



Consorzio per l'Area di Sviluppo  
Industriale del Vastese

Via Ciccarone n.98/E  
66054 VASTO (CH)  
tel. 0873.367519 / 0873.364049

## PORTO DI VASTO - PUNTA PENNA

LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE E POTENZIAMENTO  
DELLE INFRASTRUTTURE PORTUALI

CIPE – 138/2000

### *PIANO REGOLATORE PORTUALE* *2007*

ALLEGATO 1

## STUDIO DI OPERATIVITA' PORTUALE

#### GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MODIMAR s.r.l.	capogruppo mandataria
Med.I.F. s.r.l.	componente mandante
Tecnoconsud s.r.l.	componente mandante

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

ING. NICOLA BERNABEO

CAPO PROGETTO:

PROF. ING. ALBERTO NOLI

LUGLIO 2007

## **INDICE**

1	INTRODUZIONE .....	2
2	MODELLO DI SIMULAZIONE DEL TRAFFICO PORTUALE .....	5
3	ATTUALE CONFIGURAZIONE PORTUALE.....	8
3.1	DESTINAZIONE DELLE BANCHINE .....	8
3.2	DEFINIZIONE DEL TRAFFICO .....	9
3.3	VALUTAZIONE DELL'OPERATIVITÀ .....	11
4	CONFIGURAZIONE PORTUALE DEL PRP .....	13
4.1	NUOVA CONFIGURAZIONE PORTUALE.....	13
4.2	CONSIDERAZIONI SUL MASSIMO TRAFFICO SOSTENIBILE .....	15
4.3	ANALISI DELLA COMPATIBILITÀ DELLA CONFIGURAZIONE DI PIANO IN RELAZIONE ALLE PREVISIONI DI SVILUPPO DEI TRAFFICI. ....	17
5	CONCLUSIONI. ....	23

## 1 INTRODUZIONE

La Regione Abruzzo, il 10/12/2003, ha stipulato con il Ministero dell'Economia e delle Finanze e con il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti un Accordo di Programma Quadro (di seguito brevemente indicato come APQ-14) finalizzato alla *introduzione e potenziamento del sistema dei porti abruzzesi all'interno del sistema marittimo, turistico e commerciale, del mediterraneo*.

Come indicato nell'Allegato 1 (Relazione Tecnica) dell'APQ-14, tenuto conto del quadro programmatico di riferimento su scala regionale, nazionale e comunitaria, sono stati individuati una serie di interventi di completamento del sistema portuale regionale tra i quali sono comprese due proposte (schede di attuazione DT-05 e DT-06 riportate nell'Allegato 2 dell'APQ) dedicate al porto commerciale di Vasto (porto di Punta Penna) per un importo complessivo di 8.474.400 euro (provenienti dai fondi della Delibera CIPE 36/2002).

I suddetti interventi discendono da diverse attività di pianificazione e studi specialistici promossi dalla Regione Abruzzo sulla base di quanto proposto dal Quadro di Riferimento Regionale (QRR adottato il 28/02/1995). Tra questi lo Studio di Fattibilità per il potenziamento del sistema portuale regionale (Delib. CIPE 70/1998) che nel caso specifico del porto di Vasto ha individuato come fabbisogni prioritari l'adeguamento delle banchine operative ed il potenziamento delle attuali infrastrutture di collegamento (stradali e ferroviarie).

In questo contesto si evidenzia che qualsiasi intervento previsto dall'APQ per il potenziamento del porto di Vasto non può prescindere da quanto previsto dal Piano Regolatore Portuale. Quello vigente approvato con D.M. n.7758 il 6/12/1969 è stato oggetto di più varianti al fine di poter eseguire nuove opere non previste originariamente necessarie non solo per adeguare il sistema portuale alle mutate esigenze e sviluppi tecnologici dei traffici marittimi ma soprattutto per porre rimedio ad evidenti limitazioni dell'originale configurazione portuale. In particolare, tenuto conto delle problematiche di sicurezza per le operazioni portuali (esposizione dell'imboccatura portuale alle mareggiate da nord ed eccessiva agitazione ondosa residua; fenomeni di tracimazione delle dighe foranee) era evidente la necessità di modificare drasticamente l'assetto planimetrico delle dighe foranee del porto. L'ultima variante del PRP di Vasto, approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (voto n. 163 del 23/03/1988), ha riguardato sostanzialmente il prolungamento della diga foranea di ponente ed il banchinamento del lato sud della darsena con celle antirisacca. I relativi lavori terminati nel 1994 hanno di fatto completato le opere da eseguire in attuazione del vigente PRP.

Il nuovo PRP redatto dalla PROGER su incarico del Co.A.S.I.V. è stato sottoposto al parere del Consiglio Superiore dei LL.PP. dalla Direzione Generale delle OO.MM. (nota 1916 del 6/10/1997). Con voto n. 501 (del 14/11/1997) il Consiglio Superiore dei LL.PP. ha espresso una serie di considerazioni che di fatto impongono una sostanziale revisione del Nuovo Piano Regolatore Portuale.

Ne consegue che, mancando di fatto un Piano Regolatore Portuale del porto di Vasto, allo stato attuale la realizzazione nel breve termine di eventuali nuove infrastrutture portuali è vincolata alla preventiva verifica di congruità delle stesse nei confronti dei seguenti vincoli:

- non devono costituire una modifica sostanziale al Piano Regolatore Portuale Vigente ma un mero adeguamento tecnico-funzionale;
- non devono essere difformi o contrastare con le previsioni di sviluppo del porto in particolare non devono introdurre elementi di "soggezione" nelle attività di aggiornamento del Piano Regolatore Portuale.

A tal scopo il Co.A.S.I.V., in qualità di soggetto attuatore delle citate schede DT-05 e DT-06 dell'APQ, ha affidato all'ATI Modimar-Medif gli incarichi per:

- prestazioni professionali di natura urbanistica inerenti la revisione e l'aggiornamento del nuovo piano regolatore del porto di Vasto;
- prestazioni ex art 50 del DPR n. 554/99 preordinate alla progettazione preliminare, definitiva ed esecutiva dei lavori di riqualificazione e potenziamento delle infrastrutture portuali.

Sulla base di quanto indicato nel Documento Preliminare alle Attività di Progettazione redatto dal Responsabile Unico del Procedimento, l'obiettivo prioritario prefissato è quello di procedere alla revisione ed aggiornamento del Nuovo PRP sulla base delle osservazioni e richieste formulate dal Consiglio Superiore dei LL.PP. nel citato voto n. 501. Le indicazioni e prescrizioni che derivano da questo documento, unitamente agli obiettivi prefissati dalla Regione Abruzzo sulla base dello Studio di Fattibilità (SdF) per il potenziamento del sistema portuale regionale e del Piano Regionale Integrato dei Trasporti (PRIT), sono ovviamente finalizzati a massimizzare le opportunità di crescita del sistema portuale nel pieno rispetto ed integrazione con tutti gli elementi ambientali, economici, infrastrutturali, istituzionali e sociali coinvolti.

Nel contempo questo strumento di pianificazione dovrà costituire un utile elemento di riferimento per una politica consensuale di sviluppo che le diverse amministrazioni (Stato, Regione, Provincia, Comuni, Capitaneria di Porto e Co.A.S.I.V.) possono promuovere ed attuare, congiuntamente ai portatori di interesse, al fine di garantire con le giuste sinergie un programma di sviluppo globale di tutta l'area.

