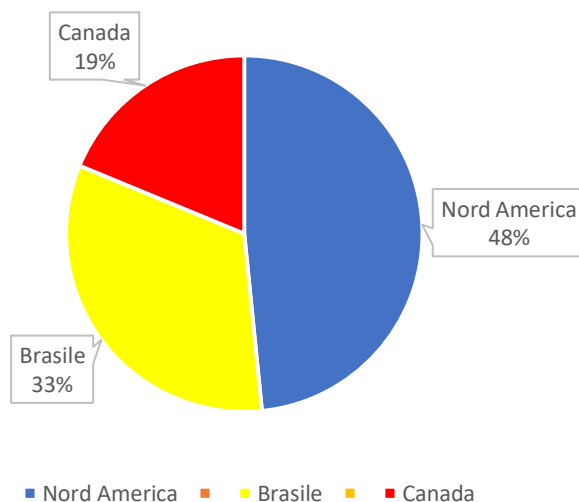


Fig. 3.15 – Distribuzione dei volumi di lavorazione sulle tre linee di traffico servite

Come si evince dal grafico in figura 3.15, la rotta che garantisce le maggiori quantità di Teu movimentabili in import/export è sicuramente quella che collega il mediterraneo con i porti degli Stati Uniti. Questo servizio, che viene co-gestito a livello commerciale dai due più grandi soggetti armatoriali al mondo, ovvero Maersk ed Msc, sposta circa la metà dei contenitori che annualmente vengono lavorati dal terminal.

Le navi impiegate in questa rotazione seguono una rotta che parte in ingresso nel Mediterraneo dal porto di Tanger Med, per poi toccare in Italia i porti di Gioia Tauro, Napoli, Livorno e Genova e, a seguire, scalare in sequenza i porti di Valencia, Algeiras, Sines, New York, Baltimora, Norflok, Charleston e Savannah.

Nel 2022 sono stati circa 75.000 i contenitori caricati/scaricati da navi impiegate sulla linea del Nord America, al netto di eventuali extra-call.

Sempre nello stesso anno sul servizio MED-SAEC sono stati movimentati poco più di 50.000 unità, pari a circa il 33% dei volumi totali lavorati nell'anno dal terminal.

Questa rotta, inaugurata nel 2017, collega i porti del mediterraneo con quelli della costa orientale del sud America. Nello specifico, la rotazione delle navi coinvolte in questo servizio prevede la partenza dal porto di Barcellona, per poi scalare, sempre nel mediterraneo, i porti di Genova, Livorno, Gioia Tauro, Marsaxlokk, Valencia e proseguire poi verso l'America del Sud toccando in sequenza i porti di Suape, Salvador de Bahia, Rio de Janeiro, Santos, Paranagua, Itapoa, Montevideo, Navegantes; rientra

infine nel mediterraneo dal porto di Las Palmas e Valencia, prima di ricominciare il giro. Su queste navi caricano, oltre a MSC, anche altri partner quali Hapag-Lloyd e Zim.

La terza linea di traffico gestita dal terminal Lorenzini è infine quella che collega commercialmente l'area del mediterraneo con i porti canadesi.

La rotazione schedata per questo servizio prevede pochi porti di toccata, con una tratta che inizia dal porto di Barcellona e prosegue toccando Valencia, Genova e Livorno e, successivamente, Montreal e Toronto.

A livello di volumi su questa linea sono stati movimentati, nel 2022, circa 29.000 unità, pari al 19% dei contenitori lavorati dal terminal.

3.4 Lorenzini yard – organizzazione delle aree in concessione

Il terminal Lorenzini, come detto, gestisce in concessione oltre 90000 mq di aree demaniali localizzate sulla sponda est della darsena toscana del porto di Livorno.

Queste aree, buona parte delle quali utilizzate per lo stoccaggio dei contenitori, si sviluppano su due porzioni di piazzale fisicamente suddivise e collegate da strada di viabilità ordinaria.



Fig. 3.16 – Organizzazione operativa delle aree in concessione

Stante la conformazione non omogenea dei metri quadri a disposizione, la gestione dello yard viene sostanzialmente suddivisa in due macroaree, cercando un'assegnazione omogenea rispetto alla tipologia di unità containerizzata in transito dal terminal (fig. 3.16)

La parte di piazzale localizzata più vicina al varco doganale, che si sviluppa lungo i binari ferroviari, viene utilizzata prevalentemente per la gestione e lo stoccaggio di contenitori in importazione (vedi figura 3.17). Questa tipologia di contenitori viene stivata, e di conseguenza riconsegnata, in due lotti serviti da RTG, che si sviluppano parallelamente ai binari ferroviari per un totale di 1331 TEUs.

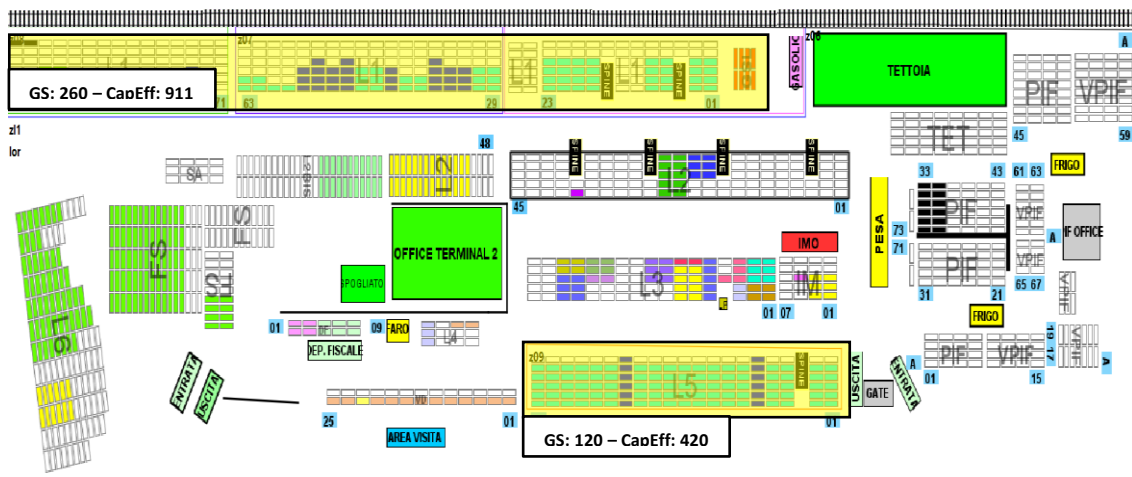


Fig. 3.17 – Area import TERMINAL 2 – zona di stoccaggio full import servita da RTG

Una porzione di questa zona, quella immediatamente retrostante ai binari e maggiormente profonda in termini di row (vedi fig. 3.18), viene utilizzata invece per lo stoccaggio dei contenitori vuoti.

Una gestione di questo tipo risulta coerente da un lato con la conformazione della zona stessa, che si presenta appunto molto capiente ma poco idonea ad eventuali scartaggi in quanto non servita da RTG, dall'altro con il costante fabbisogno di unità mty da instradare in uscita via rail per ordine della compagnia, lavoro possibile senza l'utilizzo di ralle data la vicinanza al binario.

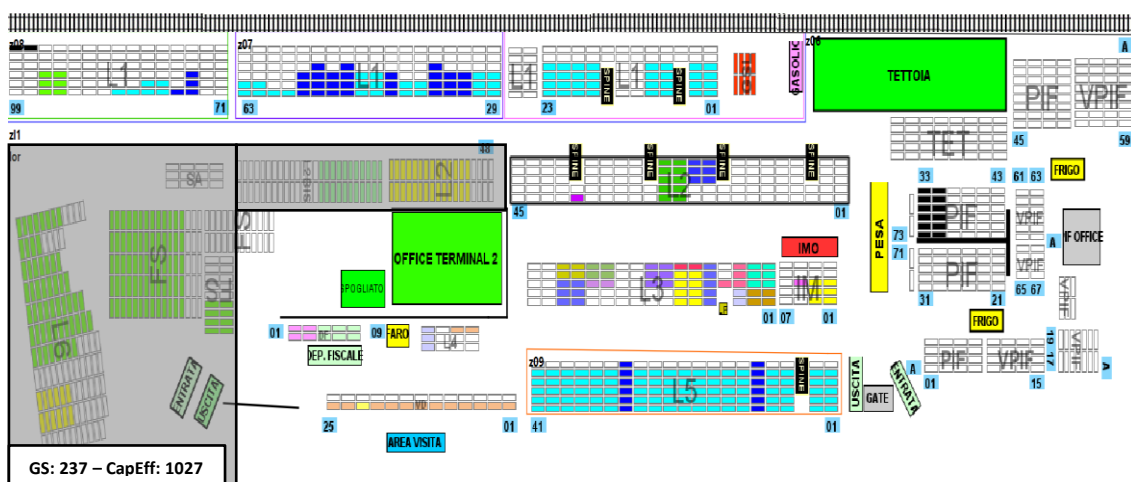


Fig. 3.18 – Area import TERMINAL 2 – zona di stoccaggio contenitori mty

Nel cuore dell’area oggetto di descrizione, in mezzo ai due lotti di import, troviamo un’ulteriore zona di stoccaggio utilizzata, rispetto alle necessità del momento, per lo stoccaggio di unità piene in export sia dry che reefer, sfruttando la presenza di colonnine dell’alta tensione installate lungo l’intero lotto lato terra. Questi lotti di stivaggio (evidenziati in fig. 3.19) possono essere utilizzati in alternativa, quando se ne presenta la necessità a seguito di ingenti sbarchi ravvicinati (per questo motivo non gestibili per intero sotto RTG), anche per lo stoccaggio e la successiva riconsegna delle unità in importazione.

Questa destinazione d’uso viene attuata quando, complice la presenza di polizze con un numero rilevante di unità a bordo della nave, lo yard planner si attiva con il soggetto ricevente concordando un ritiro delle unità lungo numero, evitando in questo modo scartaggi che sarebbero difficilmente gestibili stante l’utilizzo di reach stacker come mezzo di movimentazione.

Tali lotti, quando utilizzati per l’export, vengono generalmente assegnati allo stoccaggio delle unità in previsione di imbarco sul servizio del sud America; questo modus operandi nella gestione è infatti ritenuto coerente con un servizio, il SAEC, che è caratterizzato da un numero elevato di destinazioni ciascuna delle quali con numeri contenuti in termini di unità totali/nave, che ben si prestano ad una suddivisione capillare resa attuabile dalla possibilità di doppio senso di picking offerta dal lotto in questione.

Nonostante quanto detto, la volontà condivisa da tutti i reparti di planning (vessel e yard), sarebbe quella di riuscire a gestire in futuro tutto l’export nell’area lungo banchina

e lasciare la zona in questione per la sola gestione di unità in import, alla luce dei notevoli risparmi in termini di tempi e costi che garantirebbe una siffatta gestione.

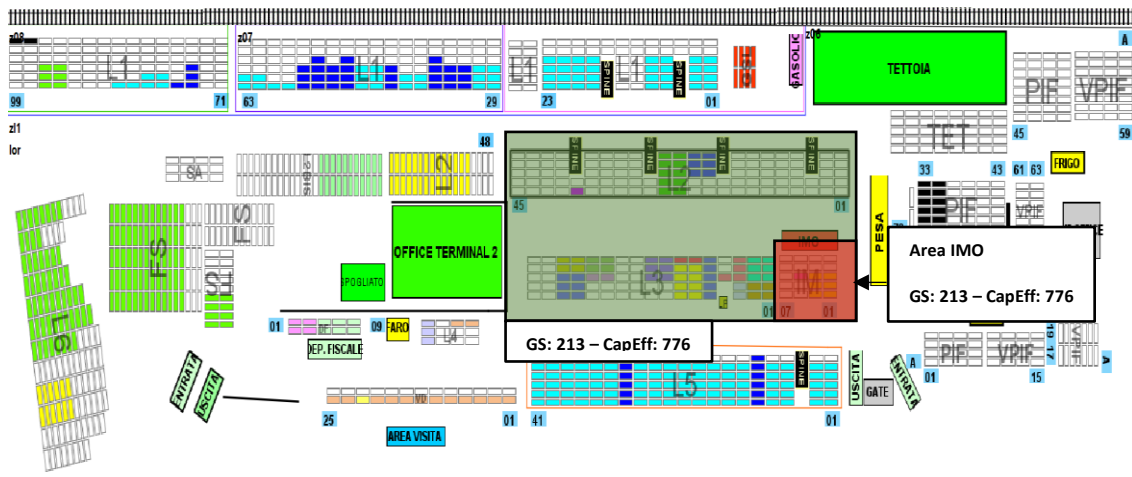


Fig. 3.19 – Area import TERMINAL 2 – zona di stoccaggio L2/L3

All'interno di questa macro-porzione di piazzale, oltre ai suddetti lotti, sono inserite anche un'area dedicata alle verifiche doganali (65 TEUs totali che si sviluppano in una striscia di piazzale prospiciente gli uffici) ed un'area attrezzata per il posizionamento e il conseguente allaccio dei contenitori reefer, localizzata al confine sud del terminal (vedi figura 3.20).

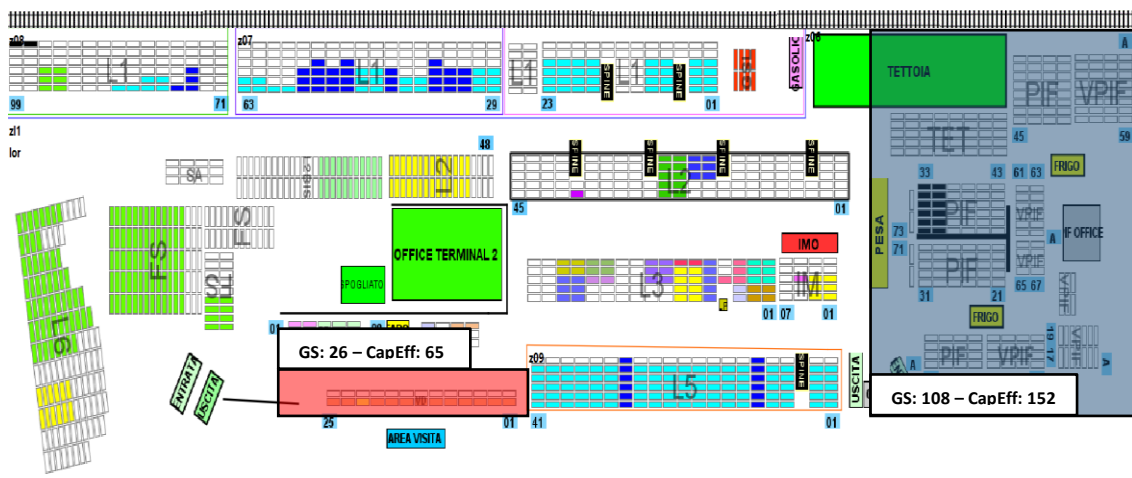


Fig. 3.20 – Area import TERMINAL 2 – zona PIF e VD

Questa zona, oltre ad ospitare un fabbricato dedicato a Punto di Ispezione Frontaliera (PIF), è attrezzata con circa 152 reefer plug, ovvero poco meno della metà delle 342 offerte complessivamente dal terminal, utilizzate per il posizionamento dei contenitori per i quali viene richiesta la verifica fisica della merce. Le ulteriori prese di allaccio, oltre alla già citate colonnine posizionate lungo il perimetro del lotto 2, sono state rese operative sotto RTG mediante l'installazione di n° 2 generatori avvenuta pochi anni fa.

Come detto in apertura di capitolo, l'area di piazzale in concessione al terminal presenta una conformazione irregolare e suddivisa in due zone fisicamente distinte.

La seconda di queste zone si sviluppa lungo tutta la banchina, estendendosi in lunghezza parallelamente agli accosti 15/A, 15/B e 15/C della sponda est della Darsena Toscana. Nell'ultimo anno quest'area è stata implementata con la concessione di nuovi metri quadri, gestiti precedentemente da CILP, che si sviluppano in un'area retrostante agli accosti sopracitati.

Tutta la zona della sponda est (vedi fig. 3.21) viene dedicata alla gestione delle unità in export e, in minor misura, per la unità vuote in transito dal terminal.

Solo saltuariamente, su decisione del planner ed in base alle necessità operative contingenti, possono essere stoccati alcuni contenitori in importazione, previa comunicazione all'agente nave per far sì che sia fatta la variazione necessaria a manifesto.

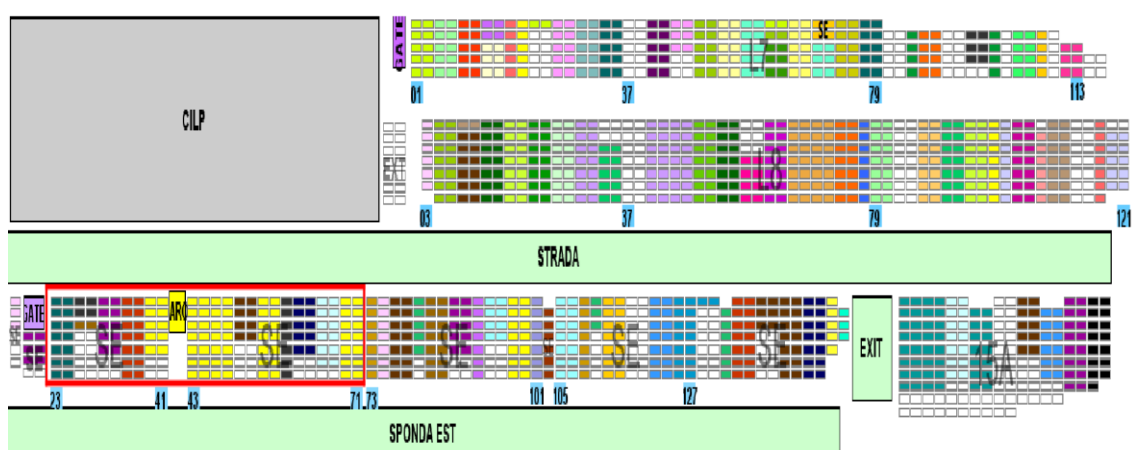


Fig. 3.21 – Area export SPONDA EST

Quest'area garantisce complessivamente una capacità di stoccaggio di 5194 TEUs, risultanti dalla somma tra i 2705 TEUs dell'area prospiciente alla banchina ed i 2489 della nuova area interna.

Buona parte di questi metri quadri vengono generalmente dedicati allo stoccaggio dei contenitori in export appartenenti alle linee di traffico che collegano il mediterraneo all'area commerciale del nord America, rispettivamente con i maggiori porti degli Stati Uniti e del Canada; una piccola parte, invece, viene utilizzata per lo stivaggio e la riconsegna delle unità vuote da 40 piedi HC in transito dal terminal, sia in ingresso che in uscita.

3.5 Lorenzini yard – innovazioni nelle politiche di gestione

Il ruolo dello yard planner, come descritto nel primo capitolo dell'elaborato, è quello di riuscire ad impiegare gli spazi a disposizione in modo ottimizzato rispetto ai flussi di merce in transito con l'obiettivo di rendere fluide le lavorazioni, specialmente con riguardo al ciclo di export.

In linea generale, in passato come oggi, per la gestione dei volumi suddetti vengono adottate entrambe le strategie introdotte nella prima parte del testo, ovvero la consignment e la random strategy.

Per riuscire ad inquadrare meglio quanto affermato, è utile soffermarci inizialmente sul modo in cui le unità containerizzate in esportazione fanno il loro ingresso al terminal, in relazione all' ETA (Estimated Time of Arrival) della nave sulla quale dovranno essere successivamente imbarcate.

Generalmente un servizio di linea prevede, salvo imprevisti, una toccata settimanale per ciascun porto inserito nella rotta di transito; questo significa che il terminal dovrà accettare e sistemare *on yard* un numero indefinito di contenitori che, ad un certo momento x futuro (corrispondente all'ATA della nave sulla quale ne è previsto l'imbarco), saranno caricati a bordo della nave stessa liberando gli spazi sul piazzale fino a quel momento occupati.

La problematica da dover gestire, da questo punto di vista, è riconducibile al fatto che i contenitori in ingresso per due viaggi consecutivi non entrano in modo separato ed

indipendente, ma bensì, per un determinato periodo, fanno il loro ingresso contemporaneamente al terminal creando non pochi problemi di gestione.

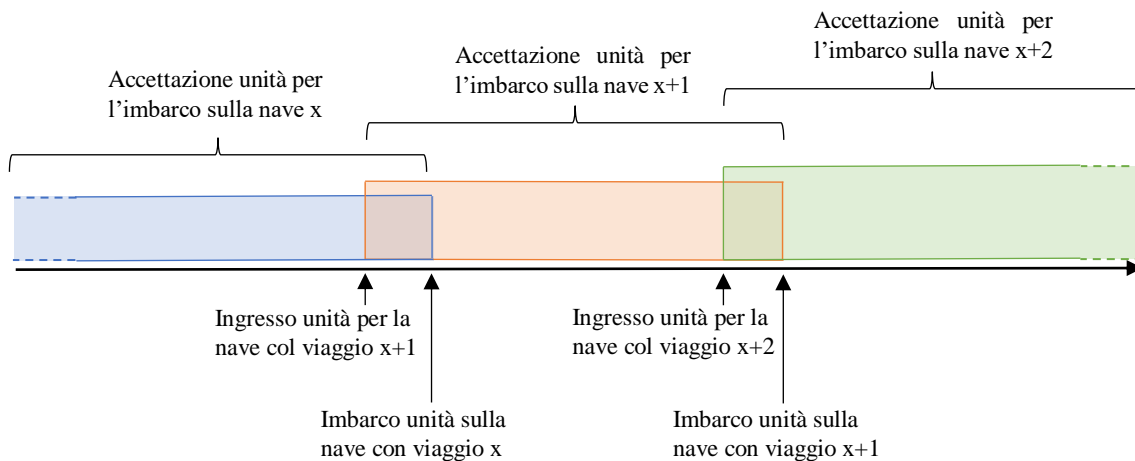


Fig. 3.22 – Schema temporale di accettazione dei contenitori al terminal rispetto alle partenze nave

Questa organizzazione (fig. 3.22), imposta dai desiderata delle compagnie di navigazione, è necessaria per permettere l'ingresso di tutti i contenitori previsti per ogni viaggio entro la data di chiusura doganale, al netto di tutte le problematiche possibili che possono intercorrere tra il momento del ritiro del vuoto e la riconsegna del pieno.

