

Comune di Viareggio


I

Piano Regolatore del Porto di Viareggio

**VERIFICA SULLA NAVIGABILITÀ DEL PROGETTO
DEL PORTO DI VIAREGGIO**

Ing. CHILO'

maggio 2007

	Relazione finale	JOB. 29/02
DOC. No.	TITOLO: Verifica sulla navigabilità del progetto del porto di Viareggio	Date 13/12/02
DSS 0020 0		

0	13/12/02	PRIMA EMISSIONE			
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	EMISSIONE	VERIFICA	APPROV.

1. INTRODUZIONE

In questa relazione viene presentato lo studio di navigabilità del porto di Viareggio nella nuova configurazione prevista dal Piano Regolatore Portuale. Le manovre sono state condotte in diverse condizioni meteo marine e su una nave da carico ritenuta rappresentativa della tipologia di navi che utilizzano il porto allo studio. Per lo svolgimento di questa indagine si è utilizzato il sistema di simulazione dei Cantieri Benetti ove è installato un modello di manovra non lineare a parametri concentrati che permette di determinare la traiettoria della nave considerando anche l'azione di disturbi esterni (quali onde, vento e corrente) e l'effetto di particolari situazioni operative quali acque ristrette e fondali limitati.

Le manovre di ingresso e di uscita sono state condotte utilizzando gli organi di governo della unità presa in esame, con l'ausilio delle ancore e dei cavi di ormeggio esclusivamente per le manovre di ingresso e di attracco in banchina.

2. IL MODELLO MATEMATICO

Come in ogni simulatore di manovra, il modello matematico che schematizza il comportamento dinamico della nave al variare delle azioni di controllo rappresenta il nucleo attivo dell'intero sistema. Esso risulta essere in grado di predire nel tempo la rotta e la traiettoria della nave al variare delle azioni sugli organi di governo e di manovra, prendendo in considerazione l'effetto di disturbi esterni alla nave (mare, vento, corrente) e di particolari condizioni operative.

La nave viene assimilata ad un corpo rigido avente tre gradi di libertà nel piano orizzontale e le tre formulazioni delle forze agenti su di essa possono essere sinteticamente descritte nella seguente forma:

$$m(\dot{u} - vr) = X'$$

$$m(\dot{v} + ur) = Y'$$

$$I_{zz} \dot{r} = N'$$

ove si indicano con:

m = massa della nave

I_{zz} = momento di inerzia intorno all'asse verticale

u, v, r = velocità di abbrivio, di deriva e di imbardata

e il punto sopra la variabile indica la derivata prima temporale della variabile stessa.

Per avere una simulazione il più realistica possibile è necessario anche schematizzare la dinamica della propulsione, che viene descritta dalla seguente equazione differenziale:

$$2\pi I_p \dot{n} = Q_D - Q_P - Q_F$$

ove:

Q_D = coppia fornita dall'apparato motore

Q_P = coppia assorbita dall'elica

Q_F = coppia assorbita dagli attriti del motore e della linea d'assi

I_p = momento di inerzia del propulsore

n = numero di giri

Va notato che di queste equazioni differenziali ne esistono tante quante sono gli assi della nave in esame.

L'apparato motore della nave schematizzata per questa indagine di navigabilità era di tipo diesel e pertanto la coppia da esso sviluppata è stata ipotizzata funzione lineare della quantità di combustibile iniettata per giro (Cg). Sulla base di questa ipotesi è possibile scrivere la seguente relazione:

$$Q_d = \dot{Q} \cdot Cg + Q_0$$

dove \dot{Q} e Q_0 possono essere ricavate dall'abaco di potenza del motore in esame ed in particolare la Q_0 rappresenta il valore della coppia resistente del motore quando esso viene trascinato. Essendo il consumo per giro proporzionale alla posizione della cremagliera (Z) ed a la massima quantità di combustibile iniettata per giro, si può scrivere:

$$Q_p = a \cdot Z \cdot \dot{Q} + Q_0$$

Ciò equivale a fare variare linearmente la coppia fornita dal motore con la posizione della cremagliera, che viene comandata dalla posizione del telegrafo di macchina.

Le forze agenti sulla nave, rappresentate dai termini di destra delle equazioni differenziali precedenti, lungo i suoi tre gradi di libertà nel piano orizzontale, sono state scomposte in contributi attribuibili alla carena, all'elica, al timone, al vento, alle onde, alle ancore e alle linee di ormeggio. Nel seguito verrà data una breve descrizione degli approcci alla trattazione dei singoli moduli rappresentanti le varie componenti delle forze.