Nell'ambito della redazione del nuovo Piano Regolatore Portuale, è stato condotto lo studio di operatività portuale descritto nel presente documento. Tale studio è volto alla simulazione dei traffici sia nella attuale configurazione portuale che nella configurazione portuale prevista nel PRP. Nel primo caso, l'obiettivo è quello di valutare l'effettivo utilizzo delle banchine ed il limite massimo di traffico prima del congestionamento del porto. Nel secondo caso, i risultati dello studio di operatività indicheranno le potenzialità, sia riferite al numero di navi, sia alle quantità di merci importate/esportate, della nuova configurazione portuale.

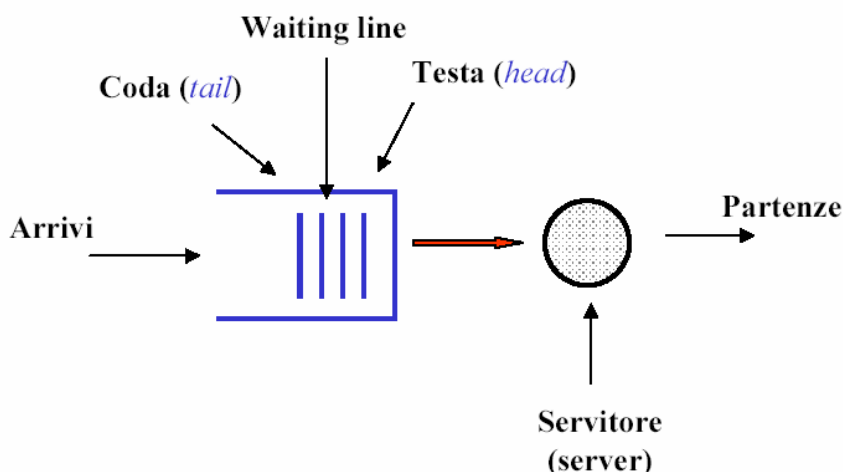
Il presente documento descrive i metodi ed i modelli di simulazione utilizzati per lo studio di operatività portuale. Tali metodologie vengono prima applicate alla configurazione portuale attuale, ed in seguito alla configurazione di progetto. I risultati delle simulazioni condotte sono infine presentati e discussi.

Il presente studio è stato svolto e redatto dal Dott. Ing. Andrea Panizzo e dal Dott. Roberto Sbarra, con il coordinamento dell'Ing. Paolo Contini e del Prof. Ing. Alberto Noli.

## 2 MODELLO DI SIMULAZIONE DEL TRAFFICO PORTUALE

La simulazione del traffico è stata effettuata utilizzando un modello di simulazione appartenente alla famiglia di modelli di microsimulazione di eventi utilizzati per lo studio e l'ottimizzazione di traffico. In particolare, il software di microsimulazione di eventi è in grado di rappresentare arrivi, stazionamenti e partenze di ogni singola nave su un orizzonte temporale finito, realizzando così una rappresentazione del traffico in grado di evidenziare i punti critici del sistema in studio, e di fornire quindi delle indicazioni per l'ottimizzazione del sistema. L'arrivo e partenza delle navi è regolato secondo determinati tempi di accadimento, mentre i diversi accosti alle banchine costituiscono le risorse occupabili dalle variabili del modello, e sono quindi in grado di generare code di attesa.

La Figura 2.1 mostra come opera l'unità base che costituisce un modello di simulazione di eventi e traffico. Le diverse unità componenti il modello vengono organizzate secondo diagrammi semplificati di flusso logico (flow-chart). Le variabili del modello, in questo caso le navi, arrivano, stazionano e ripartono dal porto secondo definite leggi di probabilità. In particolare, le navi simulate possono occupare delle risorse (banchine, canale di accesso) seguendo determinate condizioni, possono rimanere in attesa (in rada fuori dal porto, ad esempio) se la risorsa da utilizzare è occupata da un'altra nave o se il traffico nel canale non consente ulteriori movimenti in ingresso/uscita.



**Figura 2.1.** Schema logico dell'unità base costituente i modelli di simulazione del traffico navi.

Per una corretta simulazione del traffico con tali modelli è molto importante seguire una serie di procedure che in parte precedono ed in parte seguono la modellazione vera e propria del sistema, ma che in realtà non sono da essa scindibili.

Tali fasi possono essere riassunte come segue:

1. Formulazione del problema e scelta dell'obiettivo da raggiungere.

È essenziale sapere quali sono le informazioni che si vogliono ottenere dal modello al fine

di orientare a questo scopo tutte le fasi successive; la simulazione non è infatti esattamente una tecnica di ottimizzazione e quindi non esiste un parametro da massimizzare o minimizzare, ma una serie di indici di prestazione la cui dipendenza dalle variabili di input (o di decisione) deve essere verificata.

## 2. Raccolta ed elaborazione dei dati.

È una fase strettamente legata alla precedente; spesso i dati non sono direttamente utilizzabili ma derivano da elaborazioni, anche complesse, di notevoli quantità d'informazioni acquisite "sul campo".

## 3. Costruzione del modello logico - matematico - statistico.

È la fase in cui si devono individuare le componenti del sistema in esame (o sottosistemi) e le loro reciproche relazioni funzionali, ossia le interazioni tra le diverse parti del sistema in studio. Tale fase deve dar luogo a:

- Elenco degli elementi coinvolti.
- Elenco delle operazioni e degli eventi di inizio e fine delle stesse.
- Elenco delle regole e delle condizioni su inizio e fine delle operazioni.
- Durata delle operazioni.
- Elenco delle variabili di prestazione da controllare.
- Individuazione delle variabili di decisione ad esse collegate.
- Diagramma di flusso della simulazione.
- Stesura del programma.

## 4. Controllo del modello costruito e validazione dello stesso.

È certamente la fase più delicata in quanto si deve confrontare il modello con la realtà e trarne indicazioni di attendibilità. Si tenga presente che a volte non esistono esempi reali e funzionanti del sistema modellato.

## 5. Progettazione e conduzione degli esperimenti, raccolta ed analisi dei dati in uscita.

Ogni storia simulata può essere considerata come un campionamento casuale da una popolazione, l'analisi deve quindi essere effettuata con metodi statistici. Per ciascuna alternativa di decisione si conducono un certo numero di esperimenti (diversi solo per la sequenza dei numeri casuali derivanti dall'impiego di diversi "semi" per l'estrazione) e si controlla che la dispersione dei valori delle variabili sia minore della dispersione della media delle stesse fra le varie alternative. È di fondamentale importanza controllare che i

risultati non siano instabili e poco significativi a causa degli errori di modellizzazione o per aver assunto ipotesi troppo semplificative.

#### 6. Sintesi statistica e presentazione dei risultati.

Ciò può essere fatto tramite l'utilizzo di tabelle, grafici, istogrammi che mettano in relazione le variabili di prestazione con quelle di decisione. Nel caso in esame i risultati sono utilizzati per valutare la congestione di un sistema portuale (attuale configurazione portuale) o per valutare i massimi traffici realizzabili (nuova configurazione portuale di PRP).