Il terminal Lorenzini al riguardo applica una politica di gestione che prevede l'attuazione di una consignment strategy per ciò che concerne i contenitori in ingresso per il viaggio più prossimo in ordine di tempo, in modo tale da cercare di avere una distribuzione quanto più ottimizzata possibile delle unità secondo i criteri maggiormente impattanti in relazione ad una buona gestione delle operazioni di imbarco.

Diversamente, è in generale attuata una gestione random dei contenitori per i quali è previsto l'imbarco a bordo della nave in arrivo per il viaggio $x+1$, che fanno il loro ingresso nei giorni antecedenti alla caricazione delle unità destinate all'imbarco sulla nave che scala per il viaggio x . Queste unità, fatta salva una eventuale disponibilità di extra spazi, vengono generalmente stivate in un'unica baia indifferentemente rispetto ai criteri di peso e destinazione, per poi essere successivamente redistribuite andando ad occupare gli spazi liberati dai contenitori imbarcati sulla nave precedente.

Fino alla fine del 2021 la strategia di stoccaggio applicata dagli yard planner prevedeva una suddivisione dei contenitori secondo la loro tipologia, destinazione, altezza (quando possibile) e peso, secondo alcune regole standard di suddivisione create al momento dell'implementazione del TOS e mai modificate nel tempo.

In particolare, per quanto riguarda il criterio del peso, i contenitori appartenenti ad ogni destinazione venivano indistintamente suddivisi organizzando le catoste secondo una configurazione che prevedeva 2 classi di peso, quella dei leggeri e quella dei pesanti, discriminate a più o meno di 18000 kg.

Una gestione di questo tipo, complice la progressiva crescita dei totali di lavorazione, ha portato nel tempo ad accentuare alcune criticità operative che si traducevano in una crescente flessione della produttività del terminal.

Nonostante le sviluppate skills degli yard planner, era infatti molto complesso riuscire ad organizzare il piazzale in modo sufficientemente idoneo a supportare una buona fase di imbarco; la distribuzione spaziale delle baie, la loro eterogeneità in termini di capacità di stivaggio, la quantità di volumi sempre sovradimensionata rispetto agli spazi disponibili e le diverse caratteristiche proprie di ciascun servizio di linea, unite ai frequenti cambiamenti organizzativi imposti dalla compagnia di navigazione, contribuivano a delineare (e delineano ancora oggi) una realtà operativa oggettivamente di difficile gestione.

In questo contesto operativo una gestione non customizzata, che prevedeva l'implementazione di management rules standard rispetto ai diversi servizi e destinazioni, portava ad un utilizzo degli spazi non ottimizzato che, complice la sopracitata crescita marcata dei volumi, si traduceva in importanti bottleneck rilevati in fase di picking delle unità di imbarco. Questa flessione della produttività, evidenziata dai report di lavorazione delle navi, è stata riscontrata dalla direzione aziendale, che ha provveduto a sottoporre la questione all'attenzione dei reparti interessati in più occasioni e con toni sempre più decisi, stante il rischio di perdere per questo motivo alcune linee di traffico.

Partendo da questa necessità di miglioramento della qualità del servizio è stato valutato, su iniziativa mia e di uno degli AD sig. Daniele Grifoni, l'avvio di un progetto di studio che lavorasse sui dati dello storico cercando di stilare nuove regole ad hoc definite per ciascuna destinazione. Questo progetto è nato sulla base di alcune riflessioni mutuata dall'esperienza legata al percorso didattico di ottimizzazione delle operatività

marittimo portuali condotto dalla professoressa Daniela Ambrosino, all'interno del quale ci siamo appunto soffermati sull'importanza della determinazione di limiti di peso idonei rispetto alle caratteristiche dei differenti flussi di traffico, in relazione ad una buona distribuzione delle unità di carico tra le baie a disposizione.

Per perseguire l'obiettivo è stata creata una base di dati attingendo dalla memoria del TOS, andando a ricercare ed organizzare per ciascun servizio tutte le distinte di imbarco, per ogni nave transitata dal terminal nell'anno solare 2021.

Al termine della ricerca il nostro database è stato composto con le caratteristiche di oltre 62000 contenitori caricati su un numero complessivo di 124 navi impiegate su tutte le linee di traffico servite.

Partendo da queste informazioni è stata condotta un'analisi approfondita che ha riguardato, per ciascun porto di destino, da un lato le quantità totali caricate e dall'altro la distribuzione del gross weight dell'intera popolazione dei contenitori in esame, allo scopo di riuscire a determinare una taratura ideale dei limiti di peso per ogni classe assegnata ad un determinato SPOD che risultasse coerente con gli spazi di piazzale che si sarebbe voluto dedicare a quel tipo di traffico, stanti le caratteristiche peculiari dello stesso.

Da ciascuna load list sono stati dapprima estratti, mediante l'utilizzo dello strumento tabella pivot, i dettagli relativi ai contenitori caricati per ciascun porto di destinazione suddivisi per tipologia (figura 3.23).

Conteggio di Unit	Etichette di colonna			
Etichette di riga	2210	42G1	4510	Totale complessivo
Algeciras	77	52	241	370
Baltimora	71	6	74	151
Charleston	6	14	17	37
New York City	104	67	263	434
Norfolk	86	47	180	313
Savannah	50	23	115	188
Valencia	2	5	32	39
Totale complessivo	396	214	922	1532

Fig. 3.23 – Esempio di tabella pivot estratta dalla load list della m/n GSL KALLIOPI – ATA 03/04/2021

I dettagli di ricarica di ciascuna nave sono stati successivamente riportati su alcuni fogli di calcolo riepilogativi (vedi l'esempio riportato in fig. 3.24), redatti per ogni tipologia di contenitore e per ogni linea di traffico.

All'interno di questi file, i dati sono stati organizzati in modo tale da ricavare e mettere in evidenza le informazioni circa la quantità minima, massima e media relativamente alle unità di carico che durante l'anno, per ogni destinazione, sono state imbarcate sulla linea di servizio di riferimento (nota ¹ fig. 3.24). Parallelamente è stato reso esplicito l'impatto che ciascun porto ha avuto, in termini percentuali, rispetto ai totali di imbarco registrati per la m/n di riferimento, con l'intenzione di riuscire a rilevare eventuali trend caratterizzanti del servizio (nota ² fig. 3.24).

Partendo da un quadro generale chiaro con riferimento al layout dello yard per quanto concerne il numero di stive disponibili nonché la capacità garantita da ognuna di queste in termini di slot totali, le informazioni ottenute sono state poi utilizzate come base per sviluppare una serie di ipotesi con l'obiettivo di impiegare al meglio gli spazi in relazione ai quantitativi che mediamente interessano in export i diversi porti di destinazione (nota ³ fig. 3.24).

Ad esempio, per lo stivaggio dei contenitori 40 HC con previsione di sbarco al porto di New York, che nel 2021 sono stati processati in *gate-in* con un numero medio di circa 211 unità per viaggio, è stato previsto l'impiego di baie caratterizzate da un numero elevato di row e di conseguenza maggiormente capienti in termini di slot.

Nello specifico l'ipotesi di base è stata quella di predisporre l'impiego di 8 baie nel blocco prospiciente agli accosti denominati 15A e 15B, con capienza rispettivamente di 37 e 25 contenitori cadauna per un totale di 248 slot, tali da permettere la copertura del fabbisogno di stivaggio necessario per oltre il 70% dei viaggi che compongono il database analizzato.

Ragionamento analogo è stato fatto anche relativamente alle *stowage rules* da implementare per la gestione dei volumi della linea Canada. I numeri ricavati dal foglio di calcolo dedicato a tale servizio evidenziano, per la tipologia dei 40 HC dry, dei valori medi che si attestano a 42 unità caricate settimanalmente con SPOD Montreal e 77 con SPOD Toronto.

Sulla base di questi dati è stato pianificato l'impiego di 3 baie nel blocco denominato L7, ubicato nell'area di piazzale retrostante la banchina recentemente

ottenuta in concessione dalla Adsp, che garantiscono una capienza unitaria di 19 contenitori per un totale di 57 slot di capacità dedicata al porto di Montreal; medesimo processo è stato applicato per definire l'ipotesi di gestione delle unità con SPOD Toronto, per le quali è stato ipotizzato l'impiego di 3 baie di capacità unitaria maggiore (25 slot) per un totale di 75 contenitori stivabili, nel blocco L8 localizzato nella stessa area.

Questo approccio procedurale è stato applicato a tutte le destinazioni, per tutte le linee di servizio, con riferimento a tutte le tipologie di contenitori (20-40 box-HC) ad esclusione delle unità contenenti merce pericolosa, nonché delle unità refrigerate, Flat, Open Top OOG, ed altre categorie speciali.

Contestualmente alla definizione di un nuovo set di regole di stivaggio, è stato quindi avviato un processo di *data analysis* che ha coinvolto le informazioni relativamente ai pesi di ciascuno dei contenitori appartenenti al nostro data base.

Le informazioni relativamente al Gross Weight di questi contenitori, estratte dalle liste di imbarco, sono state inserite in fogli di calcolo creati per ciascuna destinazione finale, organizzati in file Excel dedicati per ogni linea di traffico servita.

Terminata la raccolta delle informazioni nelle modalità di cui sopra, sono stati sfruttati alcuni tools del programma per la scrittura di formule matematiche adeguate, con l'obiettivo di consentire agli *yard planner* la conduzione di un'analisi dinamica dei dati a disposizione.

Inserendo valori differenti nella cella dedicata alla discriminante di peso, è stato reso infatti possibile cercare in modo intuitivo un bilanciamento delle classi che risulti coerente con l'organizzazione prevista per un determinato flusso commerciale. A tal proposito è da sottolineare il ruolo rivestito del capitano Andrea Cerulli, responsabile dei vessel planner, il quale ha collaborato con me al fine di cercare una soluzione che, per le principali destinazioni finali, garantisca un trade-off ottimale tra un buon bilanciamento relativamente alla distribuzione di peso rispetto ai dati dello storico a nostra disposizione e le necessità collegate allo stivaggio a bordo nave.

	A	B					I	J	K
1	SOMMA	LEGGERI	695						
2	SOMMA	PESANTI	671					DISCRIMINANTE DI CLASSE	23000
3	Executed	TCNU1273577	4510	3940					
4	Executed	FFAU4085924	4510	4110					
5	Executed	MSCU7661009	4510	4125	Suape	LEGGERI	1		
6	Executed	TCNU1358545	4510	4127	Suape	LEGGERI	1		
7	Executed	GESU6364323	4510	4140	Suape	LEGGERI	1		
8	Executed	MSMU8850120	4510	4457	Suape	LEGGERI	1		
9	Executed	TRHU8539030	4510	4562	Suape	LEGGERI	1		
10	Executed	MSCU7036721	4510	4790	Suape	LEGGERI	1		
11	Executed	GLDU7100698	4510	4860	Suape	LEGGERI	1		
12	Executed	MSCU5276636	4510	4875	Suape	LEGGERI	1		
13	Executed	MSMU7088237	4510	4976	Suape	LEGGERI	1		
14	Executed	CAXU9873051	4510	5175	Suape	LEGGERI	1		
15	Executed	BMOU5501080	4510	5300	Suape	LEGGERI	1		
16	Executed	MEDU4544324	4510	5300	Suape	LEGGERI	1		
17	Executed	MSMU8988341	4510	5390	Suape	LEGGERI	1		
18	Executed	FCIU8204340	4510	5400	Suape	LEGGERI	1		
19	Executed	TCNU7607429	4510	5410	Suape	LEGGERI	1		
20	Executed	CAIU4406258	4510	5840	Suape	LEGGERI	1		
21	Executed	MSDU7729695	4510	5880	Suape	LEGGERI	1		
22	Executed	MSMU7875443	4510	5890	Suape	LEGGERI	1		
23	Executed	GLDU7511554	4510	5930	Suape	LEGGERI	1		
24	Executed	MSDU8014680	4510	6042	Suape	LEGGERI	1		
25	Executed	MSMU5317910	4510	6150	Suape	LEGGERI	1		
26	Executed	CAIU7437592	4510	6250	Suape	LEGGERI	1		
27	Executed	UETU5655506	4510	6300	Suape	LEGGERI	1		
28	Executed	FFAU2197099	4510	6365	Suape	LEGGERI	1		
29	Executed	TCLU5578237	4510	6380	Suape	LEGGERI	1		

Fig. 3.25 – Esempio di foglio di calcolo impostato per la discriminazione a due classi di peso

Per ciascun porto di destino è stato quindi creato un foglio di calcolo dedicato, impostato con formule matematiche coerenti rispetto alle regole di stivaggio determinate in precedenza.

Per i contenitori con SPOD Suape, ad esempio, l'impostazione del foglio di lavoro è stata fatta mantenendo la configurazione a due classi di peso, come da regola di stivaggio prevista.

Attraverso la costruzione del modello è stato possibile introdurre una forma di ragionamento semplice ed intuitivo, mettendo a disposizione dei planner uno strumento utile per la determinazione di limiti di classe personalizzati per ogni SPOD, che risultino coerenti con la distribuzione dei valori di gross weight caratterizzante la popolazione di contenitori oggetto di studio.

Tornando all'esempio di cui sopra è stato possibile, attraverso il foglio di calcolo, definire una migliore suddivisione dei contenitori per la destinazione di riferimento, introducendo una discriminazione personalizzata a più o meno di 23000 kg.

Dal modello è infatti emerso che una discriminazione standard a 18 tons avrebbe avuto la conseguenza di sbilanciare la distribuzione dei contenitori in ingresso; tale sbilanciamento ha determinato in passato la necessità di impiego di una extra stiva per i contenitori pesanti a fronte di una stiva dedicata ai leggeri che è rimasta molte volte con slot inutilizzati. Il *modus operandi* sopra descritto è stato pensato per trovare applicazione

relativamente a tutte le tipologie di configurazione previste, anche cioè per quelle destinazioni per le quali si è determinato la predisposizione di tre o quattro classi di peso differenti.

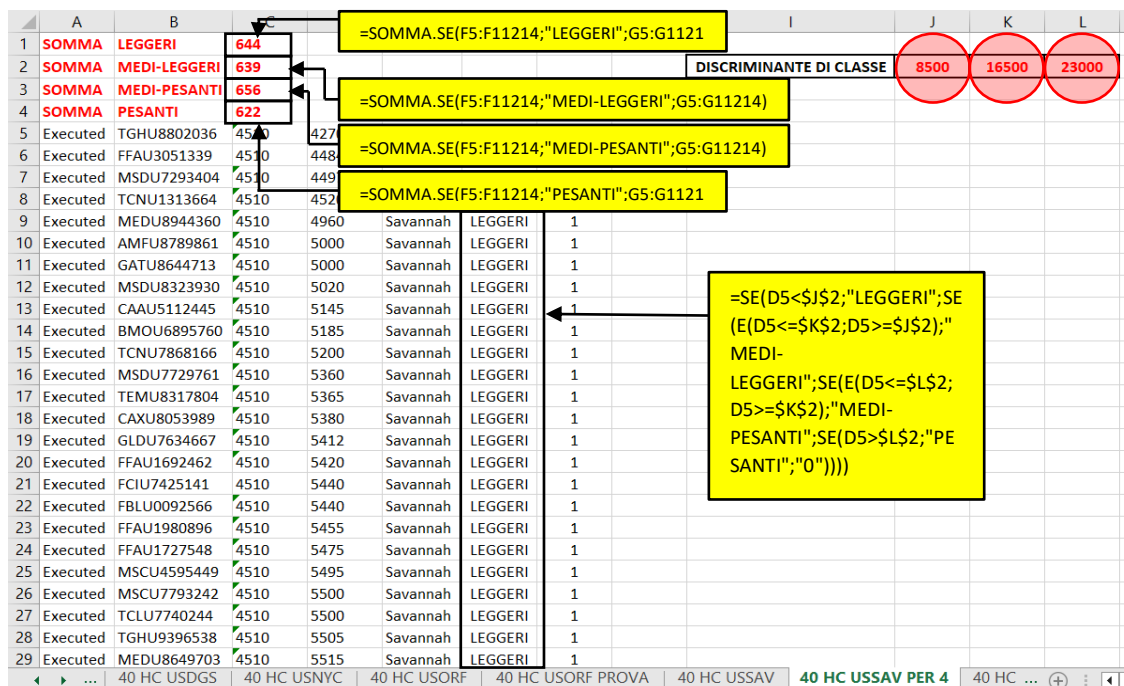


Fig. 3.26 – Esempio di foglio di calcolo impostato per la discriminazione a tre classi di peso

Esemplificativo da questo punto di vista è il settaggio delle *class weight* implementato relativamente al porto di Savannah, negli Stati Uniti.

Il flusso commerciale che interessa questo porto è sempre stato caratterizzato da una prevalenza di contenitori leggeri, conseguenza diretta della tipologia di merce caricata per questa direttrice di traffico, composta in buona parte da attrezzi e macchinari ginnici.

Questa caratteristica peculiare nella distribuzione dei pesi, unita all'elevato volume di movimentazioni annue, ha suggerito il setting di una configurazione che prevedesse ben 4 classi di peso, con un valore di upper bound per ogni classe fissato rispettivamente a 8500 kg, 16500 kg e 23000 kg. Una discriminazione di peso organizzata con questi valori ha permesso, date le caratteristiche proprie del traffico analizzato, una distribuzione equa delle unità in ingresso per il porto di riferimento.

L'implementazione di questo strumento ha di fatto permesso la conduzione di un ragionamento personalizzato per ciascun porto servito, concorrendo in modo tangibile e concreto a migliorare le modalità di impiego degli spazi a parità di volumi lavorati.

Conseguentemente all'applicazione di questo metodo, infatti, i contenitori processati in inbound per l'export hanno messo in evidenza una migliore distribuzione all'interno delle aree di stoccaggio, che tiene conto delle peculiarità dei singoli flussi commerciali piuttosto che seguire regole aspecifiche ed indifferenziate, con conseguenti ripercussioni positive che si riscontrano nella minor quantità di movimentazioni necessarie nelle fasi di imbarco e, di conseguenza, nel miglioramento delle performance di produttività del terminal rispetto ai tempi totali di servizio alla nave.

A sostegno della tesi che sostiene la bontà del lavoro svolto, è stata condotta una analisi ex-post rispetto all'introduzione delle nuove strategie di gestione.

Di seguito si riportano alcuni grafici con i quali si intende rappresentare un confronto in termini di performance tra i dati fatti registrare relativamente ai primi cinque viaggi nave compiuti nel 2022 rispetto a quanto fatto riscontrare, per ciascuna linea di servizio, nei primi 5 viaggi appartenenti rispettivamente ai quattro trimestri del 2021.

Per prima cosa abbiamo estratto su Excel i numeri di performance attinenti alle rese nave per ciascuno dei viaggi di cui sopra (vedi figura 3.27), andando a comporre il nostro data base. Per ogni nave oggetto di analisi sono state utilizzate le funzioni media, max e min per mettere in evidenza i dati relativi a tali valori di interesse, rispetto ai numeri totali fatti registrare per ogni turno di lavorazione.

MSC ANIELLO - VOY CX104A DEL 06/02/2022							
		Container			Other		Total
		Discharge	Load	Total	HC	Total	
02-06 14:22 - 02-06 19:30	7608	27	46	73	6	6	79
	Total	27	46	73	6	6	79
02-06 14:26 - 02-06 19:30	8412	61	22	83	3	3	86
	Total	61	22	83	3	3	86
02-06 14:29 - 02-06 19:30	7408		108	108	4	4	112
	Total		108	108	4	4	112
02-06 19:30 - 02-07 01:30	7408	29	37	66	2	2	68
	7608		95	95	5	5	100
	8412		87	87	3	3	90
	Total	29	219	248	10	10	258
02-07 01:30 - 02-07 05:38	7408	29	29	58	2	2	60
	Total	29	29	58	2	2	60
02-07 01:30 - 02-07 06:29	8412		82	82	2	2	84
	Total		82	82	2	2	84
02-07 01:30 - 02-07 06:50	7608		63	63	3	3	66
	Total		63	63	3	3	66
Total		146	569	715	30	30	745
			MIN	58			
			MAX	108			
			MEDIA	79,44444444			

Fig. 3.27 – Esempio di report di performance estratto dal TOS – m/n MSC Aniello voy CX104A del 06/02/2022

I dati ottenuti sono stati poi raccolti in apposite tabelle create ad hoc per le finalità di cui sopra, suddivisi per nave ed organizzati per linea di servizio (fig. 3.28).