2.1 Forze di carena

Al fine di avere un'espressione matematica per questo tipo di forze, che si assume essere quelle provocate dai moti della nave, viene usato uno sviluppo in serie di Taylor a più variabili [1]. Tale sviluppo in serie viene fatto nell'intorno di un punto di equilibrio delle forze agenti sulla nave

e cioè per un determinato valore della velocità longitudinale e per valori nulli dell'altra componente lineare e della velocità angolare. Il numero dei coefficienti dello sviluppo in serie, generalmente noti come coefficienti idrodinamici, varia a seconda dello scopo del problema che deve essere affrontato e del grado di sofisticazione con cui sono inseriti nella rappresentazione matematica gli effetti idrodinamici della carena.

La valutazione dei coefficienti idrodinamici è stata effettuata utilizzando approcci di tipo semi empirico (Clarke [2], Kijima [3]) basati sull'analisi statistica di un notevole numero di dati sperimentali. Le formulazioni così ottenute permettono di calcolare le derivate idrodinamiche lineari e non lineari in funzione delle dimensioni e dei rapporti adimensionali principali che definiscono la carena.

Per tenere conto di manovre effettuate in condizioni di basso fondale, è stata utilizzata la formulazione di Sheng [4] per il calcolo delle correzioni da apportare a buona parte delle derivate idrodinamiche di carena. Tali correzioni, dipendenti dall'immersione media e dalla profondità del fondale, sono rappresentate come funzioni non lineari dei rapporti adimensionali larghezza-immersione (B/T) e profondità-immersione (H/T) e vengono applicate limitatamente alle derivate idrodinamiche lineari. Un ulteriore fattore correttivo riguarda invece la resistenza al moto che, in prima approssimazione, si è ipotizzato incrementi linearmente in funzione del rapporto immersione profondità.

2.2 Forze dovute al vento

Soprattutto a basse velocità e per navi aventi un'elevata superficie esposta, le componenti di tali forze possono assumere intensità tali da compromettere, o perlomeno alterare, le capacità di risposta della nave alle azioni di controllo e di governo. Tali problematiche possono manifestare il loro effetto soprattutto durante la navigazione in aree marittime a traffico controllato (porti, canali, fiordi, ecc.) dove vengono di più esaltati gli aspetti legati alla sicurezza della navigazione.

Nel modello di simulazione utilizzato il vento è considerato costante in intensità e direzione durante tutta la durata della manovra e le forze da esso generate sono ritenute proporzionali al quadrato della velocità relativa nave-vento secondo le seguenti relazioni:

$$X_w = \frac{1}{2} \rho_a V_a^2 A_x C'_x$$

$$Y_w = \frac{1}{2} \rho_a V_a^2 A_y C'_y$$

$$N_w = Y_w L_{OA} C'_N$$

dove:

ρ_a = densità dell'aria

V_a = velocità del vento relativo

$A_x, A_y =$ proiezioni dell'area trasversale e longitudinale
 $L_{OA} =$ lunghezza fuori tutto

I tre coefficienti aerodinamici C'_x, C'_y, C'_N sono ottenuti da test effettuati in galleria del vento al variare dell'angolo di incidenza del vettore velocità relativa nave-vento rispetto la prora della nave su numerosi modelli riproducenti in scala le sovrastrutture e l'opera morta (Tang [5], Aage [6]). Per l'effettuazione delle simulazioni presentate si sono scelti nell'ambito dei coefficienti riportati quelli che meglio caratterizzano le navi schematizzate.

2.3 Forze dovute alla corrente e al moto ondoso

Per le verifiche della navigabilità risulta di grande interesse conoscere gli effetti che vengono introdotti dagli agenti meteo-marini e verificarne l'impatto che hanno sullo svolgimento delle varie manovre. Nel modello di simulazione gli effetti della corrente, anche se nello studio in esame essa non viene tenuta in considerazione, vengono inseriti nella schematizzazione matematica sulla base del concetto di velocità relativa. Ciò significa che le forze idrodinamiche vengono valutate non sulla base delle due componenti della velocità lineare della nave, ma considerando le componenti della velocità relativa nave-fluido.

Nel modello di simulazione anche l'azione del moto ondoso viene presa in considerazione attribuendo il suo effetto alla variazione della velocità relativa fluido-carena, intesa in questo contesto come differenza tra la velocità della nave e la componente della velocità orbitale dell'onda e ciò permette di considerare sia gli effetti del primo che del secondo ordine, altrimenti schematizzati con l'introduzione di altri coefficienti, come riportato nella referenza bibliografica [7]. Nell'applicazione si considera che l'opera viva della carena non alteri il potenziale d'onda, cioè vengono trascurati gli effetti delle onde riflesse e diffratte dalla carena e di quelle provocate dai moti oscillatori della nave intorno e lungo i suoi assi.