### 3 ATTUALE CONFIGURAZIONE PORTUALE

#### 3.1 Destinazione delle banchine

Con riferimento alla figura 3.1, nella attuale configurazione portuale si possono considerare 4 accosti, nel seguito denominati come A, B1, B2 e C:

- Accosto A, destinato al traffico di prodotti liquidi. Il traffico dei prodotti liquidi è stato caratterizzato in base ai dati disponibili sul traffico osservato dei prodotti Acido solforico, Biodiesel, Gasolio, Olio di Colza, Olio di Soya.
- Accosti B1 e B2, destinati al traffico di prodotti solidi;
- Accosto C, destinato al traffico Ro-Ro (Roll on – Roll off), con ormeggio di punta.

Il porto presenta attualmente anche una piccola darsena dedicata al traffico delle imbarcazioni da diporto (circa 100 imbarcazioni), nel molo di Ponente, e un terminale per navi da pesca che conta circa 10 pescherecci e 20 natanti di piccole dimensioni, nel molo di Levante. La presenza delle imbarcazioni da diporto e dei pescherecci verrà considerata, nel seguito, come un fattore di interferenza per lo svolgimento del traffico di tipo commerciale.



**Figura 3.1.** Immagine da satellite del porto di Vasto (da Google Earth).

### 3.2 Definizione del traffico

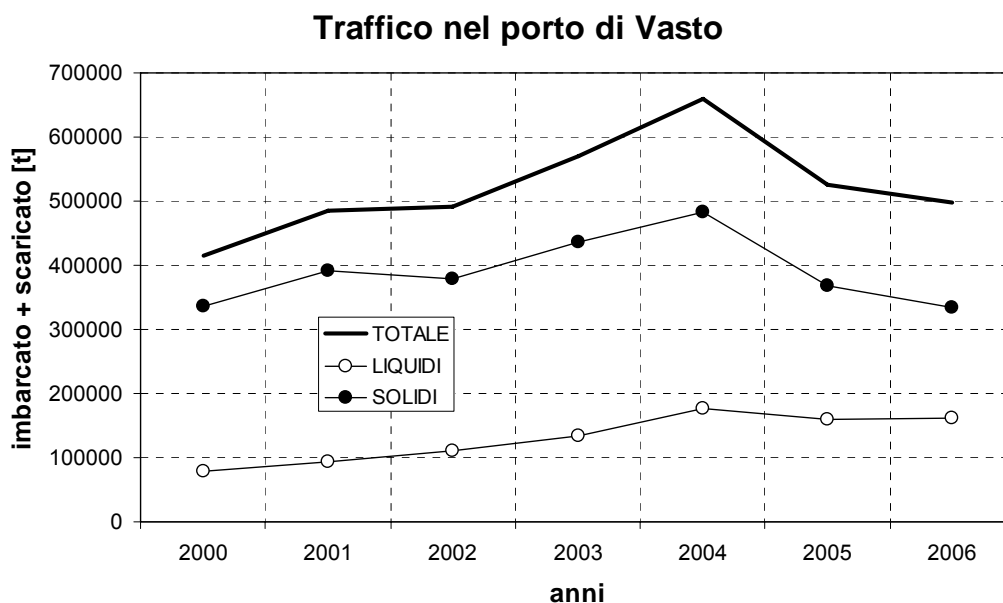
Il traffico nel porto di Vasto è stato definito sulla base dei dati raccolti dalla Capitaneria di Porto, che riassumono, su base annuale, il numero di navi che hanno effettuato operazioni di carico e/o di scarico nel porto, e le tonnellate di merce imbarcata e scaricata. Le tipologie di traffico individuate sono tre:

- Prodotti solidi
- Prodotti liquidi
- Ro-Ro

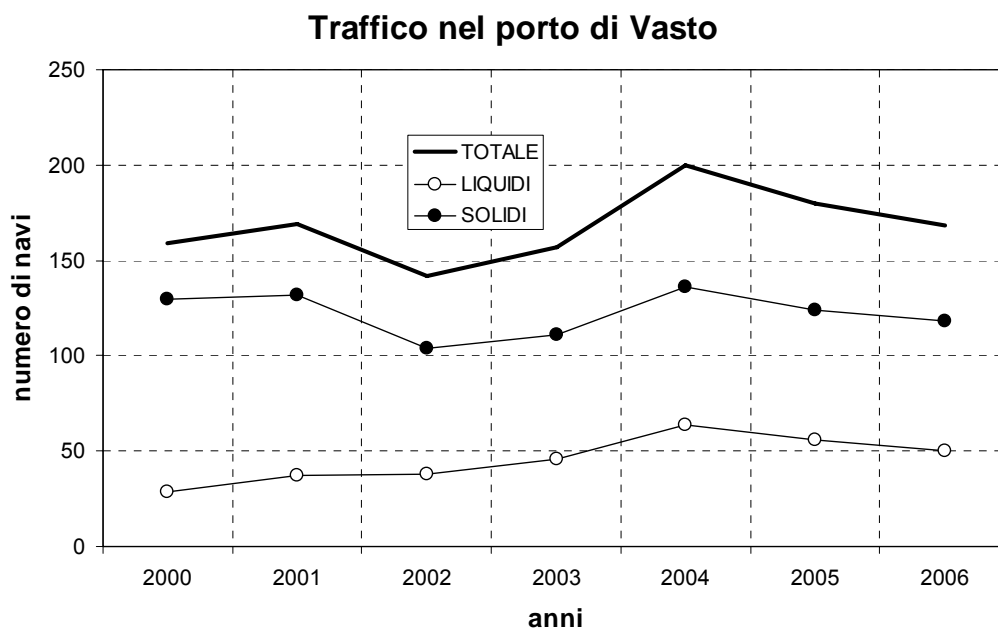
I grafici riportati nelle figure 3.2 e 3.3 visualizzano lo sviluppo del traffico nel porto di Vasto, indicando, rispettivamente le tonnellate e le navi che annualmente hanno transitato per il porto. I dati riferiti all'anno 2006 sono parziali, osservati fino alla fine di Ottobre 2006. Per quanto riguarda il traffico di tipo Ro-Ro, questo è presente nel solo anno 2006, con circa 20 navi.

In attesa delle analisi sulle previsioni del traffico nel porto, nel presente studio si sono considerati i seguenti volumi di traffico annuale per le diverse tipologie:

- Prodotti solidi        128 navi / anno
- Prodotti liquidi        64 navi / anno
- Ro-Ro                20 navi / anno