LINEA CANADA:

I° TRIMESTRE: *primo trimestre poche navi che riempiono una mano di lavorazione

NAVE	VOY	ATA	N° CNTS	MIN	MAX	MEDIA
MSC ANNICK	CX051	23/12/2020	366	57	98	73,2
MSC ANNICK	CX103	01/02/2021	469	51	99	73
MSC ANIELLO	CX104	06/02/2021	715	58	108	79,4
MSC SARISKA	CX107	24/02/2021	690	68	101	80,2
MSC VERONIQUE	CX108	28/02/2021	637	50	100	73

II° TRIMESTRE:

NAVE	VOY	ATA	N° CNTS	MIN	MAX	MEDIA
MSC SARISKA	CX112	31/03/2021	471	57	100	79,4
MSC MARTINA	CX113	11/04/2021	431	72	102	87,2
MSC BRIANNA	XA116	25/04/2021	1015	77	116	89,2
MSC ELENI	CX118	13/05/2021	765	40	76	58,3
MSC ANNICK	CX120	23/05/2021	375	59	77	67

III° TRIMESTRE:

NAVE	VOY	ATA	N° CNTS	MIN	MAX	MEDIA
MSC ELENI	CX118	15/05/2021	765	40	65	60,5
MSC ANNICK	CX120	23/02/2021	375	59	77	65,3
MSC ANIELLO	CX121	01/06/2021	704	69	112	86
MSC LORENA	CX124	21/06/2021	530	63	91	79,2
MSC ANGELA	CX152	02/07/2021	1164	67	117	91,2

IV° TRIMESTRE:

NAVE	VOY	ATA	N° CNTS	MIN	MAX	MEDIA
MSC ANNICK	CX134	05/09/2021	484	57	104	80,6
MSC MANYA	CX135	09/09/2021	461	55	91	72,5
MSC SANDRA	CI134	12/09/2021	1160	63	99	85,4
MSC BRIANNA	CX137	20/09/2021	622	50	89	74,6
MSC TAMARA	CX138	26/09/2021	910	63	101	80,4

MEDIE POST IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO - I° TRIMESTRE 2022

NAVE	VOY	ATA	N° CNTS	MIN	MAX	MEDIA
MSC KIM	CX201A	10/01/2022	1467	62	106	90,4
MSC DONATA	CI152R	22/01/2022	655	79	108	97
MSC ANNICK	CX204A	04/02/2022	1024	80	116	99,6
MSC SANTHYA	CX206A	13/02/2022	932	77	104	86,2

Fig. 3.28 – Esempio di tabelle di raccolta dati di performance dedicate alla linea Canada

Di seguito si riportano i dati ottenuti con riferimento alla linea Canada, ottenuti confrontando le medie di lavorazione pre-intervento con quelle fatte registrare post implementazione delle nuove strategie di gestione.

	VALORI MEDI DEL TRIMESTRE			Δ rispetto al I trimestre 2022		
	MIN	MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA
I TRIMESTRE 2021	56,8	101,2	75,76	31,2%	7,2%	23,2%
II TRIMESTRE 2021	61	94,2	76,22	22,1%	15,2%	22,4%
III TRIMESTRE 2021	59,6	92,4	76,44	25,0%	17,4%	22,1%
IV TRIMESTRE 2021	57,6	96,8	78,7	29,3%	12,1%	18,6%
I TRIMESTRE 2022	74,5	108,5	93,3			

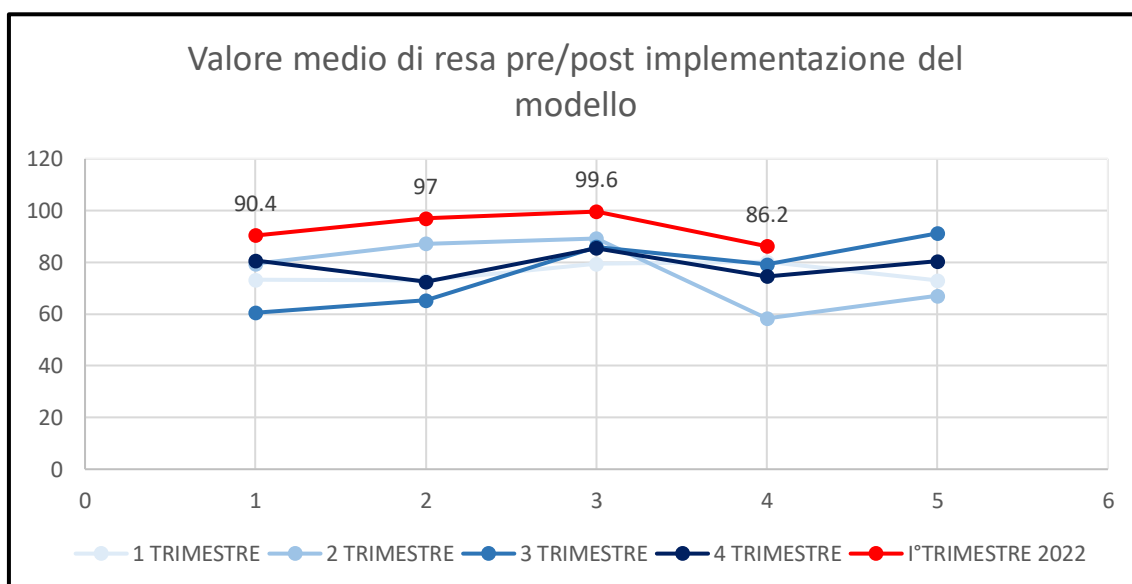


Fig. 3.29 – Tabelle comparative di performance pre/post implementazione del modello – Linea Canada

La linea Canada è quella che, dati alla mano, sembra aver beneficiato maggiormente dell'intervento, con medie aumentate di oltre il 20% rispetto al periodo precedente all'implementazione (vedi fig. 3.29).

La peculiarità di questa linea di servizio, che prevede pochi porti di toccata per i quali vengono caricati un numero relativamente elevato di contenitori, ha favorito una più accurata suddivisione delle classi di stivaggio, con un impatto positivo sul numero di movimentazioni necessarie in fase di picking all'imbarco.

La nuova stowage strategy ha infatti previsto una modifica della configurazione adottata sia per il porto di Montreal che per il porto di Toronto, per i quali si è passati ad

una gestione basata su 3 classi di peso (laddove in passato se ne gestiva due), discriminate in modo differente basandoci sulla distribuzione dei valori di massa lorda relativi ai contenitori caricati nel 2021 per quelle destinazioni.

	VALORI MEDI DEL TRIMESTRE			Δ rispetto al I trimestre 2022		
	MIN	MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA
I TRIMESTRE 2021	52,8	95	71,1	18,4%	23,2%	19,0%
II TRIMESTRE 2021	48	124	76,7	30,2%	-5,6%	10,3%
III TRIMESTRE 2021	52,6	100	78,7	18,8%	17,0%	7,5%
IV TRIMESTRE 2021	57,2	113,4	80,22	9,3%	3,2%	5,5%
I TRIMESTRE 2022	62,5	117	84,6			

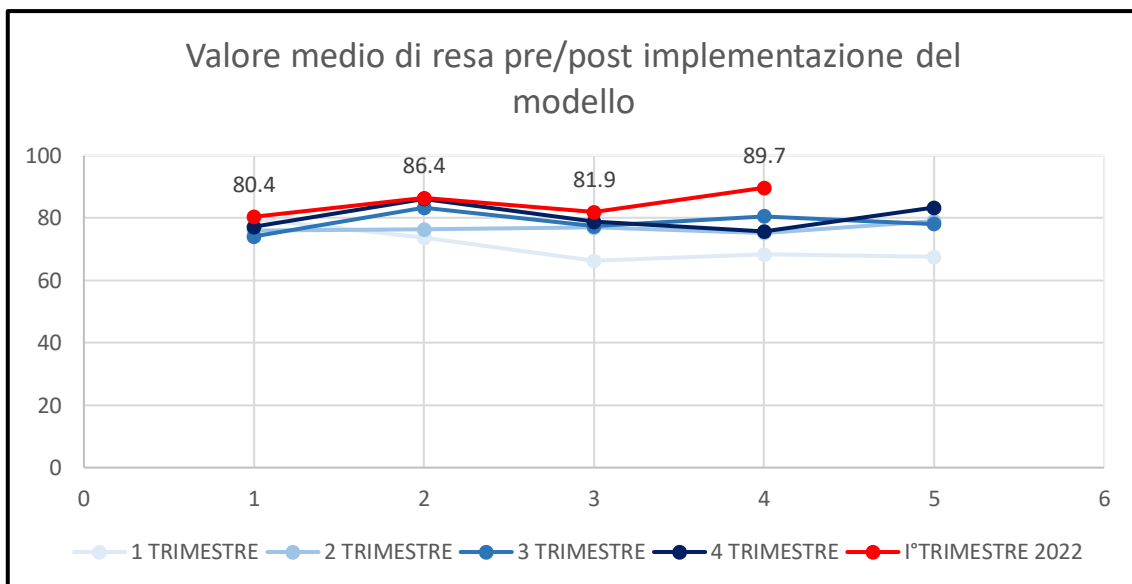


Fig. 3.30 – Tabelle comparative di performance pre/post implementazione del modello – Linea Stati Uniti

Effetti positivi sono stati altresì riscontrati nelle performance di produttività della linea degli Stati Uniti (fig. 3.30). Su questo servizio è stato fatto registrare un aumento sostanziale delle rese medie rispetto ai primi due trimestri del 2021 (rispettivamente +19% e +10.3%). Crescita minore in termini relativi, ma comunque di rilievo, rispetto ai viaggi serviti nel terzo e quarto trimestre dell'anno, per i quali si è evidenziato rispettivamente un +7.5% e +5.5% nelle medie di lavorazione.

Tra le modifiche apportate nelle regole di stivaggio di questa linea di traffico, le più rilevanti hanno riguardato la gestione dei porti di New York, Savannah ed Algeciras, storicamente molto impattanti in termini di volumi in export, per i quali siamo passati ad

una configurazione che prevede 4 quattro categorie di peso, diversamente da quanto accadeva in passato dove la suddivisione si limitava a pesanti e leggeri.

Per i porti di media importanza in termini di volumi, come Charleston, Norfolk e Douglastone, è stata introdotta una divisione in tre classi, in modo tale da rendere maggiormente accurata la suddivisione dei pesi a fronte di un giustificato impiego delle baie ottenute contestualmente all'acquisizione della nuova area, caratterizzate da una minore capacità.

Per i porti di importanza marginale come Baltimora e Sines è stata invece mantenuta la configurazione standard pesi/leggeri, pur fissando un valore di discriminazione che tenesse conto della distribuzione di peso dei contenitori caricati storicamente per quelle destinazioni.

L'obiettivo è quello di cercare di ottimizzare al massimo le risorse in termini di spazio adattando la gestione dei traffici a questi e non viceversa.

	VALORI MEDI DEL TRIMESTRE			Δ rispetto al I trimestre 2022		
	MIN	MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA
I TRIMESTRE 2021	46,6	98,8	71,4	36,1%	12,1%	17,8%
II TRIMESTRE 2021	56,8	92	77,18	11,6%	20,4%	8,9%
III TRIMESTRE 2021	60,4	92,2	77,88	5,0%	20,2%	8,0%
IV TRIMESTRE 2021	55	100,4	77,32	15,3%	10,4%	8,7%
I TRIMESTRE 2022	63,4	110,8	84,08			

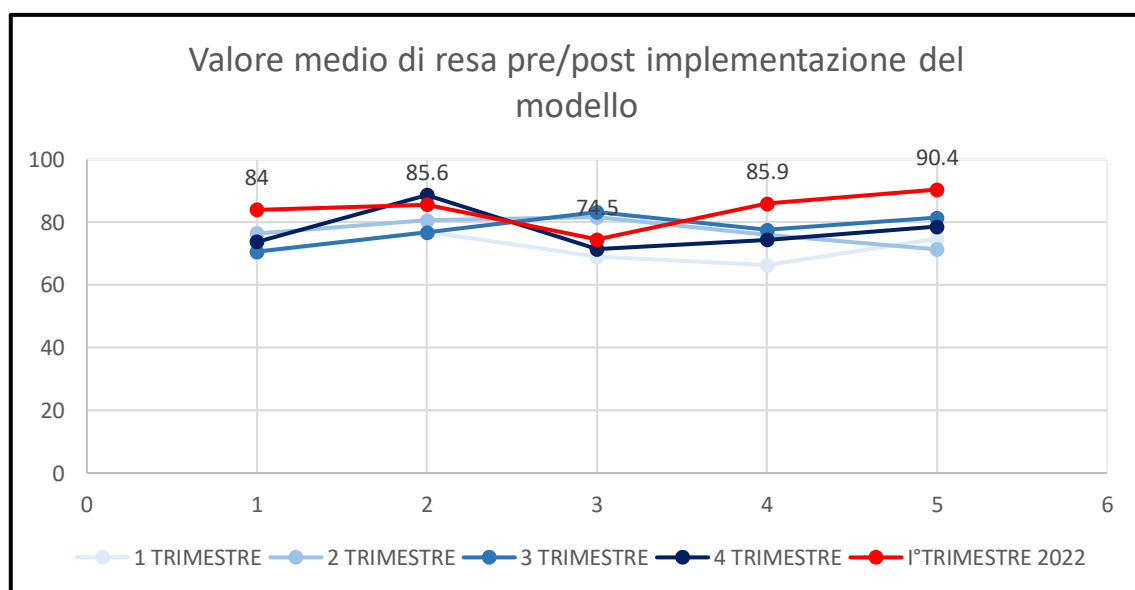


Fig. 3.31 – Tabelle comparative di performance pre/post implementazione del modello – Linea Brasile

La linea del sud America ha fatto segnare anch'essa dei risultati importanti (vedi fig. 3.31) nonostante sia la più difficile da gestire in termini di stivaggio, date le particolari caratteristiche dei traffici che la contraddistinguono.

Un numero elevato di destinazioni finali per le quali vengono mediamente processati piccoli volumi, rappresentano un fattore ostativo relativamente ad una buona distribuzione delle unità di carico sul piazzale.

Questa peculiarità rappresenta il motivo principale per cui, per questa linea, è previsto l'impiego dell'area di piazzale denominata lotto 3, che garantisce un picking bilaterale utile per un frazionamento maggiormente accurato delle stive.

Per quanto concerne le rese, i dati rilevati indicano un isolato +17,8% rispetto alla media di lavorazione evidenziata per il primo trimestre; più stabile il valore del confronto con i trimestri successivi, rispetto ai quali si è registrato un aumento di poco superiore all'8%.

Per questa linea è stata introdotta una configurazione che prevede l'implementazione di due classi di peso per tutte le destinazioni, laddove in passato era previsto, per molte di queste, la sola suddivisione per porto.

Le vecchie regole di gestione prevedevano infatti una suddivisione pesanti/leggeri per i soli porti di Santos e Suape, storicamente più importanti in termini di volumi caricati, limitandosi ad una suddivisione per tipologia per gli altri scali della rotazione.

Per questi porti più piccoli vengono oggi implementati filtri di stivaggio calibrati sulla base dello storico per quanto concerne la divisione dei pesi, allo scopo di ottimizzare la distribuzione coerentemente con le condizioni di contesto.

Dati alla mano, si può affermare che le politiche di stivaggio attualmente implementate hanno avuto un impatto concreto sulle performance del terminal riuscendo nell'obiettivo di elevarne le prestazioni fino ad un livello tornato consono con i livelli di qualità richiesti dai clienti.

CAPITOLO 4

4.1 Modelli di programmazione lineare: introduzione generale

I modelli di programmazione matematica sono modelli che descrivono le caratteristiche della soluzione ottima di un problema di ottimizzazione attraverso relazioni matematiche. Un modello di programmazione matematica è composto dai seguenti elementi:

- *Insiemi*: raggruppano gli elementi del sistema
- *Parametri*: sono i dati del problema e rappresentano delle quantità fissate che dipendono dai diversi elementi del sistema
- *Variabili decisionali o di controllo*: sono le grandezze del sistema di cui non conosciamo il valore (le incognite) e sulle quali possiamo agire per determinare diverse soluzioni alternative del problema
- *Vincoli*: sono delle relazioni matematiche che descrivono le condizioni di ammissibilità delle soluzioni. Servono quindi per discriminare le combinazioni di valori delle variabili decisionali che rappresentano soluzioni accettabili del problema, da quelle che non lo sono
- *Funzione obiettivo*: da massimizzare o minimizzare, espressa come funzione delle variabili decisionali, valuta le soluzioni del problema.

Un modello di programmazione matematica dichiara le caratteristiche della soluzione cercata (che cosa), piuttosto che definire la strategia per la ricerca della soluzione stessa (come). La risoluzione di un problema di ottimizzazione formulato con un modello di programmazione matematica consiste nella determinazione dei valori delle variabili che soddisfano tutti i vincoli e massimizzano o minimizzano il valore della funzione obiettivo.

Come nei linguaggi dichiarativi, una volta messo a punto il modello matematico, la ricerca della soluzione ottima può essere effettuata con appositi risolutori; pertanto, un

modello di programmazione matematica non ha solo valenza descrittiva, ma anche operativa.

I modelli di programmazione lineare sono una particolare classe di modelli di programmazione matematica in cui la funzione obiettivo è un'espressione lineare delle variabili decisionali ed i vincoli sono determinati da un sistema di equazioni e/o disequazioni lineari.

In base alla natura o dominio delle variabili decisionali, si parla di:

- modelli di Programmazione Lineare (in senso stretto, PL) se tutte le variabili possono assumere valori reali
- modelli di Programmazione Lineare Intera (PLI) se tutte le variabili possono assumere valori interi
- Modelli di Programmazione lineare binaria se le variabili possono assumere valori 0/1.
- modelli di Programmazione Lineare Intera Mista (PLIM) se alcune variabili possono assumere valori reali e altre valori interi.

L'importanza dei modelli di programmazione lineare risiede nella loro notevole valenza operativa (a scapito a volte della potenza descrittiva), grazie alla disponibilità di motori di ottimizzazione particolarmente efficienti. I modelli, così formulati, possono essere facilmente implementati su calcolatore (ad esempio con fogli di calcolo o con linguaggi di modellazione algebrica) per ottenere la soluzione ottima.

Per prima cosa, per la costruzione di un modello, dobbiamo individuare quali sono le decisioni da prendere per risolvere il problema, ossia dobbiamo definire le variabili decisionali (incognite).

Nel nostro caso vedremo come, ad esempio, una decisione da prendere riguarda quale baia assegnare a ciascun contenitore. Definiremo dunque, tra le altre, una variabile x_{ij} che prenderà un determinato valore a seconda che un contenitore i venga assegnato o meno, nella soluzione ottima, ad una determinata baia j .

Definite le variabili, è necessario determinare qual è l'obiettivo, ossia dobbiamo formulare la funzione obiettivo da ottimizzare. Nel nostro caso si cercherà di minimizzare il numero di baie utilizzate nonché degli slot lasciati inutilizzati, a parità di condizioni.

Infine, dobbiamo descrivere le condizioni di ammissibilità delle soluzioni, ovvero costruire un sistema di equazioni e/o disequazioni lineari che esprimono i vincoli che le variabili devono soddisfare per essere soluzioni ammissibili del problema.

È necessario inoltre specificare il dominio delle variabili scelte. Nel nostro caso, ad esempio, la variabile z rappresenta la quantità di slot rimasti vuoti per ogni baia. Trattandosi di slot unitari lasciati inutilizzati, per caratteristiche intrinseche questa variabile potrà assumere solo valori interi e positivi. Le altre variabili del modello sono invece definite come variabili binarie, con la possibilità di assumere perciò i soli valori 0 o 1 a seconda della soluzione ottima trovata.

4.2 Descrizione del modello di PLI 0/1

Il primo passo per risolvere un problema reale attraverso strumenti matematici consiste nel passare dalla descrizione a parole del problema al modello matematico dello stesso.

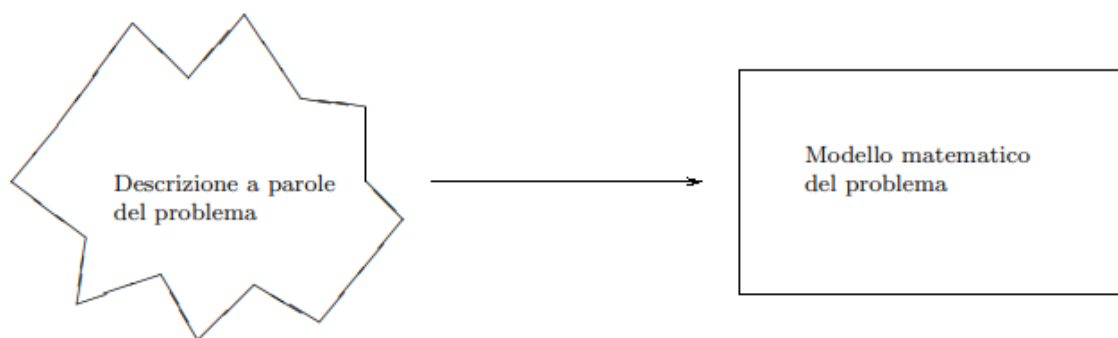


Figura 4.1 – Passaggio dalla descrizione a parole al modello matematico

Il modello matematico che andremo a proporre è stato pensato per cercare una soluzione ottimale relativamente allo stoccaggio dei contenitori in transito dal terminal per una delle linee di traffico servite.

Il problema si può riassumere, di conseguenza, con quanto sotto:

- A banchina arrivano settimanalmente navi portacontenitori che prestano servizio su differenti linee di traffico, le quali hanno bisogno di essere scaricate e caricate al terminal.

- È data una lista di imbarco relativa ad un viaggio compiuto da una di queste navi, tra quelle che prestano servizio sulla rotta Europa – Canada.
- Per ogni contenitore della lista, sono date informazioni relative a destinazione, dimensione, altezza e peso.
- È dato il numero di stive a disposizione per gestire l’allocazione dei contenitori destinati all’imbarco su navi di quel servizio, nonché la loro capacità in termini di slot.
- Si deve determinare l’ottimale gestione dello stivaggio dei contenitori, in modo da minimizzare il numero di baie utilizzate nonché il numero di slot lasciati inutilizzati.

Per approcciare l’esposizione del modello matematico andremo dapprima a presentare in modo descrittivo gli insiemi che abbiamo definito, per poi soffermarci sulla esposizione delle variabili utilizzate, della funzione obiettivo perseguita e dei vincoli imposti.