Per il calcolo della velocità orbitale dell'onda si è ipotizzato che lo stato di mare, indipendentemente dalle condizioni ambientali, quali fetches e fondali, sia rappresentato dalla distribuzione spettrale a due parametri di Pierson-Moskowitz [8]. Lo spettro di mare viene schematizzato introducendo cinque contributi energetici ciascuno di pari intensità ($0.2 m_0$) e con una frequenza (ω_i) pari al rapporto fra il momento di ordine uno e quello di ordine zero. Più dettagliatamente, avendo indicato con m_0 :

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega$$

l'espressione della frequenza (ω_i) può essere esplicitata nel modo seguente:

$$\bar{\omega}_i = \frac{\int_{\omega_i}^{\omega_{i+1}} \omega S(\omega) d\omega}{\int_{\omega_i}^{\omega_{i+1}} S(\omega) d\omega} = \frac{\int_{\omega_i}^{\omega_{i+1}} \omega S(\omega) d\omega}{\frac{1}{5} m_0}$$

Per ciascuna delle cinque frequenze ($\bar{\omega}_i$) si determina la velocità orbitale lungo la direzione di propagazione dell'onda che viene proiettata lungo gli assi di un sistema inerziale (X_0, Y_0) secondo le formule seguenti:

$$U_{W_i} = -a \bar{\omega}_i e^{-KT} \cos \beta \cos [K(X_0 \cos \beta + Y_0 \sin \beta) - \bar{\omega}_i t + \varphi_i]$$

$$V_{W_i} = -a \bar{\omega}_i e^{-KT} \sin \beta \cos [K(X_0 \cos \beta + Y_0 \sin \beta) - \bar{\omega}_i t + \varphi_i]$$

avendo indicato con:

T = immersione nave

K = numero d'onda della frequenza $\bar{\omega}_i$

A = ampiezza d'onda

β = direzione di provenienza del moto ondoso

φ_i = fase casuale alla frequenza $\bar{\omega}_i$

Le velocità orbitali possono essere proiettate lungo gli assi (x,y) solidali con la nave in accordo alle seguenti relazioni:

$$u_W = U_W \cos \varphi + V_W \sin \varphi$$

$$v_W = -U_W \sin \varphi + V_W \cos \varphi$$

avendo indicato con φ la rotta della nave e con U_W e V_W la somma ottenuta dalle cinque componenti con le quali è stato schematizzato lo spettro del moto ondoso.

2.4 Forze dell'elica

La simulazione del comportamento dinamico della nave in manovra, perché sia corretta, necessita di una accurata schematizzazione analitica della spinta fornita dall'elica. Il tradizionale grafico di elica isolata e la relativa approssimazione polinomiale dei coefficienti K_T e K_Q di spinta e coppia rappresentano la caratteristica di funzionamento nel tradizionale quadrante propulsivo

caratterizzato da velocità d'avanzo e giri positivi; questo potrebbe essere sufficiente alla simulazione delle principali manovre standard, ma non adatto alla marcia addietro o alla più complessa simulazione dell'inversione di spinta nelle manovre di arresto, azioni effettuate a bordo nelle fasi di avvicinamento ad un'area portuale.

Per ovviare a questi inconvenienti si è fatto uso della rappresentazione adottata nella referenza [9] per la schematizzazione matematica di questo tipo di forze. In questo lavoro i coefficienti di spinta e di coppia dell'elica vengono riportati in funzione dell'angolo di passo idrodinamico (β) che può assumere valori compresi fra 0 e 2π :

$$C_T = \sum_{k=0}^n [A(k)\cos k\beta + B(k)\sin k\beta]$$

$$C_Q = \sum_{k=0}^n [A(k)\cos k\beta + B(k)\sin k\beta]$$

$$\text{con } \beta = \text{tg}^{-1} \frac{V_a}{0.7 \pi n D}$$

In questa maniera pertanto risulta possibile schematizzare il funzionamento dell'elica anche quando essa opera a giri e/o velocità d'avanzo negativi.

I coefficienti di spinta e coppia, una volta inseriti in un apposito algoritmo matematico e noti i parametri indipendenti (velocità nave, scia, passo effettivo dell'elica e numero dei giri), restituiscono la coppia assorbita e la spinta fornita dall'elica. Quest'ultima grandezza viene introdotta nel modello matematico a meno del coefficiente di risucchio che viene in prima approssimazione assunto costante nonostante il variare della velocità nave.