**Figura 3.2.** Osservazioni annuali del traffico nel porto di Vasto, in tonnellate.



**Figura 3.3.** Osservazioni annuali del traffico nel porto di Vasto, in numero di navi.

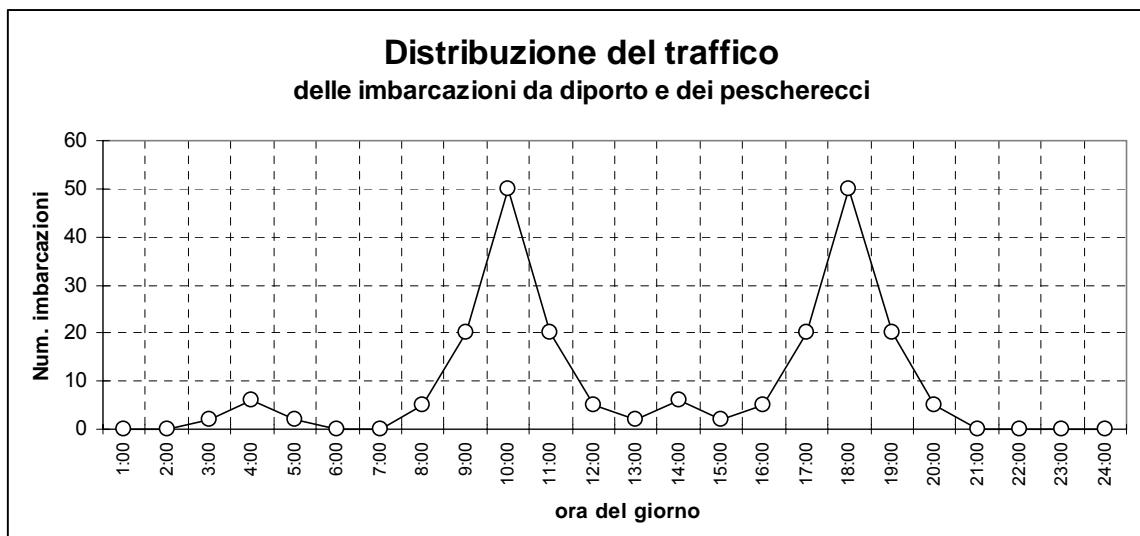
Sulla base del numero annuo di navi assegnato ad ogni tipo di traffico, è stata considerata una legge statistica degli arrivi al porto, calcolata come una distribuzione gaussiana con media  $365/(\text{numero navi})$  e deviazione standard fissata in  $\sigma = 4$  ore. Le frequenze di arrivo al porto sono quindi le seguenti:

- Prodotti solidi      media interarrivo =  $365/128 = 68.43$  ore
- Prodotti liquidi      media interarrivo =  $365/64 = 136.87$  ore
- Ro-Ro      media interarrivo =  $365/20 = 438$  ore

Da colloqui intercorsi con gli operatori portuali, il tempo necessario ad una nave ad entrare nel porto è stato fissato pari ad un'ora, comprendendo le manovre di ingresso al porto e di accosto in banchina. Il tempo di uscita dal porto è stato invece fissato in 15 minuti per tutti i tipi di nave. Lo stazionamento delle navi in banchina è stato fissato pari a 2 giorni per tutti i tipi di nave.

Per quanto riguarda l'interferenza del traffico da diporto e peschereccio su quello commerciale, l'ipotesi cui si è fatto riferimento è che, a parità di condizioni di ingresso, le navi commerciali hanno sempre priorità di transito. Per il traffico delle imbarcazioni da diporto e dei pescherecci si è formulata l'ipotesi che l'uscita o entrata di dieci imbarcazioni occupa il canale di accesso per cinque minuti. La frequenza di entrata e uscita delle imbarcazioni dal porto è stata regolata utilizzando delle leggi di distribuzione di probabilità, che presentano due massimi giornalieri, fissati alle ore 10:00 e 18:00 per le imbarcazioni

da diporto, e alle ore 4:00 e 14:00 per i pescherecci. La Figura 3.4 rappresenta la legge di distribuzione dei movimenti delle imbarcazioni che danno interferenza al traffico commerciale.



**Figura 3.4.** Interferenza alla navigazione commerciale.

### 3.3 Valutazione dell'operatività

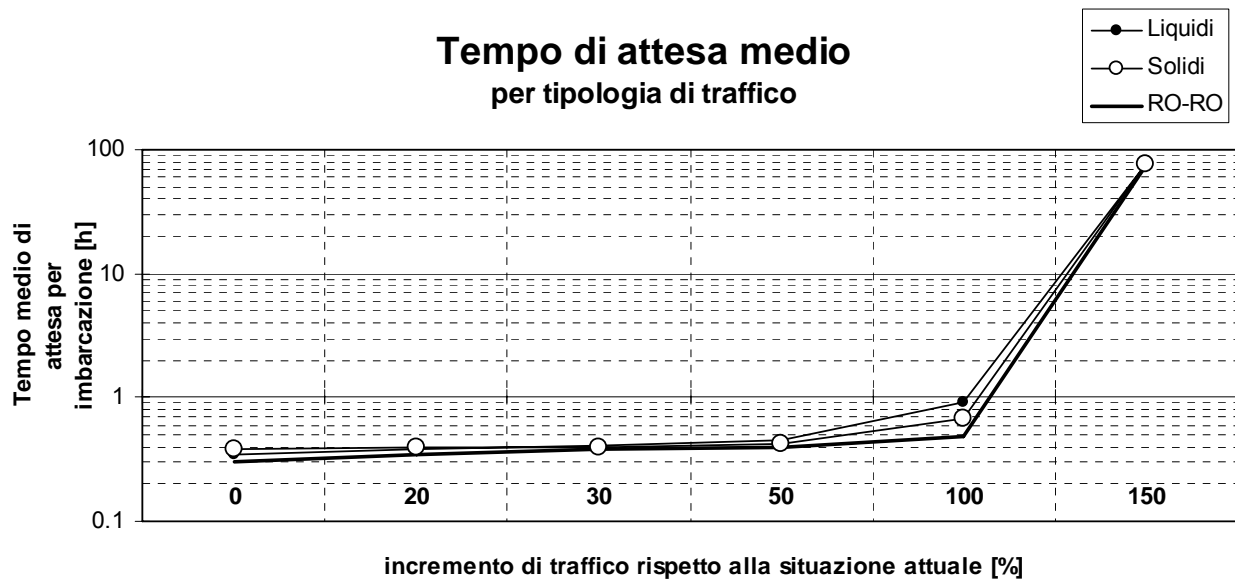
La simulazione del traffico è stata effettuata tenendo in considerazione le ipotesi sulle leggi di distribuzione del traffico e sulla destinazione delle banchine presentate in precedenza.

Oltre alla valutazione dell'operatività nelle condizioni di traffico e nella configurazione portuale attuale, sono stati considerati dei volumi di traffico incrementati per individuare il traffico massimo sopportabile dal porto di Vasto. La variabile cui si è fatto riferimento per valutare il grado di congestionamento è il tempo medio di attesa, per nave, al di fuori del porto.

Il grafico riportato in Figura 3.5 riassume i risultati delle simulazioni condotte. Il tempo medio di attesa calcolato con la modellazione effettuata è riportato in funzione del tipo di traffico considerato, e degli incrementi di traffico pari al +20%, +30%, +50%, +100%, +150%.

Dai risultati presentati, si può concludere che il porto, nella attuale condizione e nelle attuali condizioni di traffico, può sopportare un raddoppio dei traffici attuali (+100%) senza presentare rilevanti fenomeni di code, essendo inferiore ad un'ora il tempo medio di attesa delle navi per avere accesso al porto.

Incrementi del traffico superiori al 100% comportano elevati tempi di attesa per la disponibilità degli accosti in banchina.