###INSIEMI###

CONT = insieme dei contenitori

BAY = insieme delle baie

DEST = insieme delle destinazioni

HEIGHT = insieme delle altezze

SIZE = insieme delle dimensioni

CAPACITY = insieme delle capacità in termini di slot delle diverse baie

CLASSES = insieme delle diverse classi di peso definite

###VARIABILI DECISIONALI###

$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in CONT; \forall j \in BAY \rightarrow$ variabile binaria definita per ogni contenitore e per ogni baia, che prende valore 1 se il contenitore i è assegnato alla baia j , 0 altrimenti.

$y_{dj} \in \{0,1\} \quad \forall d \in DEST; \forall j \in BAY \rightarrow$ variabile binaria definita per ogni destinazione e per ogni baia, che prende valore 1 se alla baia j è assegnata la destinazione d , 0 altrimenti.

$y_{h_nj}\{0,1\} \quad \forall h \in HEIGHT; \forall j \in BAY \rightarrow$ variabile binaria definita per ogni misura di altezza (8.6 ft o 9.6 ft) e per ogni baia, che prende valore 1 se alla baia j è assegnato un contenitore con altezza h , 0 altrimenti.

$y_{s_sj}\{0,1\} \quad \forall s \in SIZE; \forall j \in BAY \rightarrow$ variabile binaria definita per ogni dimensione disponibile (20 ft o 40 ft) e per ogni baia, che prende valore 1 se alla baia j è assegnato un contenitore con dimensione s , 0 altrimenti.

$y_{c_cj}\{0,1\} \quad \forall c \in CAPACITY; \forall j \in BAY \rightarrow$ variabile binaria definita per ogni capacità di stoccaggio (in termini di Teu disponibili) e per ogni baia, che prende valore 1 se alla baia j è assegnata la capacità c , 0 altrimenti.

$m_j\{0,1\} \quad \forall j \in BAY \rightarrow$ variabile binaria definita per ogni baia, che prende valore 1 se nella baia j sono allocati contemporaneamente contenitori box e HC, 0 altrimenti.

$t_{jcs}\{0,1\} \quad \forall j \in BAY; \forall c \in CAPACITY; \forall s \in SIZE \rightarrow$ variabile binaria definita per ogni baia, per ogni capacità e per ogni size disponibile, che prende valore 1 se alla baia j è assegnata capacità c e sono stivati contenitori con dimensione s , 0 altrimenti.

$y_{p_pj}\{0,1\} \quad \forall p \in CLASSES; \forall j \in BAY \rightarrow$ variabile binaria definita per ogni classe di peso e per ogni baia, che prende valore 1 se alla baia j viene assegnata la classe di peso p , 0 altrimenti.

$z_j \geq 0 \quad \forall j \in BAY \rightarrow$ variabile intera definita per ogni baia, che indica il numero di slot rimasti inutilizzati.

###FUNZIONE OBIETTIVO###

$$\min \sum_{d \in DEST} \sum_{j \in BAY} y_{daj} + \sum_{j \in BAY} z_j + \alpha * \sum_{j \in BAY} m_j$$

L'obiettivo perseguito è quello di minimizzare il numero di baie impiegate per lo stoccaggio dei contenitori nonché la quantità di slot rimasti inutilizzati all'interno delle baie stesse. L'ultimo elemento della funzione è stato inserito per scoraggiare, attraverso l'applicazione di un peso pari al valore di α , lo stoccaggio promiscuo di unità box e HC nella stessa catasta.

###VINCOLI###

$$1) \sum_{j \in BAY} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in CONT$$

Questi vincoli vengono costruiti per ogni contenitore della load list. Attraverso questa equazione si impone al modello che, per ciascun contenitore, la variabile x_{ij} prenda valore 1 solo e soltanto in corrispondenza di una delle baie previste. Ogni contenitore deve essere assegnato ad una sola baia.

$$2) \sum_{i \in CONT: destinazione_i=d} x_{ij} \leq M * y_{dj} \quad \forall d \in DEST; \forall j \in BAY$$

Questi vincoli utilizzano il valore di M (fissato ex-ante, pari al numero di slot garantiti della baia più capiente a disposizione nello yard) allo scopo di definire la variabile y_{dj} , per ogni destinazione e per ogni baia. Attraverso la disequazione, se almeno un contenitore con destinazione d viene assegnato alla baia j , il valore della variabile y_{dj} relativa a quella destinazione e a quella baia deve necessariamente andare ad 1, in modo da “attivare” M e validare la disequazione stessa.

$$3) \sum_{d \in DEST} y_{dj} \leq 1 \quad \forall j \in BAY$$

Definita la variabile y_{dj} nelle modalità di cui al punto due, attraverso questi vincoli si impone che al più, per ogni baia j , possa prendere valore 1 la variabile y_{dj} relativa ad una sola destinazione d . Ogni baia può accogliere contenitori caratterizzati da una e una sola destinazione finale.

$$4) \sum_{i \in CONT: dimensione_i=s} x_{ij} \leq M * y_{sj} \quad \forall s \in SIZE; \forall j \in BAY$$

Questi vincoli utilizzano il valore di M (fissato ex-ante) allo scopo di definire la variabile y_{s_j} , per ogni size e per ogni baia. Attraverso la disequazione, se almeno un contenitore con dimensione s viene assegnato alla baia j , il valore della variabile y_{s_j} relativa a quella size e a quella baia deve necessariamente andare ad 1, in modo da “attivare” M e validare la disequazione stessa.

$$5) \sum_{s \in SIZE} y_{s_j} \leq 1 \quad \forall j \in BAY$$

Definita la variabile y_{s_j} nelle modalità di cui al punto quattro, attraverso questi vincoli si impone che al più, per ogni baia j , possa prendere valore 1 la variabile y_{s_j} relativa ad una sola dimensione s . Ogni baia può accogliere contenitori caratterizzati da una e una sola dimensione, sia essa 20 o 40 piedi.

$$6) \sum_{i \in CONT} x_{ij} \leq \sum_{c \in CAPACITY} c * y_{c_j} \quad \forall j \in BAY$$

Questi vincoli vengono utilizzati per definire la variabile y_{c_j} , per ogni capacità di stoccaggio degli insiemi di baie a disposizione, per ogni baia. Attraverso la disequazione, se almeno un contenitore della load list viene assegnato alla baia j , il valore della variabile y_{c_j} relativa ad almeno una delle capacità previste deve andare ad 1, in modo da “attivare” il valore di c corrispondente e validare la disequazione stessa. In questo vincolo il valore di ogni c viene utilizzato in sostituzione di M , mantenendo la medesima funzione.

$$7) \sum_{c \in CAPACITY} y_{c_j} \leq 1 \quad \forall j \in BAY$$

Definita la variabile y_{c_j} nelle modalità di cui al punto sei, attraverso questi vincoli si impone che al più, per ogni baia j , possa prendere valore 1 la variabile y_{c_j} relativa ad una sola capacità di stoccaggio c . Ogni baia può accogliere un determinato numero max di contenitori, corrispondente ad uno dei valori c appartenenti all’insieme CAPACITY.

$$8) \sum_{i \in \text{CONT}: \text{altezza}_i = h} x_{ij} \leq M * y_{hj} \quad \forall h \in \text{HEIGHT}; \forall j \in \text{BAY}$$

Questi vincoli utilizzano il valore di M (fissato ex-ante) allo scopo di definire la variabile y_{hj} , per ogni altezza e per ogni baia. Attraverso la disequazione, se almeno un contenitore con altezza h viene assegnato alla baia j , il valore della variabile y_{hj} relativa a quella altezza e a quella baia deve necessariamente andare ad 1, in modo da “attivare” M e validare la disequazione stessa.

$$9) \sum_{h \in \text{HEIGHT}} y_{hj} \leq 1 + m_j \quad \forall j \in \text{BAY}$$

Definita la variabile y_{hj} nelle modalità di cui al punto otto, attraverso questi vincoli si va a configurare l'elemento m_j , utilizzato nella funzione obiettivo. Questo elemento prenderà valore 1 ogni qualvolta il modello deciderà di prevedere, per una determinata baia j , lo stoccaggio contemporaneo di contenitori sia box che HC.

Se, per una determinata baia j , prendono valore 1 le corrispondenti variabili y_{hj} relative ad entrambe le altezze previste, il valore di m_j sarà costretto ad andare anch'esso ad 1 per validare la disequazione.

$$10) y_{c_{cj}} + y_{s_{sj}} - 1 \leq t_{jqs} \quad \forall j \in \text{BAY}; \forall c \in \text{CAPACITY}; \forall s \in \text{SIZE}$$

Attraverso questi vincoli si va a definire una nuova variabile, t_{jqs} , in funzione delle variabili $y_{c_{cj}}$ e $y_{s_{sj}}$ già definite in precedenza. Questa nuova variabile sarà necessaria per vincolare il modello affinché questo, nell'elaborazione della soluzione ottima di stoccaggio, tenga conto della effettiva configurazione dallo yard per quel determinato servizio, in termini di numero di stive e capacità totale delle stesse.

La variabile t_{jcs} prenderà valore 1 solo nel caso in cui, ad una determinata baia j , venga assegnata dal risolutore una determinata capacità c e una determinata size s , diversamente prenderà valore 0.

$$11) \sum_{j \in BAY} (t_{jc20} + 2 * t_{jc40}) \leq n_q \quad \forall c \in CAPACITY$$

Definita la variabile t_{jq_s} nelle modalità di cui al punto dieci, attraverso questo vincolo si vuole porre un limite all'impiego di baie con una determinata capacità di stoccaggio, che risulti coerente con il numero di baie di quella tipologia effettivamente a disposizione nello yard. Per ciascuna capacità disponibile viene imposto che la somma delle baie impiegate deve essere minore o uguale del valore di n_q , che rappresenta la quantità di baie disponibili con quelle caratteristiche.

Da notare che, essendo t_{jq_s} variabile binaria, verrà conteggiata doppia quella relativa alla size s_2 , che corrisponde ai contenitori da 40 piedi.

$$12) \sum_{p \in CLASSES} y_{pj} \leq 1 \quad j \in BAY$$

Attraverso l'imposizione di questi vincoli si intende andare a definire le variabili binarie y_{pj} , necessarie per capire in sostanza se ad una determinata baia j viene assegnata o meno una determinata classe di peso p , tra quelle appartenenti all'insieme CLASSES. Per ciascuna baia, viene posto che la sommatoria delle variabili y_{pj} relative ad ogni classe di peso prevista, debba essere minore uguale ad 1, in modo tale da imporre al modello di scegliere al più una classe di peso per ogni baia, tra quelle disponibili.

$$13) w_i * x_{ij} \leq \sum_{p \in CLASSES} ub * y_{pj} \quad \forall i \in CONT; \forall j \in BAY$$

Questi vincoli vengono definiti per ogni contenitore appartenente alla load list, per ogni baia disponibile sullo yard. Per mezzo di questa disequazione viene imposto lo stoccaggio di contenitori omogenei dal punto di vista del peso all'interno di una determinata baia, alla quale è stata assegnata una weight class stabilita dal modello. L'elemento di sinistra della disequazione prenderà il valore corrispondente al peso di un determinato contenitore solo in corrispondenza della attivazione della variabile x_{ij} relativa alla baia alla quale questo è stato assegnato. Tale valore dovrà essere minore o uguale all'upper bound relativo alla classe di peso prevista per la baia stessa.

$$14) w_i * x_{ij} \geq \sum_{p \in CLASSES} (lb * yp_{pj}) - M * (1 - x_{ij}) \quad \forall i \in CONT; \forall j \in BAY$$

Anche questi vincoli vengono definiti per ogni contenitore appartenente alla load list, per ogni baia disponibile sullo yard. Per mezzo di questa disequazione viene imposto lo stoccaggio di contenitori omogenei dal punto di vista del peso all'interno di una determinata baia, alla quale è stata assegnata una weight class stabilita dal modello. L'elemento di sinistra della disequazione prenderà il valore corrispondente al peso di un determinato contenitore solo in corrispondenza della attivazione della variabile x_{ij} relativa alla baia alla quale questo è stato assegnato. Tale valore dovrà essere maggiore o uguale rispetto al lower bound relativo alla classe di peso prevista per la baia stessa.

In questo vincolo, rispetto al precedente, è stato aggiunto l'elemento big M che, se attivato, ha l'effetto di rendere non valida la disequazione e di conseguenza impedire il posizionamento del contenitore i all'interno di tutte quelle baie che non siano j .

In sostanza, l'inserimento del prodotto tra bigM e la differenza $(1 - x_{ij})$ è necessario per far sì che il modello si assicuri che un determinato contenitore i , assegnato alla baia j nella soluzione ottima, non possa essere assegnato a tutte le altre baie che, come j , soddisfano i requisiti di lower bound.

$$15) \sum_{c \in CAPACITY} c * y_{c_j} - \sum_{i \in CONT} x_{ij} \leq z_j \quad \forall j \in BAY$$

Attraverso questi vincoli si vuole definire il valore della variabile z_j , per ciascuna baia a disposizione. Per ogni baia, definita da una determinata capacità c , viene fatta la differenza tra la quantità di slot disponibili e la quantità di contenitori stoccati al suo interno

Di seguito il modello completo:

$$\min \sum_{d \in DEST} \sum_{j \in BAY} yd_{dj} + \sum_{j \in BAY} z_j + \alpha * \sum_{j \in BAY} m_j$$

Subject to

$$\sum_{j \in BAY} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in CONT$$

$$\sum_{i \in CONT: destinazione_i=d} x_{ij} \leq M * yd_{dj} \quad \forall d \in DEST; \forall j \in BAY$$

$$\sum_{d \in DEST} yd_{dj} \leq 1 \quad \forall j \in BAY$$

$$\sum_{i \in CONT: dimensione_i=s} x_{ij} \leq M * ys_{sj} \quad \forall s \in SIZE; \forall j \in BAY$$

$$\sum_{s \in SIZE} ys_{sj} \leq 1 \quad \forall j \in BAY$$

$$\sum_{i \in CONT} x_{ij} \leq \sum_{c \in CAPACITY} c * yc_{cj} \quad \forall j \in BAY$$

$$\sum_{c \in CAPACITY} yc_{cj} \leq 1 \quad \forall j \in BAY$$

$$\sum_{i \in CONT: altezza_i=h} x_{ij} \leq M * yh_{hj} \quad \forall h \in HEIGHT; \forall j \in BAY$$

$$\sum_{h \in HEIGHT} yh_{hj} \leq 1 + m_j \quad \forall j \in BAY$$

$$yc_{cj} + ys_{sj} - 1 \leq t_{jcs} \quad \forall j \in BAY; \forall c \in CAPACITY; \forall s \in SIZE$$

$$\sum_{j \in BAY} (t_{jc20} + 2 * t_{jc40}) \leq n_c \quad \forall c \in CAPACITY$$

$$\sum_{p \in CLASSES} yp_{pj} \leq 1 \quad \forall j \in BAY$$

$$w_i * x_{ij} \leq \sum_{p \in CLASSES} ub * yp_{pj} \quad \forall i \in CONT; \forall j \in BAY$$

$$w_i * x_{ij} \geq \sum_{p \in CLASSES} (lb * yp_{pj}) - M * (1 - x_{ij}) \quad \forall i \in CONT; \forall j \in BAY$$

$$\sum_{c \in CAPACITY} c * yc_{cj} - \sum_{i \in CONT} x_{ij} \leq z_j \quad \forall j \in BAY$$

4.3 Definizione del modello in AMPL

Una volta definito il modello matematico lo si passa ad un risolutore, che restituirà come output una soluzione ottima, se questa esiste, oppure segnalerà l'impossibilità di trovarla.

Il passaggio dal modello matematico al risolutore non è però immediato. È necessario tradurre questo modello nelle strutture dati che devono essere passate come input al programma risolutore (vedi Figura 4.2).

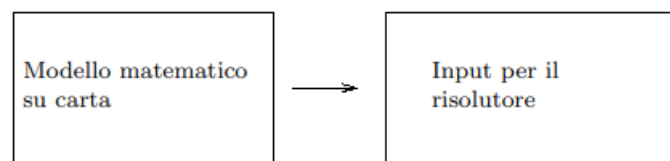


Fig.4.2 – Il modello matematico su carta viene tradotto nell'input per il risolutore

Ciò che succede nella pratica è che ci sono tipicamente grosse differenze tra il modello scritto su carta di un problema di PL e la forma in cui lo stesso modello deve essere passato come input al risolutore, e la trasformazione richiede un certo sforzo. A tale proposito viene utilizzato un software specifico, nel nostro caso AMPL, il cui scopo è proprio quello di facilitare questo compito.

Invece di passare direttamente dal modello su carta all'input per il risolutore, si prevede un passaggio intermedio. Il modello viene dapprima trascritto in linguaggio specifico (linguaggio di AMPL), dopodiché viene passato ad un traduttore, il quale si occuperà successivamente di trasformare il modello così scritto nell'input per il programma risolutore (vedi Figura 4.3).

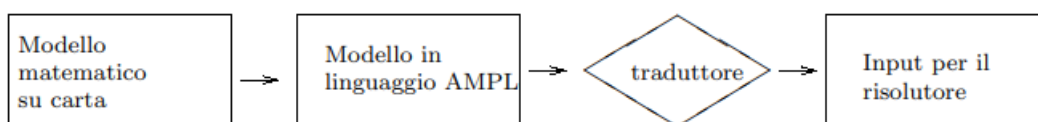


Figura 4.3 – Il modello AMPL traduce il modello su carta e viene a sua volta tradotto nell'input per il risolutore

Il vantaggio di questo passaggio supplementare è dato dal fatto che AMPL è stato concepito in modo tale da far sì che il modello scritto nel suo linguaggio specifico sia

molto simile al modello scritto su carta. Di seguito verranno introdotte alcune parti fondamentali di AMPL.

Sebbene sia lecito scrivere in un solo file AMPL sia il modello sia i dati, è concettualmente preferibile tenere separati questi due termini, costruendo:

- un *file di modello*, obbligatoriamente di estensione .mod, che descrive la struttura logica del modello (indici, variabili di decisione, funzione obiettivo e vincoli).
- un *file di dati*, obbligatoriamente di estensione .dat, che contiene i valori numerici del problema.

Mantenendo fisicamente separato il modello dai dati, è possibile applicare lo stesso modello a dati diversi (nel nostro caso si applicherebbe a diverse load list), o cambiare i dati senza dover modificare il modello, evitando il rischio di introdurre errori.

Gli elementi principali caratterizzanti di un programma AMPL, coerentemente con quanto definito all'interno di un modello di PL, sono: *insiemi, dati, variabili, funzione obiettivo e vincoli*.

Insiemi – Gli insiemi “descrivono il mondo” in cui ci si muove, cioè definiscono il dominio del problema e la sua dimensione. Servono a raccogliere in un vettore o una matrice tutti i dati o le variabili che si riferiscono a termini omogenei, in modo da trattarli simultaneamente. Ciascun insieme del modello va:

- *dichiarato* nel file .mod, per indicare che un certo nome rappresenta un insieme; si impiega la parola chiave [set], seguita dal nome dell'insieme e dal separatore [;]

Esempio: **set** CONT;

- *definito* nel file .dat, per assegnare all'insieme gli elementi che ne fanno parte; si impiega la parola chiave [set], seguita dal nome dell'insieme, dal simbolo [:=], dagli elementi separati da spazi o “a capo”; il separatore [;] chiude l'istruzione.

Esempio: **set** CONT := c₁ c₂ c₃ c₄ c₅..... c_n ;

È possibile definire insiemi non solo esplicitamente, assegnando loro gli elementi o costruendoli a partire da altri insiemi, ma anche implicitamente, attraverso le così dette espressioni di indicizzazione. Di seguito alcuni esempi di sintassi:

{CONT} # elementi di CONT
{i in CONT,j in BAY} # coppie ordinate di elementi, tratti rispettivamente da CONT e da BAY
{i in CONT: destinazione[i] = d} # elementi di CONT tali che il valore associato nel vettore destinazione = d.

L'insieme definito viene poi usato per fare da indice in una sommatoria, o nella definizione di un vettore o una matrice di dati, variabili, vincoli. Oltre che simbolici, gli insiemi possono essere anche numerici.

Nota: si presti attenzione alla differenza tra “dichiarare” e “definire”, valida per ciascuno degli elementi elencati in apertura di paragrafo.

Dati – I dati sono i valori numerici che definiscono in dettaglio il problema che si vuole affrontare, una volta precisata la sua struttura logica. Essi sono assegnati una volta per tutte, al contrario delle variabili, che vengono modificate dal risolutore in modo da determinare la soluzione ottima al problema. Ovviamente, è possibile modificare i dati generando problemi diversi (per questo spesso i dati vengono chiamati parametri), ma ciò avviene sempre a monte del processo risolutivo: il risolutore non può alterare i dati.

Come gli insiemi, i dati vengono *dichiarati* nel file del modello .mod e *definiti* nel file dei dati .dat. Per dichiararli, si impiega la parola chiave [param], seguita dal nome del dato.

Esempio: **param** M;

È possibile dichiarare vettori o matrici di dati, facendo seguire al nome un'espressione di indicizzazione che stabilisca l'insieme cui corrispondono gli elementi del vettore o della matrice.

Ad esempio:

set CONT;

param Destinazione {CONT};

L'espressione di indicizzazione può esplicitare gli indici ma non è necessario che lo faccia. Diventa invece necessario nel definire i vincoli, dato che in tal caso gli indici sono di solito ripresi nel corpo della definizione.

param Destinazione {j in CONT};

Così come avviene per gli insiemi, anche per i dati è necessario che questi, oltre ad essere dichiarati, devono essere definiti.

I dati vengono definiti con la parola chiave [param] e il simbolo [:=] , seguiti da [;].

Esempio: **param** N := 10;

Vettori e matrici di dati si definiscono elencando le coppie indice-valore, separate da spazi o "a capo" (questo spesso aumenta la leggibilità).

es: set CONT := BEAU4239330 BMOU6807624 CAAU5654066 CAAU5816465 ;

param:	destinazione
BEAU4239330	1
BMOU6807624	1
CAAU5654066	1
CAAU5816465	1

È possibile, inoltre, definire simultaneamente diversi vettori di dati

param:	destinazione	dimensione	altezza	peso :=
BEAU4239330	1	40	9.6	29.3
BMOU6807624	1	40	9.6	9.8
CAAU5654066	1	40	9.6	7.9
CAAU5816465	1	40	9.6	22.9

Si noti il simbolo [:] dopo la parola chiave param: serve a indicare che ciascuna delle parole seguenti è il nome di un vettore di dati.

Variabili – Le variabili sono le grandezze che descrivono la soluzione del problema. Il loro valore deve essere determinato dal risolutore. Le variabili vengono dichiarate nel file del modello attraverso la parola chiave [var], seguita dal nome della variabile e, eventualmente, da restrizioni al suo valore. Queste ultime possono essere descritte da

espressioni logiche oppure dalle parole chiave [integer] e [binary]. Di seguito alcune esemplificazioni:

```
var x;  
var y >= 0, <= SUP;  
var z integer;  
var w binary;  
var v = 100;
```

dove SUP deve essere un dato dichiarato e definito. La variabile y deve rimanere nell'intervallo compreso fra 0 e SUP, la variabile z è intera e w può assumere solo i valori 0 e 1. Infine, alla variabile v viene assegnato un valore fisso. Il linguaggio AMPL ammette quest'ultima possibilità, per consentire esperimenti nei quali si fissa il valore di alcune variabili, lasciando le altre libere.

Anche le variabili si possono raccogliere in vettori o matrici grazie alle espressioni indicizzate. Esempio:

```
set CIBI;  
var consumo {CIBI};  
var consumo {j in CIBI} >= 0, <= QuantitàMax [j];
```

Queste istruzioni dichiarano due variabili vettoriali indicizzate sull'insieme, puramente esemplificativo, Cibi. Nella dichiarazione della prima variabile è equivalente indicare solo l'insieme di definizione della variabile (Consumo {Cibi}) o esplicitarne anche l'indice (Consumo {j in Cibi}).

Nella seconda dichiarazione, invece, l'indice deve essere esplicito, perché compare anche in una restrizione e quest'ultima è diversa per ciascuna variabile nel vettore Quantità. Ovviamente, QuantitàMax è un dato vettoriale definito precedentemente.

Per far riferimento a una singola variabile in un vettore o matrice, si impiega la consueta notazione con le parentesi quadre.

Variabile $x[i,j]$

Espressioni algebriche e logiche – La funzione obiettivo e i vincoli che la soluzione finale deve rispettare sono generalmente espressioni algebriche complesse, costruite a partire dai dati e dalle variabili. Esse impiegano alcuni operatori matematici, tra i quali i maggiormente utilizzati sono *min* (minimo), *max* (massimo), *sum* (somma).

Nei modelli compaiono inoltre diverse espressioni di tipo logico. Come vedremo nel seguito, anche i vincoli lo sono, dato che esprimono un confronto fra due espressioni algebriche attraverso gli operatori di relazione (<, <=, =, >= o >), che deve essere verificato.

L'impiego principale delle espressioni logiche è nelle espressioni indicizzate. Queste servono a derivare dagli insiemi già definiti altri insiemi, da impiegare nelle sommatorie o nel definire vettori di dati, di variabili, di vincoli. È possibile dare a questi insiemi un nome simbolico e impiegarlo nel modello, oppure usare direttamente l'espressione indicizzata, senza assegnarle un nome.

Si definisce l'insieme derivato facendo seguire al nome di quello originario il simbolo [:] e un'espressione logica: solo gli elementi per i quali l'espressione logica è vera vanno a far parte dell'insieme derivato. Ad esempio:

nel file dei dati

set CONTdest1 := {i in CONT} destinazione[i] = 1;

nel file del modello

subject to definizione_var_yd1{j in BAY}: **sum**{i in CONTdest1}x[i,j] <= M * yd1[d1,j]

Da ripetere per ogni destinazione, oppure direttamente:

nel file del modello

subject to definizione_var_yd{d in DEST, j in BAY}: **sum**{i in CONT: destinazione[i] = d} x[i,j] <= M * yd[d,j]

Funzione obiettivo – La funzione obiettivo specifica la grandezza del problema di cui si vuole trovare il valore ottimale. Viene introdotta dalla parola chiave minimize o maximize, seguita da un nome (obbligatorio), dal simbolo [:] e dall'espressione che definisce la funzione obiettivo in termini dei dati e delle variabili.

Es: **Minimize** spazio_utilizzato: **sum** {d in DEST, j in BAY} yd[d,j] **sum**{j in BAY} z[j] + α * **sum**{j in BAY} m[j]

Vincoli – I vincoli distinguono le soluzioni ammissibili da quelle inammissibili. Vengono introdotti dalla parola chiave [subject to] (o [subj to], o [s. t.]), seguita da un nome (obbligatorio), dal simbolo [:], da un'espressione e dal consueto separatore [;].

L'espressione consiste nel confronto di due espressioni algebriche attraverso un operatore di relazione (<, <=, =, >= o >).

Es: **subject to** vincolo: $x \leq 1$;

Spesso però non si hanno singoli vincoli, ma collezioni di vincoli indicizzate su degli insiemi. In generale, dato un insieme di indici I , la collezione di vincoli indicizzata su I viene dichiarata in questo modo.

subject to nome_insieme_vincoli $\{i \text{ in } I\}$: formula_vincoli;

Terminata la definizione in AMPL di tutti gli elementi del nostro problema di allocazione, questi dovranno essere trascritti in un file a cui si assegna il nome di YARD_MANAGEMENT.MOD, che si presenterà come segue (le scritte comprese tra ### sono commenti).

YARD_MANAGEMENT.MOD

###INSIEMI###

set CONT; #insieme dei container inseriti nella distinta di imbarco

set BAY; #insieme delle baie dell'area di piazzale dedicata allo stoccaggio di quel servizio

set DEST; #insieme delle destinazioni dei contenitori imbarcati

set HEIGHT; #insieme delle altezze possibili dei contenitori imbarcati

set SIZE; #insieme delle dimensioni dei contenitori imbarcati

set CAPACITY; #insieme delle capacità in termini di slot delle baie a disposizione

set CLASSES; #insieme delle diverse classi di peso definite

###PARAMETRI###

param destinazione $\{i \text{ in } CONT\} \geq 0 \text{ integer}$; #destinazione del contenitore

param altezza $\{i \text{ in } CONT\} \geq 0 \text{ integer}$; #altezza del contenitore

param dimensione $\{i \text{ in } CONT\} \geq 0 \text{ integer}$; #dimensione del contenitore

param peso $\{i \text{ in } CONT\} \geq 0$; #peso del contenitore

param ub $\{p \text{ in } CLASSES\} \geq 0$; #upperbound per ogni classe

param lb $\{p \text{ in } CLASSES\} \geq 0$; #lowerbound per ogni classe

param $n \{c \text{ in } CAPACITY\} \geq 0 \text{ integer}$; #numero di baie disponibili con capacità c ,
 $\forall c \in CAPACITY$

param $M \geq 0 \text{ integer}$; #parametro di capacità massima delle baie utilizzato per
definire le diverse variabili necessarie

param $\alpha \geq 0 \text{ integer}$; #coefficiente necessario per penalizzare le stive promiscue
box/hc

###VARIABILI###

var $x\{i \text{ in } CONT, j \text{ in } BAY\} \text{ binary}$; #valore 1 se il contenitore i è allocato alla baia j , 0
altrimenti

var $yd\{d \text{ in } DEST, j \text{ in } BAY\} \text{ binary}$; #valore 1 se alla baia j sono allocati contenitori
con destinazione d , 0 altrimenti

var $yh\{h \text{ HEIGHT}, j \text{ BAY}\} \text{ binary}$; #valore 1 se alla baia j sono allocati contenitori con
altezza h , 0 altrimenti

var $ys\{s \text{ in } SIZE, j \text{ in } BAY\} \text{ binary}$; #valore 1 se alla baia j sono allocati contenitori con
dimensione s , 0 altrimenti

var $yc\{c \text{ in } CAPACITY, j \text{ in } BAY\} \text{ binary}$; #valore 1 se alla baia j viene assegnata
capacità c , 0 altrimenti

var $m\{j \text{ in } BAY\} \text{ binary}$; #valore 1 se nella baia j sono allocati insieme contenitori box
e HC, 0 altrimenti

var $t\{j \text{ in } BAY, c \text{ in } CAPACITY, s \text{ in } SIZE\} \text{ binary}$; #valore 1 se la baia j è
caratterizzata da una capacità e una size ben definite, 0 altrimenti

var $yp\{p \text{ in } CLASSES, j \text{ in } BAY\} \text{ binary}$; #valore 1 se alla baia j è stata assegnata la
classe di peso p , 0 altrimenti.

var $z\{BAY\} \text{ integer}$; #valore che identifica il numero di slot lasciati liberi su ciascuna
baia

###FUNZIONE_OBIETTIVO###

Minimize spazio_utilizzato: **sum** $\{d \text{ in } DEST, j \text{ in } BAY\} yd[d, j] +$
sum $\{j \text{ in } BAY\} z[j] + \alpha * \text{sum}\{j \text{ in } BAY\} m[j]$

###VINCOLI###

s.t. vincolo_uno $\{i \text{ in } CONT\}$: $\sum\{j \text{ in } BAY\} x[i, j] = 1$;

#ciascun contenitore deve essere assegnato a una baia sul piazzale

s.t. definizione_var_yd $\{d \text{ in } DEST, j \text{ in } BAY\}$: $\sum\{i \text{ in } CONT: destinazione[i] = d\} x[i, j] \leq M * yd[d, j]$;

#se c'è almeno un contenitore con destinazione d allocato nella baia j , allora la variabile $yd[d, j]$ prende valore 1, 0 altrimenti

s.t. vincolo_tre $\{j \text{ in } BAY\}$: $\sum\{d \text{ in } DEST\} yd[d, j] \leq 1$;

#per ogni baia al massimo può essere assegnata una destinazione

s.t. definizione_var_ys $\{s \text{ in } SIZE, j \text{ in } BAY\}$: $\sum\{i \text{ in } CONT: dimensione[i] = s\} x[i, j] \leq M * ys[s, j]$;

#se c'è almeno un contenitore con size s allocato nella baia j , allora la variabile $ys[s, j]$ prende valore 1, 0 altrimenti

s.t. vincolo_cinque $\{j \text{ in } BAY\}$ $\sum\{s \text{ in } SIZE\} ys[s, j] \leq 1$;

#per ogni baia al massimo può essere assegnata una size (20/40)

s.t. definizione_var_yc $\{j \text{ in } BAY\}$: $\sum\{i \text{ in } CONT\} x[i, j] \leq \sum\{c \text{ in } CAPACITY\} c * yc[c, j]$;

#se almeno un contenitore viene assegnato alla baia j , allora almeno una delle variabili yc (o entrambe) prenderanno valore 1, 0 altrimenti

s.t. vincolo_sette $\{j \text{ in } BAY\}$: $\sum\{c \text{ in } CAPACITY\} yc[c, j] \leq 1$;

#al più una capacità in termini di slot può essere assegnata ad una baia

s.t. definizione_var_yh $\{h \text{ in } HEIGHT, j \text{ in } BAY\}$: $\sum\{i \text{ in } CONT: altezza[i] = h\} x[i, j] \leq M * yh[h, j]$;

#se c'è almeno un contenitore con altezza h allocato nella baia j , allora la variabile $yh[h, j]$ prende valore 1, 0 altrimenti

s.t. attivazione_coeff_m $\{j \text{ in } BAY\}$: $\sum\{h \text{ in } HEIGHT\} yh[h, j] \leq 1 + m[j]$;

#costruendo il vincolo per ogni baia, se entrambe le variabili yh prendono valore 1 (perché in quella stiva è stivato almeno un contenitore di entrambe le altezze), il coefficiente m per quella baia prenderà valore 1 per validare la disequazione, 0 altrimenti

s.t. definizione_var_t $\{j \text{ in } BAY, c \text{ in } CAPACITY, s \text{ in } SIZE\}$: $yc[c, j] + ys[s, j] - 1 \leq t[j, c, s]$;

#se alla baia j viene assegnata una capacità c e una size s , allora la mia variabile t andrà a 1, rimane a 0 altrimenti

s.t. vincolo_undici $\{c \text{ in } CAPACITY\}$: **sum** $\{j \text{ in } BAY\} (t[j, c, 1] + 2 * t[j, c, 2]) \leq n[q]$;

#possono essere attivate una quantità di baie con capacità q non maggiore del numero massimo di quelle a disposizione, corrispondente al valore n

s.t. def_var_yp $\{j \text{ in } BAY\}$: **sum** $\{p \text{ in } CLASSES\} yp[p, j] \leq 1$;

#con questo vincolo la variabile yp prende valore 1 quando una determinata classe di peso p viene assegnata alla baia j .

s.t. u_bound $\{i \text{ in } CONT, j \text{ in } BAY\}$: $w[i] * x[i, j] \leq \text{sum}\{p \text{ in } CLASSES\} ub[p] * yp[p, j]$;

#ogni contenitore sarà vincolato ad essere stivato solo in baie per le quali la classe di peso scelta (definita dalla var yp che va a 1) ha un upper bound superiore rispetto al peso del contenitore stesso.

s.t. l_bound $\{i \text{ in } CONT, j \text{ in } BAY\}$: $w[i] * x[i, j] \geq \text{sum}\{p \text{ in } CLASSES\} (lb[p] * yp[p, j]) - M * (1 - x[i, j])$;

#ogni contenitore sarà vincolato ad essere stivato solo in baie per le quali la classe di peso scelta (definita dalla var yp che va a 1) ha un lower bound inferiore rispetto al peso del contenitore stesso.

s.t. defin_var_z $\{j \text{ in } BAY\}$: **sum** $\{c \text{ in } CAPACITY\} c * yc[c, j] - \text{sum}\{i \text{ in } CONT\} x[i, j] \leq z[j]$;

#vincolo che definisce il numero di slot lasciati liberi per ogni baia

Una volta costruito il modello come sopra descritto, sarà necessario inserire in un altro file i valori di insiemi e parametri. Mentre il modello viene inserito in un file con estensione .MOD, i valori vengono inseriti in un file con estensione .DAT.

Il file YARD_MANAGEMENT.DAT dovrà in sostanza contenere le definizioni degli insiemi nonché i valori assegnati ai diversi parametri.

Ad esempio, per l'insieme CONT, dovranno essere definiti i singoli elementi, corrispondenti ai contenitori appartenenti alla load list oggetto di analisi. Per ciascuno di questi elementi, saranno inoltre definiti i parametri noti relativi alla destinazione finale,

alla dimensione, all'altezza dei contenitori ed al peso degli stessi. Allo stesso modo dovranno essere definiti tutti gli insiemi del modello, nonché specificati tutti i parametri necessari al funzionamento dello stesso.

Quindi il file YARD_MANAGEMENT.DAT per il nostro problema si presenterà come segue.

YARD_MANAGEMENT.DAT

###INSIEMI###

set *CONT* :=

BEAU4239330	BMOU6807624	CAAU5654066	CAAU5816465
CAIU7273673	CAIU7282000	CAIU7834394	CARU9901754
CRSU9090038	DFSU6456922	DRYU9610270	FBLU0073782
FCIU8972483	FDCU0291930	FFAU1243878	FFAU3877362
...
MSDU7336553	MSDU7749840	MSDU7800601	MSDU7824305
MSDU7911591	MSDU8639549	MSDU8924865	MSMU4027428
MSMU4071992	MSMU5724896	MSMU6623540	MSMU6862462
MSMU6930762	MSMU7358055	MSMU7560940	MSMU8323520
MSMU8576956	MSMU8916193	MSNU7193977	TCLU5648000
TCNU5428105	TEMU8246568	TGBU6867680	TGBU9334067
TGHU6450255	TLLU5170388	TLLU7571461	TLLU8544286
TRHU5519641	TRHU8192681	TRHU8270716	TRHU8525967

set *BAY*:= BAY1 BAY2 BAY3 BAY4 BAY5 BAY6 BAY7 BAY8 BAY9 BAY10;

set *DEST*:= 1 2;

set *HEIGHT*:= 8.6 9.6;

set *SIZE*:= 20 40;

set CAPACITY:= 19 25;

set CLASSES:= LEGGERI MEDI PESANTI;

###PARAMETRI###

param:	destinazione	dimensione	altezza	peso :=
CAAU5654066	1	40	9.6	29.3
CAAU5816465	1	40	9.6	9.8
CAIU7282000	1	40	9.6	7.9
CAIU7834394	1	40	9.6	22.9
FCIU8972483	1	40	9.6	21.7
FDCU0291930	1	40	9.6	18.8
FFAU1243878	1	40	9.6	21.6
MEDU7394948	1	40	9.6	18.3
MEDU9359099	1	40	9.6	28.5
MSDU5074140	1	40	9.6	26.8
MSDU6505978	1	40	9.6	17.7
MSDU7800601	1	40	9.6	21.3
MSDU7824305	1	40	9.6	22.2
MSDU7911591	1	40	9.6	22.8
...
TLLU7571461	2	40	9.6	23.8
TLLU8544286	2	40	9.6	24.6
TRHU5519641	2	40	9.6	25.0
TRHU8525967	2	40	9.6	6.8 ;

param:	lb	ub :=
LEGGERI	1	11.9
MEDI	12	22.9
PESANTI	23	33 ;

param n:=

19 6

25 6

param M:= 37

param α := 5

Una volta inseriti i dati nel file YARD_MANAGEMENT.DAT siamo pronti per la risoluzione. Prima di procedere con la discussione dei risultati, è opportuno fare una precisazione. Qui abbiamo inserito certi dati ma può capitare che lo stesso tipo di problema debba essere risolto con altri dati (nel caso specifico può cambiare la composizione della load list). AMPL è concepito in modo tale che queste modifiche possano essere fatte andando a modificare il solo file .DAT, mentre nessuna modifica deve essere fatta nel file .MOD.

4.4 Applicazione del modello – il contesto di riferimento

Il modello, così come è stato presentato nei paragrafi precedenti, è stato sviluppato con la volontà di prevederne una applicazione, seppur esemplificativa, alla realtà operativa del terminal.

Coerentemente con questo obiettivo, si è deciso di far girare il modello utilizzando i dati estratti dalla *load list* di una delle navi che prestano servizio sulla linea commerciale Europa-Canada, che presenta alcune caratteristiche peculiari: pochi porti di toccata, volumi di traffico contenuti e distribuiti in modo omogeneo tra le destinazioni.

Nello specifico è stata selezionata la m/n MSC ANNAH, viaggio CI377A, lavorata al terminal in data 12/09/2023. I dati relativi a questa nave, sia con riferimento alla anagrafica dei contenitori di imbarco sia relativamente alla distribuzione dei contenitori stessi nell'area di piazzale dedicata, sono stati salvati allo scopo di essere utilizzati, in futuro, come base comparativa rispetto ai risultati forniti dal modello.

Tale nave, durante le operazioni di carico, ha imbarcato 31 unità da 20 piedi e 83 unità da 40 piedi, per un totale di 114 contenitori dry standard.

Da notare come la scelta di selezionare questo specifico viaggio per la nostra analisi (particolarmente povero in termini di container di imbarco) trova ragione d'essere nella natura volutamente esemplificativa prevista per l'implementazione del modello, imposta dai vincoli di licenza cui abbiamo dovuto sottostare, sia in termini di numero di variabili che di numero di vincoli previsti.

Per lo stoccaggio dei contenitori coinvolti sono state applicate le regole di *yard management* descritte all'interno del capitolo 2, attraverso le quali si cerca, come detto, di trovare un giusto equilibrio nel trade-off tra gli spazi dedicati allo stoccaggio delle suddette unità e le movimentazioni necessarie per portare a termine l'imbarco delle stesse.

A livello operativo, coerentemente con l'obiettivo di cui sopra e stante le criticità intrinseche del terminal in termini di spazi disponibili, è stato deciso assieme al *vessel manager* di concentrare le attenzioni sulla gestione delle unità high cube, che per caratteristiche sono quelle maggiormente impattanti sulle sequenze di imbarco e, per questo motivo, più soggette a scartaggi imposti dai planner di linea.

Questo *modus operandi* condiviso trova giustificazione nel fatto che le navi portacontenitori presentano tutte una struttura interna tale per cui lo stivaggio delle unità

9.6” risulta essere sempre vincolato allo spazio disponibile sotto i portelloni (*hatch*), e per questo motivo necessariamente più complesso dal punto di vista gestionale. A seconda delle caratteristiche proprie di ciascuna nave, è possibile posizionare in stiva un numero ben definito di unità HC (che possono essere 1/2/3 max per *row*), in modo tale da permettere la corretta chiusura del portellone soprastante.

Conseguentemente a quanto detto, risulta essere di centrale importanza per il vessel planner avere la possibilità di selezionare, in fase di pianificazione delle sequenze di imbarco, un contenitore con caratteristiche di peso tali da permettere il completamento della *row* pur mantenendo il rispetto delle limitazioni imposte dal comandante della nave con riferimento allo *stacking weight*. Questo aspetto, garantito da una attenta divisione dei contenitori sulla base del loro peso, risulta essere meno impattante per le unità 8.6”, proprio per la maggior libertà di gestione garantita loro in fase di pianificazione.

Le motivazioni appena descritte sono alla base della decisione di pianificare uno *yard management system* che tenga conto di questi aspetti, concentrando le attenzioni su una attenta gestione delle classi di peso con riferimento principalmente ai contenitori high cube, mantenendo contrariamente una tendenza alla ottimizzazione degli spazi per quanto riguarda le unità 8.6”.

Coerentemente rispetto a quanto detto, i contenitori da 20 ft così come quelli da 40 ft con altezza 8.6”, non saranno quindi coinvolti nei test del modello in quanto non interessati da una gestione ottimizzata in relazione alle classi di peso definite, ma solo in base alla destinazione.