**Figura 3.5.** Risultati delle simulazioni del traffico nella attuale configurazione portuale.

## 4 CONFIGURAZIONE PORTUALE DEL PRP

### 4.1 Nuova configurazione portuale.

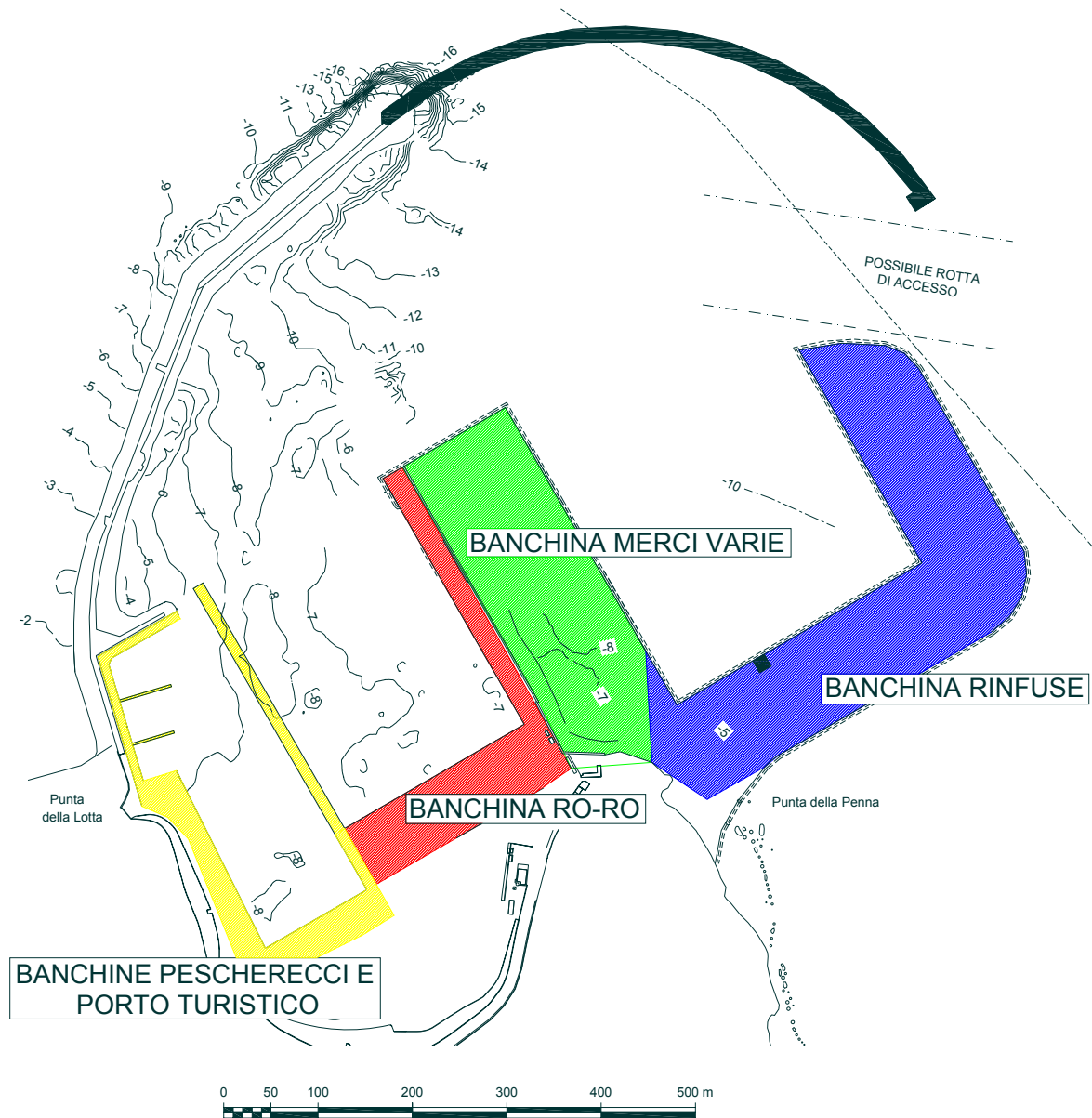
La figura 4.1 mostra uno schema della possibile configurazione del porto di Vasto, realizzata dal gruppo di lavoro che si occupa dello studio del nuovo Piano Regolatore Portuale. Il layout è concepito in vista di un raddoppio dell'attuale traffico commerciale, che nel porto è assegnato a darsene distinte da quella turistica e quella pescherecci. Per quanto riguarda il presente studio, le banchine vengono distinte in una Ro-Ro, una per merci varie, ed una rinfuse, come riportato in Figura 4.1.

L'ampliamento del porto comprende la realizzazione di darsene che presentano fondali fino alla -10 m, maggiori rispetto a quelli presenti attualmente (-6.5 m). La flotta commerciale che il porto potrà accogliere sarà incrementata sia per quanto riguarda il numero delle navi, sia per le maggiori dimensioni delle stesse.

In questo studio si ipotizza uno scenario futuro del traffico commerciale caratterizzato da tre tipi di prodotti:

- Tipo A: Merci Varie
- Tipo B: Rinfusiere
- Tipo C: Ro-Ro

I traffici di tipo peschereccio e da diporto verranno considerati in modo distinto, come già presentato nella precedente sezione.



**Figura 4.1.** Schema di una delle possibili configurazioni portuali in fase di progetto.

## 4.2 Considerazioni sul massimo traffico sostenibile

La valutazione dell'entità del traffico sostenibile dalla nuova configurazione portuale è in primo luogo valutata utilizzando delle variabili in grado di caratterizzare sinteticamente i traffici. In particolare, ad ogni tipologia di traffico è associato un parametro  $E[t_s]$ , equivalente alla media dei tempi di servizio (tempo di stazionamento in banchina delle navi) ed un parametro  $E[t_A]$ , pari alla media dei tempi di interarrivo delle navi. Un parametro di notevole interesse in questa modellazione matematica è il *coefficiente di carico*  $\rho_C$ , definito come:

$$\rho_C = \frac{E[t_s]}{E[t_A]m}$$

$\rho_C$  rappresenta il grado di occupazione del sistema delle banchine nel porto in esame, ovvero la percentuale di tempo in cui probabilmente il sistema porto sarà occupato.  $m$  indica il numero di risorse (banchine in questo caso) presenti all'interno del porto.

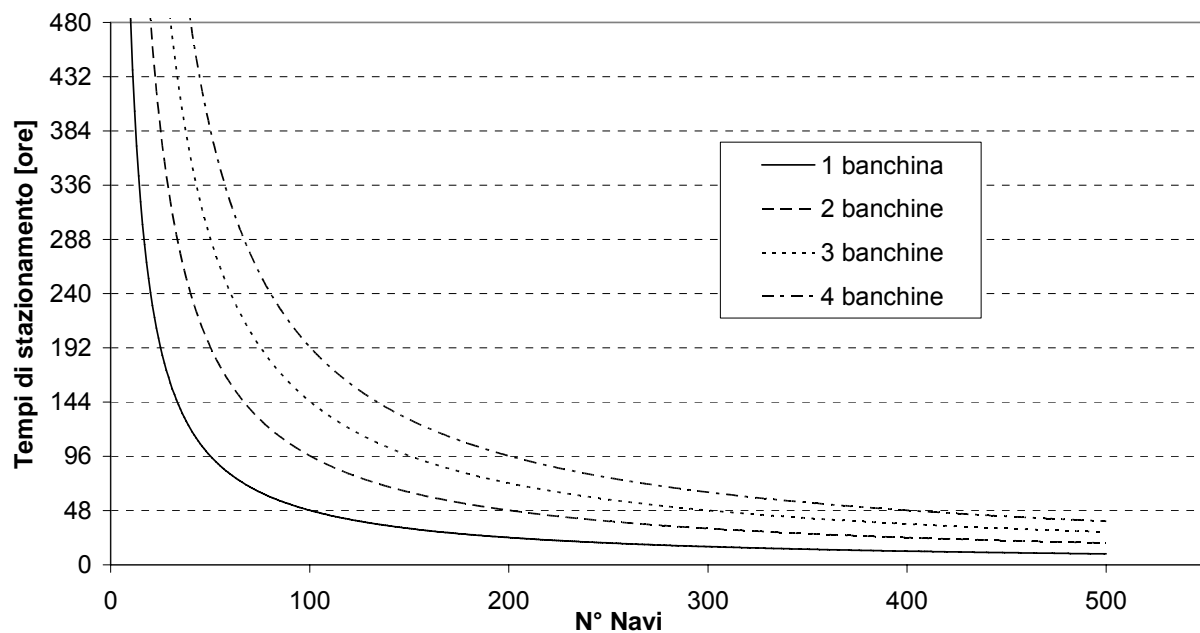
Gli studi presentati in letteratura sull'argomento hanno dimostrato che la *stabilità* del sistema, cioè la condizione per cui il numero delle navi in attesa a causa della mancata disponibilità di accosti non cresce indefinitamente nel tempo, si ha per  $\rho_C \leq 1$ , mentre uno scenario di buona operatività del sistema si realizza per  $\rho_C \leq 0.7$ . In genere, tuttavia, l'assunzione di un fattore di carico  $\rho_C=0.55$  garantisce un utilizzo economicamente valido della banchina limitando i tempi di attesa, e può rappresentare un dato di partenza per stimare i traffici sostenibili dal sistema porto.