Di seguito si riporta una fotografia del terminal scattata al momento della chiusura doganale della nave oggetto di analisi, relativamente alla gestione dello stoccaggio dei soli 40 HC. Come trattato all’interno del capitolo due, per la linea Canada è stata implementata una gestione che prevede la suddivisione dei contenitori high cube in tre classi di peso (leggeri-medi-pesanti).

La distribuzione di questi contenitori sul piazzale, così come presentata, sarà successivamente utilizzata come base di comparazione rispetto all’output fornitoci dal modello.

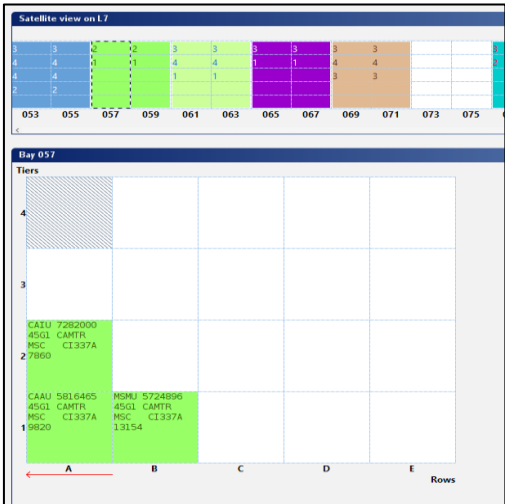


Fig 4.4 – 40 HC leggeri Montreal

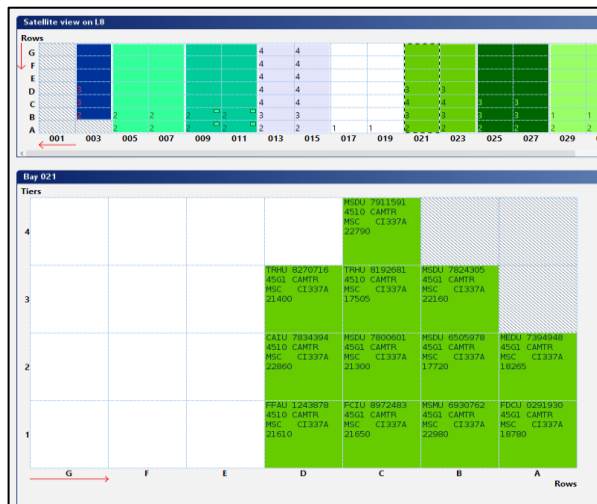


Fig 4.5 – 40 HC medi Montreal



Fig 4.6 – 40 HC leggeri Toronto

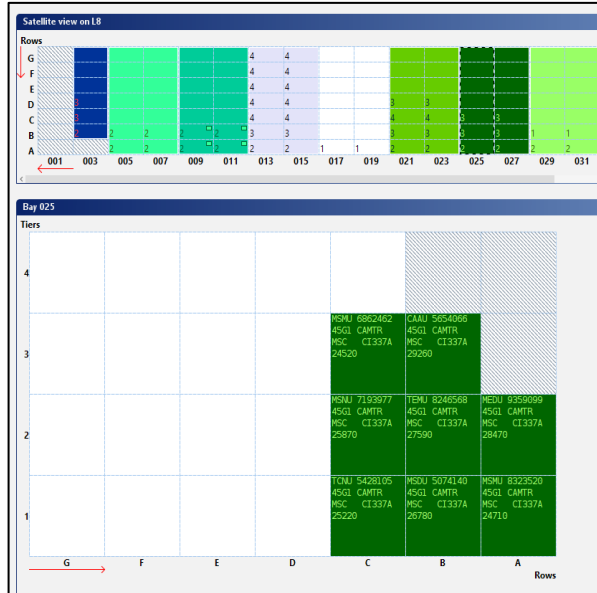


Fig 4.7 – 40 HC pesanti Montreal

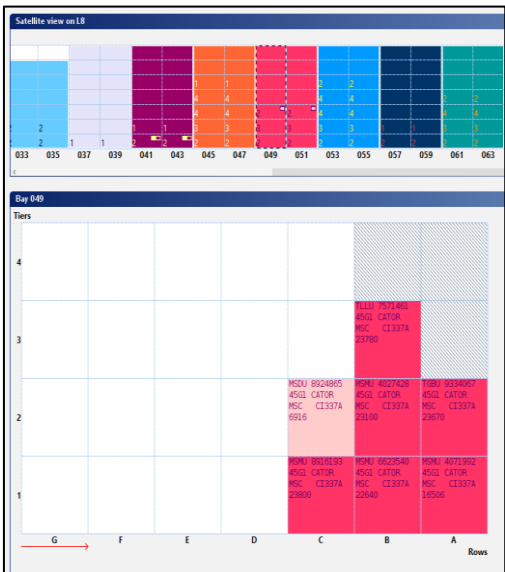


Fig 4.8 – 40 HC medi Toronto

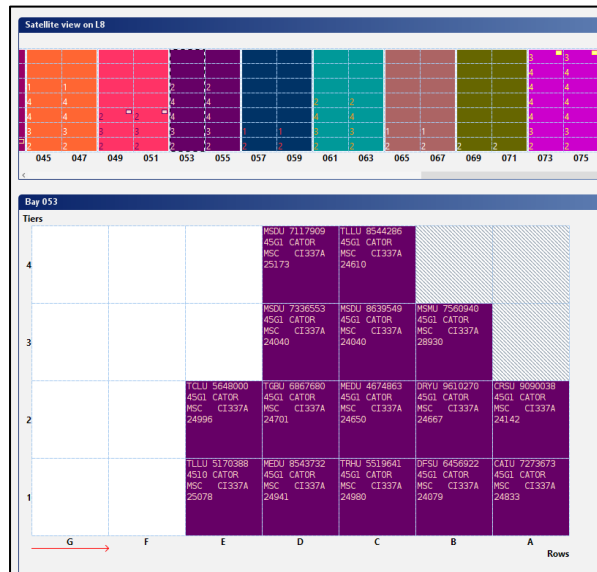


Fig 4.9 – 40 HC pesanti Toronto

Come si evince dalla restituzione grafica proposta nelle fig. da 4.6 a 4.9, per la gestione dei contenitori inseriti nella distinta di imbarco della m/n MSC ANNAH (circoscrivendo l'analisi ai soli contenitori con altezza 9.6") sono state utilizzate 6 baie da 40 piedi, rispettivamente 3 baie da 25 slot e 3 baie da 19 slot ciascuna. Di seguito si riportano i dati salienti relativi allo stoccaggio di questi contenitori:

- contenitori totali posizionati a piazzale: 64 [128 teus]
 - cnts con destinazione Montreal: 23 [46 teus]
 - cnts con destinazione Toronto: 41 [82 teus]
- slot totali garantiti dalle baie impiegate: 132 [264 teus]
- slot inutilizzati: 68 [136 teus]

Rispetto al contesto appena descritto, nei prossimi paragrafi saranno comparati gli output restituiti dal risolutore in risposta al modello matematico proposto, cercando di porre l'attenzione su eventuali compatibilità ed incongruenze rispetto alla realtà operativa registrata.

4.5 Applicazione del modello – soluzione con tre classi di peso

Come descritto nei primi paragrafi del capitolo, il software utilizzato per la scrittura del modello ha bisogno, per il corretto funzionamento, della creazione di due file distinti, uno per il modello vero e proprio ed un altro per i dati (parametri).

I dati, come abbiamo avuto modo di capire, sono i valori numerici che definiscono in dettaglio il problema che si vuole affrontare e vengono assegnati, al contrario delle variabili, una volta per tutte. È data la possibilità di modificare i dati generando problemi diversi, ma questo deve avvenire sempre a monte del processo risolutivo.

Nel nostro caso di studio i dati inseriti nel modello riguardano, oltre alle caratteristiche peculiari degli elementi dell'insieme CONT in termini di destinazione, altezza, dimensione e peso, anche altri aspetti relativi alla configurazione del contesto spaziale di riferimento (in termini di baie disponibili e loro capacità di stoccaggio) nonché alla definizione delle classi di peso rispetto alle quali viene ottimizzata la soluzione restituita del modello stesso.

Dati relativi alla configurazione delle classi di peso. Questi parametri definiscono i limiti di peso di ciascuna classe:

- Leggeri → 1 – 11.9 tons
- Medi → 12 – 22.9 tons
- Pesanti → 23 – 33 tons

Dati relativi alle specifiche caratteristiche dei contenitori che appartengono alla load list:

- Destinazione: 1 → CAMTR
2 → CATOR
- Dimensione: 20 → 20 piedi
40 → 40 piedi
- Altezza: 8.6 → unità "box"
9.6 → unità "high cube"
- Peso: peso corrispondente al VGM (verified gross mass) del contenitore

Dati relativi al numero di bale disponibili con una determinata capienza in termini di teus:

- 19 teus → n° bale disponibili
- 25 teus → n° bale disponibili

Dato fissato ad un valore ≥ rispetto al n° di teus garantiti dalla baia più capiente dedicata allo stoccaggio dei contenitori appartenenti alla load list oggetto di analisi

Dato necessario allo scopo di penalizzare l'eventuale decisione del risolutore di posizionare all'interno della medesima stiva contenitori di diverse altezze. Nel nostro caso di studio questo parametro risulta ininfluente.

```

data;
set CONT := BEAU4239330 BNOU6807624 CAU5654066 CAU5816465 CAIU7273673 CAIU7282000 CAIU7834394 CARU9901754 CRSU96
set BAY := BAY01 BAY02 BAY03 BAY04 BAY05 BAY06 BAY07 BAY08 BAY09 BAY10 BAY11 BAY12 ;
set DEST := 1 2;
set HEIGHT := 8.6 9.6 ;
set SIZE := 20 40 ;
set CAPACITY := 19 25;
set CLASSES := LEGGERI MEDI PESANTI ;

param:
CAU5654066 1 40 9.6 29.3
CAU5816465 1 40 9.6 9.8
CAIU7282000 1 40 9.6 7.9
CAIU7834394 1 40 9.6 22.9
...
TGBU6867680 2 40 9.6 24.7
TGBU9334067 2 40 9.6 23.7
TGHU6450255 2 40 9.6 8.6
TLLU5170388 2 40 9.6 25.1
TLLU7571461 2 40 9.6 23.8
TLLU8544286 2 40 9.6 24.6
TRHU5519641 2 40 9.6 25.0
TRHU8525967 2 40 9.6 6.8 ;

param: 1b ub :=
LEGGERI 1 11.9
MEDI 12 22.9
PESANTI 23 33 ;

param n :=
19 6
25 6 ;

param M:=25 ;

param a:=5 ;

```

param:	1b	ub :=
LEGGERI	1	11.9
MEDI	12	22.9
PESANTI	23	33 ;

param n :=	19	6
	19	6 ;

param M:=25 ;
25

param a:=5 ;
5

param: destinazione dimensione altezza peso :=

Writable Insert 38: 9: 1635

Fig. 4.10 – configurazione del file.dat con 3 classi di peso

Completata la scrittura del file .dat (fig.4.10), il modello è stato risolto mediante l'utilizzo di un risolutore. Nello specifico abbiamo impiegato il software di risoluzione Gurobi, attivando la licenza accademica che ne ha permesso l'utilizzo seppur con alcune limitazioni.

Per ottenere una soluzione ottima dal modello è necessario digitare alcuni specifici comandi, in una determinata sequenza, nello spazio ad essi dedicato all'interno di AMPL.

Si devono dapprima richiamare rispettivamente i file .mod e .dat relativi al modello che vogliamo processare, dopodiché è necessario indicare il risolutore da utilizzare per la lavorazione, ed infine digitare il comando di risoluzione vera e propria (fig. 4.11).

```

AMPL
amp1: model yard3classi.mod;
amp1: data yard3classi-hc.dat;
amp1: option solver gurobi;
amp1: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 74
3176 simplex iterations
1 branching nodes
amp1: |
  
```

```

data;
set CONT := BEAU4239330 BMOUG807624 CAAU5654066 CAAU5816465 CAIU7273673 CAIU7282000 C
set BAY := BAY01 BAY02 BAY03 BAY04 BAY05 BAY06 BAY07 BAY08 BAY09 BAY10 BAY11 BAY12 ;
set DEST := 1 2;
set HEIGHT := 8.6 9.6 ;
set SIZE := 20 40 ;
set CAPACITY := 19 25;
set CLASSES := LEGGERI MEDI PESANTI ;

param:      destinazione dimensione altezza peso :=
CAAU5654066 1 40 9.6 29.3
CAAU5816465 1 40 9.6 9.8
CAIU7282000 1 40 9.6 7.9
CAIU7834394 1 40 9.6 22.9
FCIU8972483 1 40 9.6 21.7
FDCU0291930 1 40 9.6 18.8
FFAU1243878 1 40 9.6 21.6
MEDU7394948 1 40 9.6 18.3
MEDU9359099 1 40 9.6 28.5
MSDU5074140 1 40 9.6 26.8
MSDU6505978 1 40 9.6 17.7
MSDU7800601 1 40 9.6 21.2
  
```

Fig. 4.1 – comandi per la risoluzione del modello

Se il lavoro di configurazione del modello e del relativo file dati è stato compiuto in modo corretto, il programma restituisce il risultato ottenuto relativamente alla funzione obiettivo perseguita.

Nel nostro caso il risolutore ha compiuto 3176 iterazioni trovando un valore obiettivo di 74 che, come detto, rappresenta un valore numerico composto dalla somma tra le variabili binarie che indicano le baie attivate, ed il numero degli slot lasciati liberi tra quelli inizialmente messi a disposizione nel contesto di riferimento.

Andando nel dettaglio, è possibile interrogare AMPL per ottenere informazioni importanti circa la composizione della soluzione ottima proposta, evidenziando nello specifico i valori assunti dalle variabili che compongono il modello.

Interrogando il modello circa i valori assunti dalla variabile yd_{dj} , ad esempio, è possibile determinare quale tra le baie proposte è stata impiegata per lo stoccaggio dei contenitori e, in caso, per quale destinazione è stata dedicata. Con il comando [display yd;] si ottengono le informazioni desiderate.

```

Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard3classi-hc.dat;
ampl: option solver gurobi;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 74
3176 simplex iterations
1 branching nodes
ampl: display yd;
yd [*,*] (tr)
:      1  2  :=
BAY01  0  0
BAY02  0  0
BAY03  0  0
BAY04  0  0
BAY05  0  0
BAY06  0  0
BAY07  0  1
BAY08  1  0
BAY09  1  0
BAY10  1  0
BAY11  0  1
BAY12  0  1
;

```

Fig. 4.12 – matrice dei risultati – variabile yd [3 classi di peso]

Da quello che si evince leggendo la matrice sopra riportata (fig 4.12), nella soluzione ottima proposta sono state attivate un totale di 6 baie; tre di queste (BAY08, BAY09, BAY10) sono state impiegate per lo stoccaggio dei contenitori con destinazione 1 (Montreal), mentre altre tre (BAY07, BAY11, BAY12) sono state impiegate per lo stoccaggio dei contenitori con destinazione 2 (Toronto).

Procedendo con l'analisi delle variabili che compongono il modello troviamo y_{hj} che, date le caratteristiche peculiari della load list utilizzata come input (composta da soli contenitori high cube, in linea da un lato con la politica di gestione del terminal, dall'altro con le limitazioni dimensionali imposte dalla licenza accademica del software), avrà valore 1 solo in corrispondenza dell'altezza 9.6.

```

Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard3classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 74
3176 simplex iterations
1 branching nodes
ampl: display yh;
yh [1,1] (tr)
:      8.6 9.6      :=
BAY01  0  1
BAY02  0  1
BAY03  0  1
BAY04  0  1
BAY05  0  1
BAY06  0  1
BAY07  0  1
BAY08  0  1
BAY09  0  1
BAY10  0  1
BAY11  0  1
BAY12  0  1
;

```

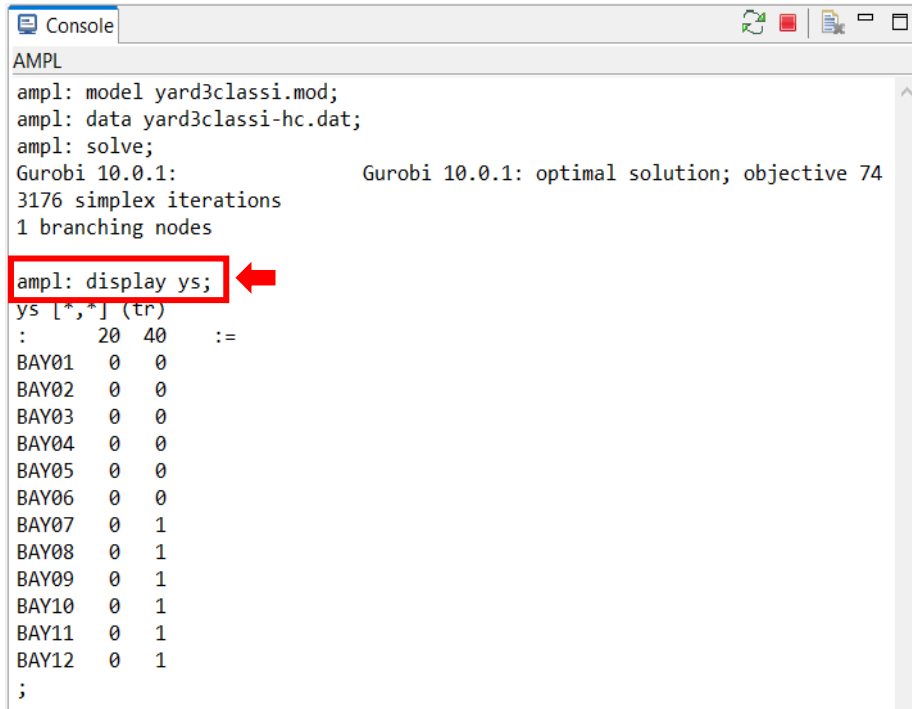
Fig. 4.13 – matrice dei risultati – variabile y_h [3 classi di peso]

Da notare come la variabile y_{hj} prende valore 1 non solo in corrispondenza delle baie alle quali, abbiamo visto, è stata assegnata una specifica destinazione d , ma si attiva bensì relativamente a tutte le baie che compongono la popolazione dell'insieme BAY. Questo accade perché BAY è composto da 12 baie da 20 piedi, che rappresentano esattamente il doppio di quelle (sei) necessarie per accogliere lo stoccaggio dei contenitori da 40 piedi che compongono la load list di riferimento.

Questo significa che il risolutore, per ognuna delle baie identificate con una determinata destinazione, ha selezionato nella soluzione ottima una baia gemella che sarà impiegata allo stesso modo per permettere lo stoccaggio dei contenitori da 40 piedi, i quali necessitano appunto di due baie di appoggio. Essendo la load list composta solo da contenitori con una altezza di 9.6", allora tutte e 12 le baie da 20 piedi disponibili saranno di conseguenza impiegate per lo stoccaggio di contenitori di quella altezza.

Per quanto riguarda la variabile y_{sj} , questa prenderà valore 1 solo in corrispondenza della dimensione da 40 piedi, per quelle baie selezionate dal modello. Ciò avviene poiché, così come si è visto per la variabile y_{hj} , la composizione della load list

utilizzata non giustificerebbe l'eventuale assegnazione di una qualsiasi baia alla tipologia di contenitori da 20 piedi in quanto, come detto, assenti.



```
Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard3classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 74
3176 simplex iterations
1 branching nodes
ampl: display ys;
ys [*,*] (tr)
:      20  40   :=
BAY01  0  0
BAY02  0  0
BAY03  0  0
BAY04  0  0
BAY05  0  0
BAY06  0  0
BAY07  0  1
BAY08  0  1
BAY09  0  1
BAY10  0  1
BAY11  0  1
BAY12  0  1
;
```

Fig. 4.12 – matrice dei risultati – variabile ys [3 classi di peso]

Nella soluzione ottima proposta, si nota come il risolutore assegna valore 1 alla variabile $ys_{s,j}$ solo in corrispondenza della $s=40$, per quelle baie attivate al fine di stoccare i contenitori presenti nella distinta di imbarco. Questo significa che le baie 07,08,09,10,11 e 12 sono utilizzate per il posizionamento dei contenitori da 40 piedi.

Proseguendo nella analisi della soluzione ottima ottenuta, un'altra informazione importante si evince soffermandoci sul valore assunto dalla variabile yc_{c_j} (fig. 4.15), che rappresenta la capacità in termini di teus che caratterizza le baie a disposizione per la gestione dei contenitori.

```

Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard3classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 74
3176 simplex iterations
1 branching nodes
ampl: display yc;
yc [*,*] (tr)
:      19  25  :=
BAY01  0  0
BAY02  0  0
BAY03  0  0
BAY04  0  0
BAY05  0  0
BAY06  0  0
BAY07  0  1
BAY08  0  1
BAY09  1  0
BAY10  1  0
BAY11  1  0
BAY12  0  1
;

```

Fig. 4.15 – matrice dei risultati – variabile yc [3 classi di peso]

Analizzando i dati restituiti dal risolutore per quanto riguarda questa particolare variabile possiamo notare come, per la gestione dei contenitori previsti, siano state impiegate tre baie con capacità da 19 teus e tre baie con capacità da 25 teus. Nello specifico sono state identificate come baie con capacità 25 la BAY07, la BAY08 e la BAY 12, mentre alla BAY09, alla BAY10 e alla BAY11 è stata assegnata la capacità di 19 teus cadauna.

Proseguendo nell’analisi dei dati proposti, coerentemente con quanto sopra, la soluzione ottima evidenzia valori della variabile t_{jcs} pari a 1 per le medesime baie in cui è prevista la contemporanea attivazione delle variabili yc_{cj} e ys_{sj} .

Questa particolare variabile, come visto, si attiva quando ad una determinata baia viene assegnata una certa capacità di stoccaggio nonché una certa caratteristica in termini di dimensione dei contenitori da accogliere.

```

Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard3classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 74
3176 simplex iterations
1 branching nodes
ampl: display t;
t  [* ,19,*]
:      20  40      :=
BAY01  0  0
BAY02  0  0
BAY03  0  0
BAY04  0  0
BAY05  0  0
BAY06  0  0
BAY07  0  0
BAY08  0  0
BAY09  0  1
BAY10  0  1
BAY11  0  1
BAY12  0  0

[* ,25,*]
:      20  40      :=
BAY01  0  0
BAY02  0  0
BAY03  0  0
BAY04  0  0
BAY05  0  0
BAY06  0  0
BAY07  0  1
BAY08  0  1
BAY09  0  0
BAY10  0  0
BAY11  0  0
BAY12  0  1
;

```

Fig. 4.16 – matrice dei risultati – variabile t [3 classi di peso]

Interrogando la soluzione AMPL ci restituisce due matrici anziché una, questo perché la variabile t , diversamente dalle altre sulle quali ci siamo soffermati fino ad adesso, è definita in funzione di tre elementi.

Soffermandoci sulle informazioni fornite da queste matrici, il risolutore ha definito una soluzione ottima nella quale si assegna uno stoccaggio fino ad un massimo di 19 contenitori da 40 piedi per le baie 09,10 e 11. Diversamente, per le baie 07,08 e 12, si è previsto uno stoccaggio massimo di 25 contenitori da 40 piedi.

Per quanto riguarda invece la variabile m_j , questa prenderà sempre valore 0 in quanto non sarà possibile, data la particolare composizione della load list, che per una baia venga previsto uno stoccaggio promiscuo di contenitori con caratteristiche diverse in termini di altezza (fig. 4.17).


```
Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard3classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 74
3176 simplex iterations
1 branching nodes
ampl: display m;
m [*] :=
BAY01  0
BAY02  0
BAY03  0
BAY04  0
BAY05  0
BAY06  0
BAY07  0
BAY08  0
BAY09  0
BAY10  0
BAY11  0
BAY12  0
;
```

Fig. 4.17 – matrice dei risultati – variabile m [3 classi di peso]

Esaminando la soluzione proposta, se si interpella il programma circa i risultati ottenuti con riferimento alla variabile yp, si ottengono informazioni sul come sono state gestite le baie a disposizione in relazione alle classi di peso previste (fig. 4.18).

```
Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard3classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 74
3176 simplex iterations
1 branching nodes
ampl: display yp;
yp [*,*] (tr)
:      LEGGERI  MEDI  PESANTI  :=
BAY01   0      0      1
BAY02   0      0      1
BAY03   0      0      1
BAY04   0      0      1
BAY05   0      0      1
BAY06   0      0      1
BAY07   0      1      0
BAY08   0      1      0
BAY09   1      0      0
BAY10   0      0      1
BAY11   1      0      0
BAY12   0      0      1
;
```

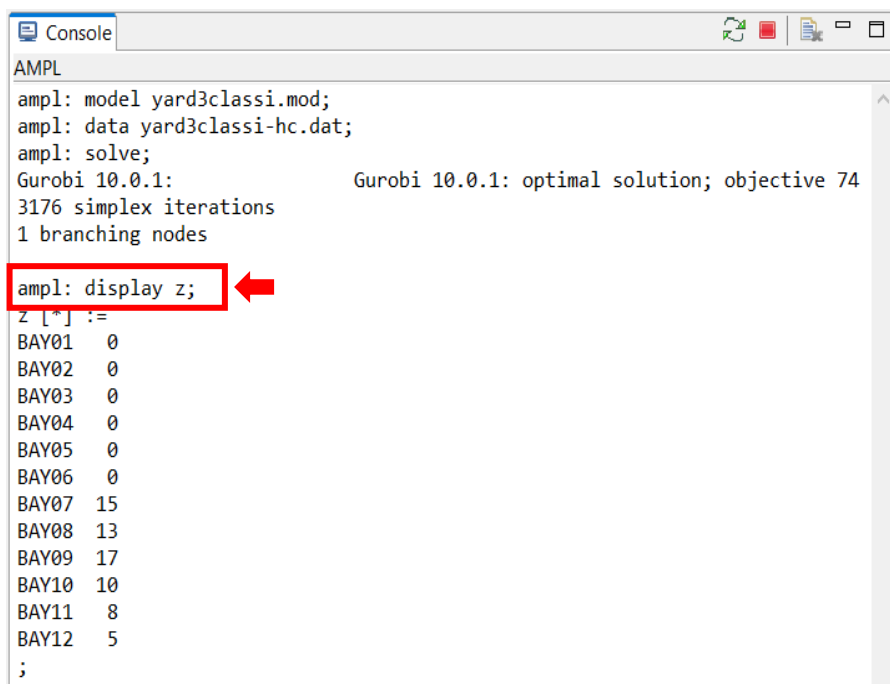
Fig. 4.18 – matrice dei risultati – variabile yp [3 classi di peso]

Sostanzialmente il valore di yp ci indica quale sottoinsieme di contenitori, caratterizzata da determinate caratteristiche in termini di peso, è stato assegnato ad una determinata baia. I dati evidenziano una distribuzione dei contenitori nelle tre classi di peso previste, attivate nello specifico come segue:

- classe dei LEGGERI nelle baie 09 e 11
- classe dei MEDI nelle baie 07 e 08
- classe dei PESANTI nelle baie 10 e 12

Da notare come nella matrice viene riportato il valore 1 anche per le baie dalla 01 alla 06, in corrispondenza della classe dei pesanti. Questo avviene perché il modello, dove non viene strettamente vincolato (poiché il valore di quella/e determinate variabili risulta essere ininfluente sulla soluzione finale) può decidere di assegnare valori arbitrari a tali variabili, purché coerenti con i vincoli imposti.

Prima di andare a vedere come sono stati gestiti nello specifico i singoli contenitori all'interno delle baie, ci soffermiamo a commentare i risultati ottenuti dalla variabile z , che indica gli spazi lasciati inutilizzati rispetto a quelli messi a disposizione (fig.4.19).



```
Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard3classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 74
3176 simplex iterations
1 branching nodes
AMPL: display z;
z [*] :=
BAY01  0
BAY02  0
BAY03  0
BAY04  0
BAY05  0
BAY06  0
BAY07  15
BAY08  13
BAY09  17
BAY10  10
BAY11  8
BAY12  5
;
```

Fig 4.19 – matrice dei risultati – variabile z [3 classi di peso]

Il vettore di dati sopra riportato segnala un totale di 68 slot da 40 piedi (136 teus) lasciati inutilizzati. Questo risultato è dato dalla somma dei valori di \mathbf{z} riportati per ciascuna baia, valori che si ottengono dalla differenza tra la capacità assegnata di una determinata baia e il numero di contenitori che si è deciso di posizionare all'interno della stessa.

In ultima analisi, terminiamo l'approfondimento dei risultati ottenuti esaminando come si presenta la distribuzione dei contenitori, ovvero andando a vedere come questi vengono assegnati alle diverse baie, coerentemente con i vincoli imposti.

Per far questo è necessario interpellare il modello circa i valori delle variabili x_{ij} , che indica il posizionamento del contenitore i rispetto alle baie j a disposizione.

```

Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard3classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 74
3176 simplex iterations
1 branching nodes
ampl: display x;
x [*,*]
# $11 = BAY11
# $12 = BAY12
:
      BAY01 BAY02 BAY03 BAY04 BAY05 BAY06 BAY07 BAY08 BAY09 BAY10 $11 $12 :=
BEAU4239330  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1
BMOU6807624  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1    0
CAAU5654066  0    0    0    0    0    0    0    0    0    1    0    0
CAAU5816465  0    0    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0
CAIU7273673  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1
CAIU7282000  0    0    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0
CAIU7834394  0    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0    0
CARU9901754  0    0    0    0    0    0    1    0    0    0    0    0
CRSU9090038  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1
DFSU6456922  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1
DRYU9610270  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1
FBLU0073782  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1    0
FCIU8972483  0    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0    0
FDCU0291930  0    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0    0
FFAU1243878  0    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0    0
FFAU3877362  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1    0
GLDU0732002  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1    0
MEDU4460497  0    0    0    0    0    0    1    0    0    0    0    0
MEDU4625690  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1    0
MEDU4674863  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1
MEDU7321197  0    0    0    0    0    0    1    0    0    0    0    0
MEDU7375254  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1    0
MEDU7394948  0    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0    0
MEDU8543732  0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1
MEDU8909354  0    0    0    0    0    0    1    0    0    0    0    0

```

```

AMPL
MEDU9359099  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0
MSCU5491412  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0
MSDU5074140  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0
MSDU5102068  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0
MSDU5192267  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0
MSDU6505978  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0
MSDU7117909  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
MSDU7336553  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
MSDU7749840  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0
MSDU7800601  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0
MSDU7824305  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0
MSDU7911591  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0
MSDU8639549  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
MSDU8924865  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0
MSMU4027428  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
MSMU4071992  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0
MSMU5724896  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0
MSMU6623540  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0
MSMU6862462  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0
MSMU6930762  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0
MSMU7358055  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0
MSMU7560940  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
MSMU8323520  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0
MSMU8576956  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0
MSMU8916193  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
MSNU7193977  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0
TCLU5648000  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
TCNU5428105  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0
TEMU8246568  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0
TGBU6867680  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
TGBU9334067  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
TGHU6450255  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0
TLLU5170388  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
TLLU7571461  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
TLLU8544286  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
TRHU5519641  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1
TRHU8192681  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0
TRHU8270716  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0
TRHU8525967  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0
;

```

Fig. 4.20 - matrice dei risultati – variabile x [3 classi di peso]

I valori riportati in tabella rispetto alla variabile x_{ij} permettono, se analizzati unitamente a quelli riportati nelle matrici presentate precedentemente all'interno del paragrafo, di definire un quadro generale esaustivo circa la soluzione ottima proposta dal modello rispetto al problema iniziale.

Di seguito si propone un riepilogo delle informazioni complessivamente ottenute:

BAY 07 – 40 HC MEDI CATOR [capienza 25]:

- N° contenitori stoccati: 10
- N° slot liberi: 15
- Dettaglio contenitori stoccati:

Unit	Destinazione	Dimensione	Altezza	Peso
CARU9901754	2	40	9,6	15,3
MEDU4460497	2	40	9,6	12,5
MEDU7321197	2	40	9,6	12,4
MEDU8909354	2	40	9,6	12,2
MSDU5102068	2	40	9,6	14,7
MSDU5192267	2	40	9,6	12,2
MSDU7749840	2	40	9,6	12,0
MSMU4071992	2	40	9,6	16,5
MSMU6623540	2	40	9,6	22,6
MSMU7358055	2	40	9,6	12,0

BAY 08 – 40 HC MEDI CAMTR [capienza 25]:

- N° contenitori stoccati: 12
- N° slot liberi: 13
- Dettaglio contenitori stoccati:

Unit	Destinazione	Dimensione	Altezza	Peso
CAIU7834394	1	40	9,6	22,9
FCIU8972483	1	40	9,6	21,7
FDCU0291930	1	40	9,6	18,8
FFAU1243878	1	40	9,6	21,6
MEDU7394948	1	40	9,6	18,3
MSDU6505978	1	40	9,6	17,7
MSDU7800601	1	40	9,6	21,3
MSDU7824305	1	40	9,6	22,2
MSDU7911591	1	40	9,6	22,8
MSMU5724896	1	40	9,6	13,2
TRHU8192681	1	40	9,6	17,5
TRHU8270716	1	40	9,6	21,4

BAY 09 – 40 HC LEGGERI CAMTR [capienza 19]:

- N° contenitori stoccati: 2
- N° slot liberi: 17
- Dettaglio contenitori stoccati:

Unit	Destinazione	Dimensione	Altezza	Peso
CAAU5816465	1	40	9,6	9,8
CAIU7282000	1	40	9,6	7,9

BAY 10 – 40 HC PESANTI CAMTR [capienza 19]:

- N° contenitori stoccati: 9
- N° slot liberi: 10
- Dettaglio contenitori stoccati:

Unit	Destinazione	Dimensione	Altezza	Peso
CAAU5654066	1	40	9,6	29,3
MEDU9359099	1	40	9,6	28,5
MSDU5074140	1	40	9,6	26,8
MSMU6862462	1	40	9,6	24,5
MSMU6930762	1	40	9,6	23,0
MSMU8323520	1	40	9,6	24,7
MSNU7193977	1	40	9,6	25,9
TCNU5428105	1	40	9,6	25,2
TEMU8246568	1	40	9,6	27,6

BAY 11 – 40 HC LEGGERI CATOR [capienza 19]:

- N° contenitori stoccati: 11
- N° slot liberi: 8
- Dettaglio contenitori stoccati:

Unit	Destinazione	Dimensione	Altezza	Peso
BMOU6807624	2	40	9,6	8,8
FBLU0073782	2	40	9,6	11,0
FFAU3877362	2	40	9,6	7,1
GLDU0732002	2	40	9,6	11,9

MEDU4625690	2	40	9,6	10,9
MEDU7375254	2	40	9,6	11,6
MSCU5491412	2	40	9,6	10,9
MSDU8924865	2	40	9,6	6,9
MSMU8576956	2	40	9,6	9,9
TGHU6450255	2	40	9,6	8,6
TRHU8525967	2	40	9,6	6,8

BAY 12 – 40 HC PESANTI CATOR [capienza 25]:

- N° contenitori stoccati: 20
- N° slot liberi: 5
- Dettaglio contenitori stoccati:

Unit	Destinazione	Dimensione	Altezza	Peso
BEAU4239330	2	40	9,6	24,7
CAIU7273673	2	40	9,6	24,8
CRSU9090038	2	40	9,6	24,1
DFSU6456922	2	40	9,6	24,1
DRYU9610270	2	40	9,6	24,7
MEDU4674863	2	40	9,6	24,7
MEDU8543732	2	40	9,6	24,9
MSDU7117909	2	40	9,6	25,2
MSDU7336553	2	40	9,6	24,0
MSDU8639549	2	40	9,6	24,0
MSMU4027428	2	40	9,6	23,1
MSMU7560940	2	40	9,6	28,9
MSMU8916193	2	40	9,6	23,8
TCLU5648000	2	40	9,6	25,0
TGBU6867680	2	40	9,6	24,7
TGBU9334067	2	40	9,6	23,7
TLLU5170388	2	40	9,6	25,1
TLLU7571461	2	40	9,6	23,8
TLLU8544286	2	40	9,6	24,6
TRHU5519641	2	40	9,6	25,0

Complessivamente:

BAIA	SLOT DISPONIBILI	SLOT IMPIEGATI	SLOT LIBERI	% UTILIZZO
BAY01	-	-	-	-
BAY02	-	-	-	-
BAY03	-	-	-	-
BAY04	-	-	-	-
BAY05	-	-	-	-
BAY06	-	-	-	-
BAY07	25	10	15	40,0%
BAY08	25	12	13	48,0%
BAY09	19	2	17	10,5%
BAY10	19	9	10	47,4%
BAY11	19	11	8	57,9%
BAY12	25	20	5	80,0%
TOTALE	132	64	68	48,5%

Fig. 4.21 – risultati complessivi soluzione con 3 classi di peso

Il risolutore suggerisce quindi una soluzione ottima che prevede l’impiego di tutte le baie configurate, a fronte di un utilizzo del 48.5% degli spazi complessivamente a disposizione (fig. 4.21). La gestione dei volumi previsti, così come viene proposta, è quella che ottimizza gli spazi a fronte di un contenimento delle movimentazioni necessarie in fase di imbarco, date le condizioni di base.

4.6 Applicazione del modello – soluzione con due classi di peso

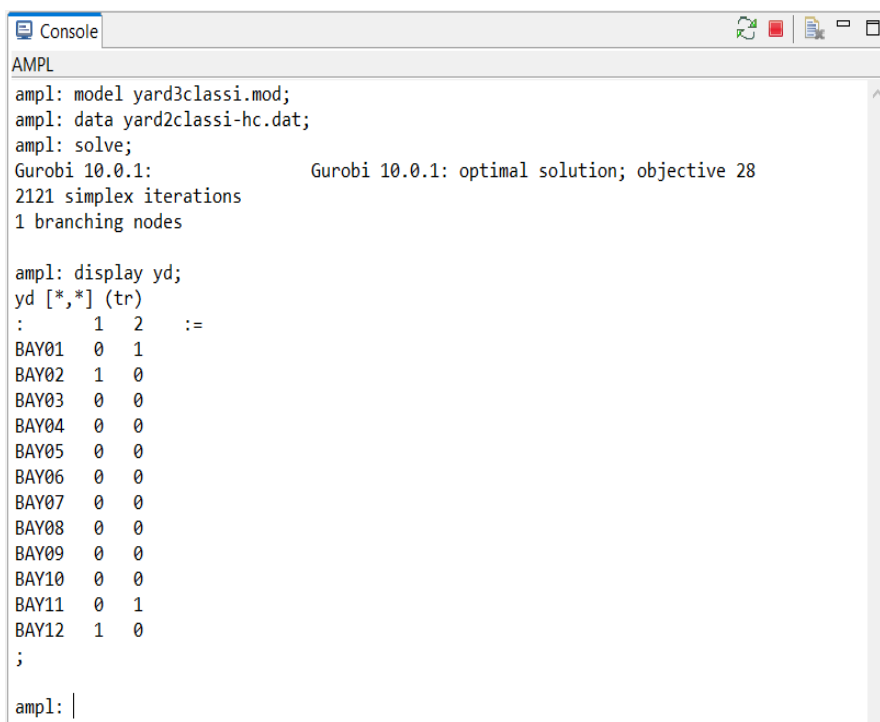
La soluzione con tre classi di peso configurate, appena presentata nel paragrafo precedente, rappresenta quella maggiormente coerente con la situazione che si determina normalmente nella realtà operativa del terminal, a parità di condizioni.

Dopo aver utilizzato il modello per trovare una soluzione ottima al problema così configurato, procediamo ad ogni modo a risolvere lo stesso problema, modificando questa volta le impostazioni relative al n° di classi di peso previste e alla loro definizione.

Nello specifico, sono stati modificati gli elementi che compongono l'insieme CLASSI (andando ad eliminare l'elemento "MEDI"), nonché i parametri di lower e upper bound che definiscono ognuno di essi (ub di "LEGGERI" passa da 11.9 a 17.9 e lb di "PESANTI" passa da 23 a 18 tons).

Con queste impostazioni modificate è stato chiesto al risolutore di trovare una nuova soluzione ottima, che di seguito illustreremo in modo sintetico, dedicando l'attenzione ai soli elementi di rilievo ai fini della composizione dei risultati.

Iniziamo le osservazioni soffermandoci sui risultati ottenuti da yd_{dj} , riportate nella figura 4.22.



```
Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard2classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 28
2121 simplex iterations
1 branching nodes

ampl: display yd;
yd [*,*] (tr)
:      1  2  :=
BAY01  0  1
BAY02  1  0
BAY03  0  0
BAY04  0  0
BAY05  0  0
BAY06  0  0
BAY07  0  0
BAY08  0  0
BAY09  0  0
BAY10  0  0
BAY11  0  1
BAY12  1  0
;

ampl: |
```

Fig. 4.22 – matrice dei risultati – variabile yd [2 classi di peso]

Rispetto a quanto riscontrato nel primo modello, adesso si può notare l'impiego di sole 4 baie; due di queste vengono assegnate alla destinazione Montreal (BAY02 e BAY12), due alla destinazione Toronto (BAY01 e BAY11).

Proseguendo nell'analisi, rispetto a quanto accade in termini di valori assunti dalla variabile yc_{cj} , possiamo evidenziare come la scelta del risolutore sia in questo caso ricaduta sulla assegnazione della capacità da 19 teus alle baie 02 e 12 (quelle destinate allo stoccaggio dei contenitori per Montreal) e, diversamente, della capacità da 25 teus alle baie 01 e 11 (destinate ai contenitori per Toronto). (figura 4.23).

```

Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard2classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 28
2121 simplex iterations
1 branching nodes

ampl: display yc;
yc [*,*] (tr)
:   19  25  :=
BAY01  0  1
BAY02  1  0
BAY03  0  0
BAY04  0  0
BAY05  0  0
BAY06  0  0
BAY07  0  0
BAY08  0  0
BAY09  0  0
BAY10  0  0
BAY11  0  1
BAY12  1  0
;

ampl: |

```

Fig 4.23 – matrice dei risultati – variabile yc [2 classi di peso]

Per quanto riguarda le classi di peso assegnate, il modello in questo caso ha a disposizione la scelta tra solo due elementi, a fronte dei tre previsti nell'esempio precedente. La configurazione prevede in questo caso le sole classi dei “LEGGERI” (che accoglie contenitori con peso che va da 0 a 17.9 tonnellate) e quella dei “PESANTI” (impostata per i contenitori con un peso lordo compreso tra 18 e 33).

```

Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard2classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 28
2121 simplex iterations
1 branching nodes

ampl: display yp;
yp [*,*] (tr)
:   LEGGERI PESANTI   :=
BAY01  1    0
BAY02  1    0
BAY03  0    1
BAY04  0    1
BAY05  0    1
BAY06  0    1
BAY07  0    1
BAY08  0    1
BAY09  0    1
BAY10  0    1
BAY11  0    1
BAY12  0    1
;

ampl: |

```

Fig. 4.24 – matrice dei risultati – variabile yp [2 classi di peso]

Come si può leggere dai risultati riportati in tabella (fig. 4.24) è stata assegnata la classe dei LEGGERI alle baie 01 e 02, rispettivamente per i contenitori con destinazione Toronto e Montreal; la classe dei PESANTI è stata diversamente assegnata alla baia 11 (per i contenitori con destinazione Toronto) e alla baia 12 (Montreal).