Fissato il valore di  $\rho_C=0.55$ , la tabella 4.1 riassume la valutazione del possibile numero annuo di navi che utilizzano il porto in funzione del numero di banchine ( $m=1, 2, 3, 4$ ), e dei risultanti tempi di interarrivo  $E[t_A]$  e servizio  $E[t_s]$ . È chiaro che i traffici possono essere incrementati semplicemente riducendo i tempi di servizio  $E[t_s]$  delle navi in banchina, ad esempio aumentando il numero di mezzi utilizzati per il carico/scarico delle navi, o il numero di operatori portuali.

La figura 4.2 mostra gli stessi risultati presentati in tabella 1. In particolare sono disegnate le curve dei tempi di stazionamento in banchina (tempi di servizio  $E[t_s]$ ) in funzione del numero di navi e del numero delle banchine nel porto.



		$E[t_s]$ (ore)				$\rho_c=0.55$
N° Navi	$E[t_A]$ (ore)	Accosti 1	Accosti 2	Accosti 3	Accosti 4	
70	125,14	68,83	137,66	206,49	275,31	
90	97,33	53,53	107,07	160,60	214,13	
110	79,64	43,80	87,60	131,40	175,20	
130	67,38	37,06	74,12	111,18	148,25	
150	58,40	32,12	64,24	96,36	128,48	
170	51,53	28,34	56,68	85,02	113,36	
190	46,11	25,36	50,72	76,07	101,43	
210	41,71	22,94	45,89	68,83	91,77	

**Tabella 4.1.** Tempi medi di servizio.**Tempi di stazionamento in banchina / Numero di navi per anno****Figura 4.2.** Andamento del tempo di servizio al variare del numero annuo di navi movimentate per  $\rho_c=0.55$ .

### **4.3 Analisi della compatibilità della configurazione di piano in relazione alle previsioni di sviluppo dei traffici.**

A partire dalla valutazione preliminare dei traffici effettuata al paragrafo precedente, per ogni configurazione portuale oggetto di studio è necessario individuare una serie di caratteristiche da cui dipende la stima e le simulazioni riguardanti il traffico, quali:

1. La flotta di progetto.
2. I tempi medi di interarrivo.
3. I tempi medi di Carico/Scarico.
4. Limitazione e vincoli sulla navigabilità interna.
5. Tempi di accesso/uscita.

La flotta di progetto è ricavata in base alla lunghezza della banchina, alla sua destinazione e dai limiti di accesso (limiti sul pescaggio).

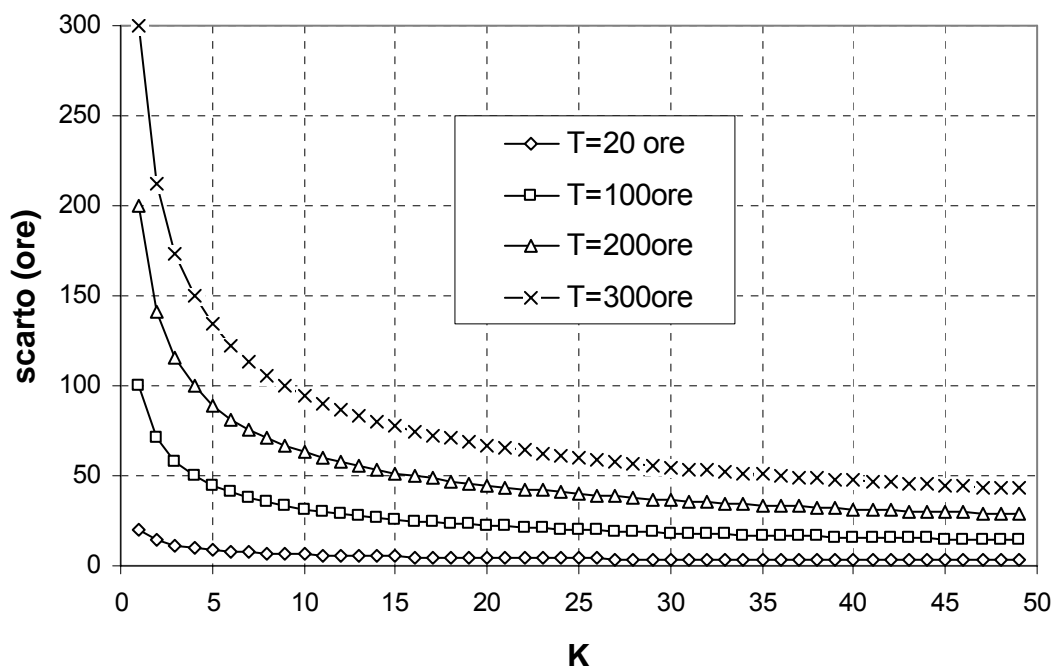
Ad ogni tipologia di nave sono quindi associati dei tempi di sosta in banchina  $E[t_S]$  (tempi di servizio), somma dei tempi di carico e scarico, ormeggio, disormeggio... Non vengono considerati in  $E[t_S]$  il tempo di permanenza in banchina dovuto alla congestione del canale di accesso in quanto considerato come tempo di attesa: questo parametro costituisce quindi un risultato della simulazione.

$E[t_S]$  è considerato come dato di progetto e dipende principalmente dalla tipologia di traffico, dalla stazza delle navi e dalle attrezzature di banchina.

Individuare  $E[t_A]$ , il tempo d'interarrivo tra due navi, quindi il numero massimo di navi l'anno, è lo scopo di questo studio. Esso è funzione del coefficiente di carico, del tempo di servizio e del numero di accosti per banchina.

I limiti di navigabilità interna servono a garantire un adeguato standard di sicurezza, si farà sempre riferimento alla possibilità di transito nel canale di accesso di una sola nave sia in entrata che in uscita, mentre i traffici della portualità turistica e peschereccia vengono considerati come un fattore indipendente, e non ottimizzato. Tali traffici, nelle simulazioni condotte, costituiscono invece un ostacolo all'accesso delle navi commerciali nel porto, analogamente a quanto ipotizzato nelle analisi della configurazione portuale attuale.