Per ultimo, andiamo a commentare i risultati ottenuti in termini di spazio non utilizzato, con riferimento ai valori assunti dalla variabile z_j .

```

Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard2classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:          Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 28
2121 simplex iterations
1 branching nodes

ampl: display z;
z [*] :=
BAY01  5
BAY02 14
BAY03  0
BAY04  0
BAY05  0
BAY06  0
BAY07  0
BAY08  0
BAY09  0
BAY10  0
BAY11  4
BAY12  1
;

ampl: |

```

Fig. 4.25 – matrice dei risultati – variabile z [2 classi di peso]

Il vettore di dati riportato in figura 4.25, ci evidenzia un totale di 24 slot da 40 piedi (48 teus totali) lasciati inutilizzati, a fronte degli 88 (176 teus) messi complessivamente a disposizione dalle baie impiegate.

Si completa quindi l'analisi della soluzione ottima proposta interrogando AMPL circa il valore ottenuto da x_{ij} , necessario per fornire un quadro esaustivo delle informazioni complessivamente ottenute dalla soluzione stessa.

```

Console
AMPL
ampl: model yard3classi.mod;
ampl: data yard2classi-hc.dat;
ampl: solve;
Gurobi 10.0.1:                Gurobi 10.0.1: optimal solution; objective 28
2121 simplex iterations
1 branching nodes

ampl: display x;
x [*,*]
# $11 = BAY11
# $12 = BAY12
:
      BAY01  BAY02  BAY03  BAY04  BAY05  BAY06  BAY07  BAY08  BAY09  BAY10  $11  $12 :=
BEAU4239330  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1      0
BMOU6807624  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
CAAU5654066  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1
CAAU5816465  0      1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
CAIU7273673  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1      0
CAIU7282000  0      1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
CAIU7834394  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1
CARU9901754  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
CRSU9090038  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1      0
DFSU6456922  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1      0
DRYU9610270  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1      0
FBLU0073782  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
FCIU8972483  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1
FDCU0291930  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1
FFAU1243878  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1
FFAU3877362  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
GLDU0732002  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
MEDU4460497  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
MEDU4625690  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
MEDU4674863  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1      0
MEDU7321197  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
MEDU7375254  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
MEDU7394948  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1
MEDU8543732  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1      0
MEDU8909354  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
MEDU9359099  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1
MSCU5491412  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
MSDU5074140  0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1
MSDU5102068  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
MSDU5192267  1      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0

```

MSDU6505978	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MSDU7117909	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
MSDU7336553	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
MSDU7749840	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MSDU7800601	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
MSDU7824305	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
MSDU7911591	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
MSDU8639549	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
MSDU8924865	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MSMU4027428	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
MSMU4071992	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MSMU5724896	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MSMU6623540	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
MSMU6862462	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
MSMU6930762	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
MSMU7358055	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MSMU7560940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
MSMU8323520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
MSMU8576956	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MSMU8916193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
MSMU7193977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
TCLU5648000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
TCNU5428105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
TEMU8246568	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
TGBU6867680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
TGBU9334067	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
TGHU6450255	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TLLU5170388	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
TLLU7571461	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
TLLU8544286	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
TRHU5519641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
TRHU8192681	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRHU8270716	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
TRHU8525967	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
;												
amp1:												

Fig. 4.26 – matrice dei risultati – variabile x [3 classi di peso]

Riepilogando le informazioni estratte dalla soluzione del modello, si ottiene il quadro riportato di seguito:

BAY 01 – 40 HC LEGGERI CATOR [capienza 25]:

- N° contenitori stoccati: 20
- N° slot liberi: 5
- Dettaglio contenitori stoccati:

Unit	Destinazione	Dimensione	Altezza	Peso
BMOU6807624	2	40	9,6	8,8
CARU9901754	2	40	9,6	15,3
FBLU0073782	2	40	9,6	11,0
FFAU3877362	2	40	9,6	7,1

GLDU0732002	2	40	9,6	11,9
MEDU4460497	2	40	9,6	12,5
MEDU4625690	2	40	9,6	10,9
MEDU7321197	2	40	9,6	12,4
MEDU7375254	2	40	9,6	11,6
MEDU8909354	2	40	9,6	12,2
MSCU5491412	2	40	9,6	10,9
MSDU5102068	2	40	9,6	14,7
MSDU5192267	2	40	9,6	12,2
MSDU7749840	2	40	9,6	12,0
MSDU8924865	2	40	9,6	6,9
MSMU4071992	2	40	9,6	16,5
MSMU7358055	2	40	9,6	12,0
MSMU8576956	2	40	9,6	9,9
TGHU6450255	2	40	9,6	8,6
TRHU8525967	2	40	9,6	6,8

BAY 02 – 40 HC LEGGERI CAMTR [capienza 19]:

- N° contenitori stoccati: 5
- N° slot liberi: 14
- Dettaglio contenitori stoccati:

Unit	Destinazione	Dimensione	Altezza	Peso
CAAU5816465	1	40	9,6	9,8
CAIU7282000	1	40	9,6	7,9
MSDU6505978	1	40	9,6	17,7
MSMU5724896	1	40	9,6	13,2
TRHU8192681	1	40	9,6	17,5

BAY 11 – 40 HC PESANTI CATOR [capienza 25]:

- N° contenitori stoccati: 21
- N° slot liberi: 4
- Dettaglio contenitori stoccati:

Unit	Destinazione	Dimensione	Altezza	Peso
BEAU4239330	2	40	9,6	24,7

CAIU7273673	2	40	9,6	24,8
CRSU9090038	2	40	9,6	24,1
DFSU6456922	2	40	9,6	24,1
DRYU9610270	2	40	9,6	24,7
MEDU4674863	2	40	9,6	24,7
MEDU8543732	2	40	9,6	24,9
MSDU7117909	2	40	9,6	25,2
MSDU7336553	2	40	9,6	24,0
MSDU8639549	2	40	9,6	24,0
MSMU4027428	2	40	9,6	23,1
MSMU6623540	2	40	9,6	22,6
MSMU7560940	2	40	9,6	28,9
MSMU8916193	2	40	9,6	23,8
TCLU5648000	2	40	9,6	25,0
TGBU6867680	2	40	9,6	24,7
TGBU9334067	2	40	9,6	23,7
TLLU5170388	2	40	9,6	25,1
TLLU7571461	2	40	9,6	23,8
TLLU8544286	2	40	9,6	24,6
TRHU5519641	2	40	9,6	25,0

BAY 12 – 40 HC PESANTI CAMTR [capienza 19]:

- N° contenitori stoccati: 18
- N° slot liberi: 1
- Dettaglio contenitori stoccati:

Unit	Destinazione	Dimensione	Altezza	Peso
CAAU5654066	1	40	9,6	29,3
CAIU7834394	1	40	9,6	22,9
FCIU8972483	1	40	9,6	21,7
FDCU0291930	1	40	9,6	18,8
FFAU1243878	1	40	9,6	21,6
MEDU7394948	1	40	9,6	18,3
MEDU9359099	1	40	9,6	28,5
MSDU5074140	1	40	9,6	26,8
MSDU7800601	1	40	9,6	21,3
MSDU7824305	1	40	9,6	22,2
MSDU7911591	1	40	9,6	22,8
MSMU6862462	1	40	9,6	24,5

MSMU6930762	1	40	9,6	23,0
MSMU8323520	1	40	9,6	24,7
MSNU7193977	1	40	9,6	25,9
TCNU5428105	1	40	9,6	25,2
TEMU8246568	1	40	9,6	27,6
TRHU8270716	1	40	9,6	21,4

Complessivamente:

BAIA	SLOT DISPONIBILI	SLOT IMPIEGATI	SLOT LIBERI	% UTILIZZO
BAY01	25	20	5	80,0%
BAY02	19	5	14	26,3%
BAY03	-	-	-	-
BAY04	-	-	-	-
BAY05	<i>Mty</i>	<i>mty</i>	<i>mty</i>	<i>Mty</i>
BAY06	<i>Mty</i>	<i>mty</i>	<i>mty</i>	<i>Mty</i>
BAY07	<i>Mty</i>	<i>mty</i>	<i>mty</i>	<i>Mty</i>
BAY08	<i>Mty</i>	<i>mty</i>	<i>mty</i>	<i>Mty</i>
BAY09	-	-	-	-
BAY10	-	-	-	-
BAY11	25	21	4	84,0%
BAY12	19	18	1	94,7%
TOTALE	88	64	24	72,7%

Fig. 4.27 – risultati complessivi soluzione con 2 classi di peso

La soluzione proposta è stata trovata a seguito di 2121 iterazioni, e ci restituisce un valore della funzione obiettivo di 28. Questo valore più basso è da attribuire al numero di baie impiegate che, come visto, risulta essere minore rispetto all'ipotesi precedente, nonché al numero di spazi vuoti lasciati all'interno di queste baie, anch'esso inferiore.

Questa ipotesi, tra le due proposte, è quella che garantisce una occupazione migliore degli spazi (73,7% di utilizzo rispetto al 48,5% della precedente), a fronte di una peggiore organizzazione delle unità stoccate, che comporta una notevole quantità di movimentazioni in fase di imbarco. Il valore della funzione obiettivo è, in questo caso, fuorviante rispetto alla scelta dello scenario preferibile da implementare per la gestione della realtà operativa, in quanto il modello si basa su un numero di contenitori di gran lunga inferiore rispetto alle medie reali di lavorazione.

4.7 Applicazione del modello – comparazione dei risultati e considerazioni

L'ultima parte dell'elaborato verrà dedicata alla comparazione, in termini di utilizzo della capacità di stoccaggio, dei risultati ottenuti dalla simulazione compiuta attraverso l'implementazione del modello, rispetto a quanto accaduto nel contesto operativo reale del terminal.

Ogni considerazione che andremo a fare, seppur apparentemente incontrovertibile stando ai numeri, deve essere ad ogni modo interpretata alla luce di alcune condizioni di base la cui conoscenza è necessaria per capire la natura del modello proposto, nonché gli obiettivi che questo si pone, al netto delle limitazioni necessariamente imposte dai vincoli di licenza accademica. Il software di risoluzione permette infatti la gestione di un numero massimo di 2000 variabili e 2000 vincoli, oltre i quali non restituisce alcuna soluzione analizzabile.

Tali condizioni limitanti hanno portato necessariamente a dover prendere alcune decisioni rispetto alla configurazione del modello, sia a livello di input immessi (load list ridotta), che a livello di composizione degli elementi che lo popolano (numero di baie ad esempio).

Di seguito ci soffermiamo ad analizzare alcune implicazioni impattanti rispetto al contesto di analisi, cercando di spiegare, per ognuna di queste, i motivi della decisione presa nonché gli effetti che questa ha portato sui risultati finali.

- *Load list ridotta*: la scelta di utilizzare la load list della MSC ANNAH come input del modello è stata necessaria per contenere il numero di variabili generate, altrimenti superiore al massimo consentito. La decisione di scegliere la load list di una nave realmente scalata al terminal, seppur numericamente non in linea con i quantitativi medi di imbarco per quel servizio, ha permesso di condurre una analisi veritiera pur mantenendo condizioni comparabili ad un contesto di reale lavorazione. Le conseguenze osservabili negli output proposti sono riscontrabili in una saturazione relativamente bassa degli spazi dedicati allo stoccaggio. Questo effetto si evidenzia principalmente nell'ipotesi con 3 classi di peso, in cui viene impiegato solo il 48.5% dello spazio disponibile (contrariamente a quanto accade quando i volumi di lavorazione sono nella norma); diversamente, nel secondo scenario

(quello con 2 classi di peso) la saturazione degli spazi sale al 72,7% rispetto al totale dei teus messi a disposizione dalle stive utilizzate.

- *Analisi condotta sui soli HC*: per le stesse motivazioni di cui sopra, è stato deciso di condurre l'analisi sulle sole unità 40 high cube. Questa scelta, indotta dalla necessità di ridurre ulteriormente il numero di variabili, si è ad ogni modo ben sposata con la volontà di replicare al meglio le condizioni di reale gestione dei volumi messa in atto al terminal. Come avuto modo di spiegare nei paragrafi precedenti, è stata infatti condivisa dai reparti yard e vessel la volontà di dedicare maggiore attenzione alla gestione delle classi di peso per le sole unità 9.6", maggiori nel numero rispetto agli 8.6" e con caratteristiche peculiari che ne rendono più difficoltosa la gestione nelle sequenze di imbarco. Questa scelta, seppur imposta, non ha quindi alterato in alcun modo la veridicità della soluzione restituita dal modello, in termini di eventuale applicabilità ad un contesto reale.
- *Numero di baie ridotto*: il numero di baie, così come il numero di contenitori o di qualunque altro elemento configurato, incide non solo sul numero di variabili generate, ma anche e soprattutto sulla quantità di vincoli da dover gestire. Come conseguenza diretta di questo ragionamento, è stata fatta una riflessione su quali fossero gli elementi del modello da poter "tagliare" al fine di permetterne il corretto funzionamento. Da questo punto di vista, tolti gli elementi dell'insieme dei contenitori di cui abbiamo parlato sopra, gli unici elementi che si prestavano ad una riduzione numerica pur mantenendo inalterata la coerenza logica iniziale del modello erano appunto le baie disponibili. Nel reale contesto operativo del terminal, il numero di baie messo a disposizione per lo stoccaggio delle unità HC in ingresso per la linea del Canada è, generalmente, dodici (sei baie per lo stoccaggio da 40 piedi); tale numero è perfettamente coincidente, *non a caso*, con il numero di baie configurate nel modello.

La decisione di configurare un numero di baie che ricalcasse le logiche utilizzate dal terminal (anche in termini di capacità) è quindi figlia da un lato della volontà di permettere un più facile confronto con la realtà operativa, dall'altro di voler ridurre allo stretto necessario le variabili generate eliminando gli elementi superflui.

Anche aumentando ipoteticamente il numero di baie messe a disposizione, infatti, la soluzione ottima avrebbe comunque previsto l'utilizzo delle dodici già identificate, logica conseguenza del numero di classi di peso previste nonché nel limitato numero di contenitori che compongono la load list di riferimento.

Spostando nuovamente l'attenzione sui risultati ottenuti, si può quindi facilmente dedurre come la bassa percentuale di occupazione degli spazi (con riferimento principalmente allo scenario con 3 classi di peso) sia quindi da imputare al numero eccessivamente basso di contenitori di imbarco previsti per quel particolare viaggio selezionato.

Nella maggior parte dei casi riscontrabili, infatti, il totale dei teus messi a disposizione dalle baie definite nel modello viene saturato con percentuali molto più elevate, giustificando gli spazi concessi.

N° CLASSI CONFIGURATE			BAIE IMPIEGATE		
SCENARIO REALE	SCENARIO SIMULATO	SCENARIO SIMULATO	SCENARIO REALE	SCENARIO SIMULATO	SCENARIO SIMULATO
3 LEGGERI [0-11,9] MEDI [12-21,9] PESANTI [22-33]	3 LEGGERI [0-11,9] MEDI [12-21,9] PESANTI [22-33]	2 LEGGERI [0-17,9] PESANTI [18-33]	12 [6 BAIE DA 40"]	12 [6 BAIE DA 40"]	8 [4 BAIE DA 40"]
SLOT UTILIZZATI / SLOT DISPONIBILI			% UTILIZZO		
SCENARIO REALE	SCENARIO SIMULATO	SCENARIO SIMULATO	SCENARIO REALE	SCENARIO SIMULATO	SCENARIO SIMULATO
64 / 132 [128 / 264 TEUS]	64 / 132 [128 / 264 TEUS]	64 / 88 [128 / 176 TEUS]	48,50%	48,50%	72,70%

Fig 4.28 – matrice di comparazione dei risultati

Come si evince chiaramente dalla tabella di cui sopra (fig. 4.28), i risultati ottenuti dal modello configurato con 3 classi di peso sono, in termini strettamente numerici, perfettamente sovrapponibili a quelli ottenuti nel contesto operativo reale gestito dal terminal.

Questa osservazione ci suggerisce come l'ipotesi con 3 classi sia quella più coerente rispetto alla realtà operativa del terminal, nonostante la soluzione proposta dal secondo scenario sia quella maggiormente performante dal punto di vista della saturazione degli

spazi. Anche in un contesto di reale gestione, infatti, quando si verifica (come nel caso di specie) che una singola nave scala al porto per imbarcare un numero di contenitori particolarmente ridotto rispetto alle medie del servizio, questi vengono comunque gestiti, almeno inizialmente, secondo le normali regole di stoccaggio previste. Esattamente come descritto nella prima soluzione proposta dal modello.

Solo successivamente alla chiusura doganale nave, in un'ottica di salvaguardia degli spazi, questi contenitori vengono poi accorpati seguendo le logiche inverse rispetto a quelle utilizzate per comporre le sequenze di imbarco a bordo.

In sintesi, con la chiusura degli ingressi al terminal, i contenitori verranno movimentati a secco (c.d. pre-marshalling housekeeping) per poi essere successivamente riposizionati all'interno di un'unica baia, partendo dai leggeri, per poi passare in sequenza rispettivamente a medi e pesanti. Così facendo si sfrutta la divisione dei contenitori attuata in un primo momento per riuscire ad aggirare il problema della aleatorietà degli ingressi, riuscendo a costruire baie pronte per l'imbarco con un'unica ulteriore movimentazione, rispetto alla prima messa a terra.

Diversamente il secondo scenario proposto garantirebbe una migliore saturazione degli spazi a fronte di una peggiore gestione, relativamente al peso, dei contenitori stoccati. Stante la componente aleatoria che caratterizza gli ingressi al terminal, l'ampia forbice che si crea tra lower e upper bound nelle classi definite comporta, infatti, una elevata probabilità di avere movimentazioni in fase di imbarco che si traducono in importanti rallentamenti nelle operazioni di caricaione.

Conclusioni

La realizzazione del modello matematico presentato nell'elaborato è stata condotta con la volontà di mettere a punto uno strumento che fosse in grado di restituire soluzioni ottimizzate di problemi "semplificati" proposti in ambienti virtuali e che, al contempo, se opportunamente svincolato da limitazioni dimensionali, potesse altresì permettere una corretta gestione di problemi reali di maggiore complessità.

L'obiettivo perseguito era quello di costruire un'alternativa valida, e più snella nei tempi di attuazione, rispetto ai file excel sui quali è stata basata inizialmente la ristrutturazione delle regole di stivaggio del terminal.

L'applicazione del modello permette la simulazione in tempi ridotti di un numero relativamente elevato di *load list*, con la possibilità di applicare a quest'ultime diverse condizioni di gestione, sia in termini di classi di peso sia in termini di numero e composizione di baie da dedicare al posizionamento dei contenitori. In questo modo si potrebbe rapidamente creare uno storico di dati, che fornirebbero una base di studio con finalità decisionali relativamente alla configurazione ottimale delle condizioni di stoccaggio, per ogni linea di traffico.

Procedendo in questo modo, se il modello venisse applicato ad un numero congruo di *load list* (selezionate tra quelle in linea con le medie di caricazione per un determinato servizio) sarebbe potenzialmente in grado di fornire risposte circa il numero di classi di peso coerenti con la gestione dei volumi previsti, nonché di indicare i parametri di *lower* e *upper bound* maggiormente indicati per ognuna delle classi configurate.

Parimenti, da uno studio dei dati di output si potrebbe riuscire a identificare anche quali aree di piazzale potrebbero risultare più idonee rispetto ad altre per lo stoccaggio dei volumi stessi; nel caso in cui fosse possibile definire una configurazione di scenario che ricalchi perfettamente (nel numero e nella capacità di stoccaggio) le baie a disposizione sullo yard, infatti, il modello distribuirebbe automaticamente i contenitori impiegando quelle baie che presentano delle caratteristiche tali da ottimizzarne la gestione. Queste indicazioni fornirebbero al planner alcuni spunti interessanti per capire quali zone destinare alla gestione di un determinato traffico.

I risultati presentati, seppur condizionati per effetto delle limitazioni imposte, forniscono risposte sicuramente positive rispetto all'efficacia del modello, che restituisce un output coerente con quanto accaduto nell'ambiente terminal.

A tal proposito, trovo doveroso evidenziare la centralità delle conoscenze acquisite durante il corso di ottimizzazione delle operatività marittimo portuali rispetto ai cambiamenti che sono riuscito ad implementare al terminal, relativamente ai processi di lavoro attuati.

Lo studio di diverse teorie circa l'importanza della gestione dei limiti di discriminazione delle classi di peso, ad esempio, mi ha permesso di condurre alcune importanti riflessioni relativamente alle prassi di gestione interne (valide da anni e mai modificate nel tempo) che hanno portato al primo intervento di modifica, nel 2022.

Allo stesso modo la capacità di lavorare sui modelli di programmazione lineare, acquisita durante il corso, ha creato le condizioni necessarie affinché riuscissi a sviluppare lo strumento di ottimizzazione proposto nel presente elaborato.

Tali interventi hanno inciso (o ci si aspetta che incideranno, nel caso del modello di programmazione) in modo rilevante sulle performance di produttività conseguite dall'azienda.

Bibliografia e sitografia

- <https://www.shippingitaly.it/2022/11/22/dal-piu-ricco-al-meno-ricco-la-classifica-dei-risultati-dei-terminal-container-italiani>
- <https://www.fedespediti.it/analisi-economico-finanziarie/>
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-022-06769-7>
- <https://www.lorenzini-terminal.it/>
- Container aumentati e impiantistica stabile per Lorenzini terminal a Livorno - Shipping Italy
- PROJECT_CARGO_ITALY-inserito_settembre_2020- Shipping Italy
- Banca dati AIDA
- <https://www.math.unipd.it/~luigi/courses/ricop/m01.modPL.01.modelli.pdf>
- <http://www.di.unito.it/~locatell/didattica/ampl.pdf>
- <https://marinecue.it/come-funziona-il-sistema-di-trasporti-via-mare-rotte-commerciali/31538/>