$E[t_A]$  ed  $E[t_S]$  sono stati calcolati in funzione delle variabili aleatorie  $T_A$  e  $T_S$ , distribuiti con legge di Erlang. Questo tipo di distribuzione di probabilità dipende da due parametri  $\beta$  e  $K$  e permette di dare indicazioni sul grado di incertezza collegato al verificarsi del fenomeno. In pratica all'aumentare di  $K$  il fenomeno diventa sempre più regolare, mentre gli scarti quadratici medi diminuiscono, e i tempi si concentrano sempre più intorno al valore medio stimato, come rappresentato in Figura 4.3.



**Figura 4.3.** Andamento dello scarto al variare di  $K$ .

Nelle simulazioni condotte si è fatto riferimento a tre tipi di accosto nelle darsene del porto commerciale, uno per merci varie, uno per rinfuse ed uno Ro-Ro. Tali tipi di accosto vengono sinteticamente caratterizzati come segue.

#### Banchina Merci varie (A):

- Tre Accosti;
- Limite d'accesso: pescaggio inferiore a 7 m;
- Flotta ipotetica: navi Merci Varie/Polifunzionali ( $L=100-120m$ ) di circa 5000 DWT;
- Tempo scarico: 8 giorni (equivalente a 30 t/ora per 21 ore lavorative);
- Tempo interarrivo: 122 ore (circa 72 navi/anno);
- Coefficiente  $K$  associato a  $T_S$  ed  $T_A$  pari a 9;

La permanenza in banchina merci varie di una nave (Nave tipo A) è molto variabile in funzione della stazza, della tipologia di merci trasportate e del tipo d'attrezzature utilizzate nelle operazioni di carico e scarico.

#### Banchina Rinfuse (B)

- Tre Accosti;
- Limite d'accesso: pescaggio inferiore a 7 m;
- Flotta ipotetica: navi equipaggiate con gru (L=80-90m) di circa 2500 DWT;
- Tempi scarico/carico di circa 150 ore;
- Tempo interarrivo: 91 ore;
- Coefficiente  $K$  associato a  $T_S$  ed  $T_A$  pari a 9.

Il tipo d'interarrivo non che i rispettivi tempi di carico e scarico per le banchine A e B sono fortemente aleatori: si usa un coefficiente  $K$  nella distribuzione di Erlang pari a 9 (evento ad accentuato carattere casuale).

#### Banchina Ro-Ro — Ro-Pax (C)

- Un solo Accosto;
- Limite d'accesso: pescaggio inferiore a 7 m;
- Flotta ipotetica navi Ro-Ro o Ro-pax;
- Tempi scarico/carico di circa 24 ore;
- Tempo interarrivo: 44 ore;
- $K=15$ .

Il traffico Ro-Ro per sua natura è più regolare nei tempi rispetto agli altri due, ed è stato ipotizzato un coefficiente  $K$  pari a 15.

La rotta d'accesso si ipotizza che possa essere utilizzata da una sola nave alla volta sia in entrata che in uscita.

I tempi di accesso e attracco dipendono dal tipo di nave, dalla stazza e dalle condizioni meteomarine.

Si assegnano tempi in ingresso di un'ora ed in uscita di 15 minuti uguali per tutte le navi; per entrambi si usa un coefficiente  $K$  uguale a 4.

Le ipotesi formulate ed i parametri di input sono sinteticamente riportati nella seguente Tabella 4.2.

Navi	Numero Accosti	Navi/anno	$T_a$ (ore)	$T_s$ (ore)
A	3	72	122	200
B	3	96	91	150

C	1	200	44	24
Totale		368		

**Tabella 4.2.** Dati di input.

I risultati della simulazione matematica condotte con il modello di simulazione del traffico sono presentati nelle tabelle e grafici che seguono. La Tabella 4.3 mostra i tempi totali di attesa e di servizio calcolati con il modello. Il fattore di carico  $\rho_c$  imposto viene rispettato. Il modello non presenta congestioni di traffico, poiché i tempi di attesa presentano valori limitati.

Tipo Traffico	$E [t_s]$ (ore)	Tempo Attesa (ore)	Tempo Totale (ore)	Numero Navi	$\rho_c$
A	203.16	1.32	204.47	71	0.545
B	151.73	0.68	152.42	98	0.558
C	25.41	0.42	25.83	200	0.556

**Tabella 4.3.** Risultati della simulazione.

I risultati del modello consentono anche di analizzare nel dettaglio i tempi di attesa per tipologia di traffico, distinguendo le seguenti variabili:

T1: Tempo totale di attesa in rada

T2: Attesa in rada per congestione del canale

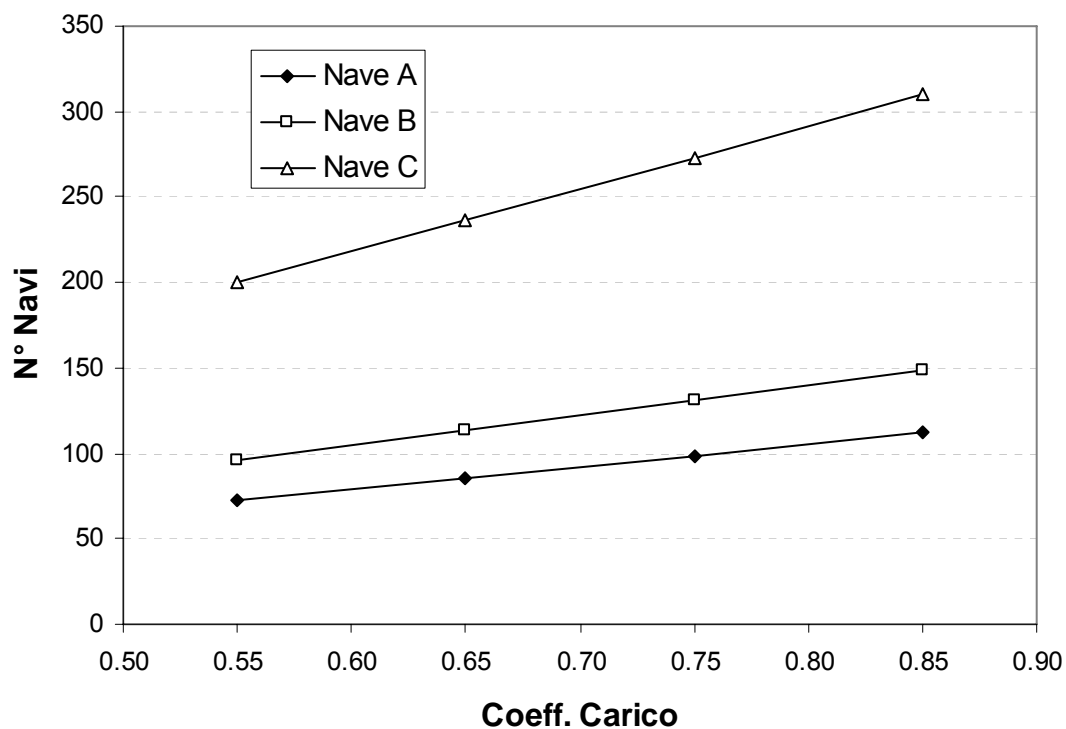
T3: Tempo di attesa per mancata disponibilità dell'accosto

Tipo Traffico	T1 (ore)	T2 (ore)	T3 (ore)
A	1.288	0.038	1.250
B	0.658	0.027	0.631
C	0.401	0.012	0.389

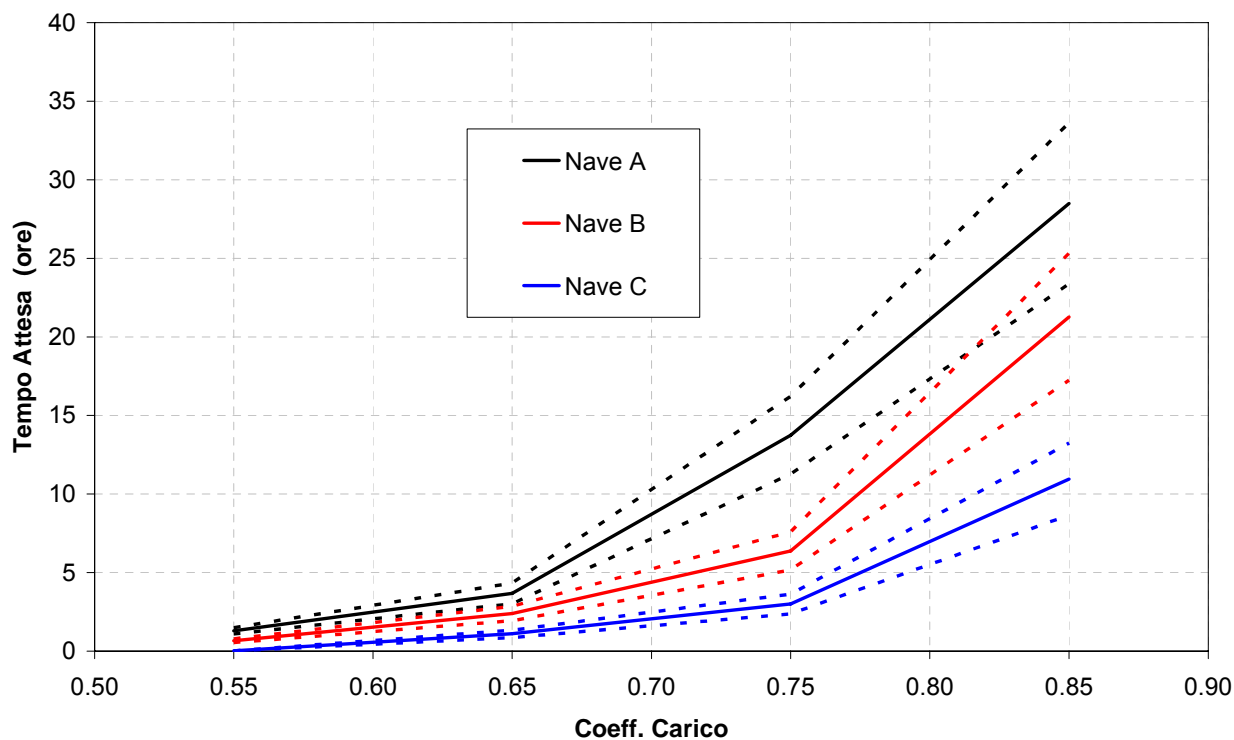
**Tabella 4.4.** Tempi di attesa.

Infine, è stata valutata l'operatività del porto ad incrementi del traffico, ossia ad incrementi dei fattori di carico  $\rho_c$ . I risultati vengono mostrati sinteticamente nei grafici rappresentati in Figura 4.4 e 4.5. Nel primo grafico, il numero di navi annue per tipologia di traffico che il

nuovo porto potrà sostenere è rappresentato in funzione del tempo di carico  $\rho_C$ . Il secondo grafico mostra quali tempi di attesa le varie tipologie di traffico presentano ad incrementi di  $\rho_C$ .



**Figura 4.4.** Numero di navi/anno al variare del coeff di carico.



**Figura 4.5.** Andamento del tempo di attesa in rada al variare del coefficiente di carico.  
(le linee tratteggiate indicano gli intervalli di confidenza al 95%)

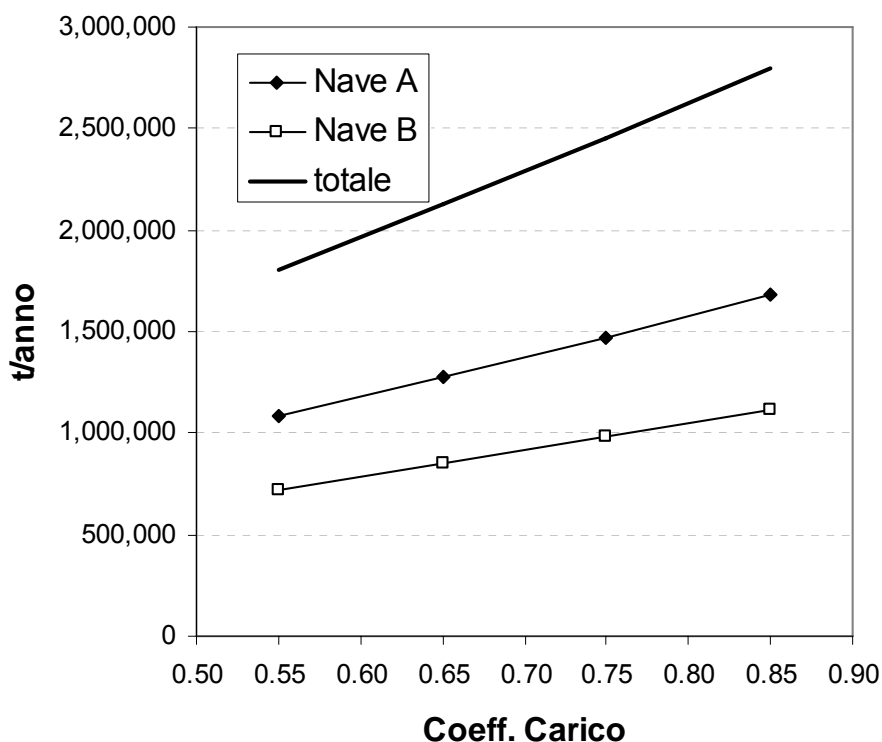


## 5 CONCLUSIONI.

Gli scenari simulati hanno mostrato che lo schema della nuova configurazione portuale prevista dal PRP ammette volumi di traffico sostenibili compatibilmente anche a un fattore di carico  $\rho_C = 0.65$ , e in questo caso si verificano tempi medi di attesa di circa 5 ore.

La Figura 4.6 mostra il traffico che la nuova configurazione portuale può sostenere in funzione del fattore di carico  $\rho_C$ , espresso in t/anno. Considerando che attualmente nel porto vengono imbarcate e sbarcate circa 700.000 t di prodotti ogni anno, si può dedurre che la nuova configurazione può sostenere 3 volte il traffico attuale e quindi anche se in futuro si dovesse superare la soglia di 2.000.000 t/anno il sistema portuale è in grado di operare senza incorrere in fenomeni di attese.

Si precisa che ulteriori incrementi futuri dei volumi di traffico sono possibili definendo delle banchine a destinazione ibrida, in cui diversi tipi di traffico sono possibili. Volutamente non si sono tenuti in considerazione scenari con accosti ibridi in questa fase progettuale, ma bensì ogni accosto è dedicato ad un singolo tipo di traffico.



**Figura 5.1.** Variazione dei Traffici (t/annuo) in funzione del coefficiente di carico, stimati per le categorie “merci varie” e “rinfuse”. L’attuale flusso di traffico totale annuo è inferiore alle 700.000 t.