2.5 Forze del timone

La determinazione delle forze generate dal timone è l'elemento chiave nella simulazione della nave in manovra. Essenzialmente le forze del timone sono quelle generate da una superficie di controllo simmetrica, caratterizzata da coefficienti di resistenza e portanza in funzione dell'angolo di attacco. Detti coefficienti, derivati da misure su profili isolati, rappresentano la risposta del sistema timone ad un flusso comunque orientato. La determinazione della velocità e direzione effettiva del flusso incidente la sua superficie è resa più complessa dalla posizione che il timone normalmente assume, dietro carena e dietro elica. Gli effetti dell'elica sul flusso giocano un ruolo determinante sulla capacità evolutiva. I fenomeni di interferenza elica timone sono stati tenuti in considerazione nel modello matematico secondo quanto suggerito nelle referenze [10,11].

2.6 Forze dovute alle ancore

La determinazione delle forze generate dalle ancore riveste una particolare importanza quando vengono effettuate manovre di attracco, dato che è molto frequente, durante l'esecuzione di questo tipo di manovra, che questi apparati ricoprano un ruolo fondamentale nella strategia della manovra stessa.

La forza esercitata dall'ancora dipende essenzialmente dalla catenaria che assume la sua catena che è funzione, oltre che alla lunghezza della catena stessa, della distanza fra la posizione dell'ancora sul fondo e quella della cubia e del fondale ove la nave si trova ad operare.

2.8 Forze dovute ai cavi di ormeggio

Nella fase di attracco, fase finale delle manovre di ingresso in porto, il bordo lancia i cavi di ormeggio in terra, i quali, una volta fissati alle bitte e avvolti sugli argani e/o sui verricelli di bordo, esercitano forze sulla nave che viene accostata alla banchina essenzialmente servendosi di questi apparati ausiliari. Per una più realistica simulazione di questa fase della manovra è necessario disporre di una schematizzazione matematica anche dell'azione di questi importanti apparati ausiliari.

La forza del cavo viene orientata secondo la congiungente bitta argano o verricello, la quale cambia sulla base della posizione della nave e della deformazione del cavo e l'intensità della stessa viene determinata sulla base della velocità di rotazione di questi apparati e della loro potenza.

3. CONDIZIONI DI SIMULAZIONE

Come da richiesta del committente sono state simulate le manovre di ingresso e di uscita di una tipologia di nave da carico, ipotizzando il lay-out del porto previsto dal Piano Regolatore Portuale con tutto il bacino portuale dragato a 5 metri.

Tutte le simulazioni delle manovre eseguite nello svolgimento del presente studio sono state condotte utilizzando, come precedentemente accennato il sistema di simulazione dei Cantieri Benetti, illustrato nella figura 1, che è dotato di un simulacro di una consolle di plancia che, interfacciata col personal computer dove è installato il software del modello matematico precedentemente descritto, ha permesso di impartire gli ordini ai vari organi di governo e di propulsione in tempo reale e durante lo svolgimento della manovra stessa. La figura 1 mostra L'operatore segue la dinamica della nave dal simulacro della plancia ove, al posto dei finestrini, sono installati nove schermi video, ciascuno con un angolo di visione di 20 gradi, sui quali viene riprodotta la visione dello scenario in accordo ai movimenti della nave su un angolo totale 180 gradi. La dinamica della nave durante le simulazioni viene anche rappresentata sullo schermo di un

personal computer della stazione istruttore che riproduce in un piano orizzontale la silhouette della nave e la configurazione portuale in “true motion”, con il lay-out portuale fermo sullo schermo e la silhouette della nave che si muove in conseguenza degli ordini impartiti ai suoi organi di governo e propulsione, e con la possibilità di scegliere la scala che si ritiene più opportuna, zoomando a discrezione dell’operatore l’immagine. Da questa postazione è possibile sia impostare i vari esercizi e cioè stabilire lo scenario e le condizioni iniziali (rotta e velocità) della nave, fissare i vari elementi meteo marini, inserire l’orario e quindi le condizioni di visibilità, sia gestire su comando del pilota le ancore e i cavi di ormeggio. Un’altra rappresentazione della dinamica della nave è offerta dallo schermo del simulatore radar dove è possibile seguire la dinamica della nave attraverso gli echi prodotti dagli eventuali bersagli, dalle dighe e dai moli della configurazione portuale con l’opportunità di scegliere fra le varie modalità standard che offrono questi apparati di bordo.

Le caratteristiche principali della nave utilizzata per l’esecuzione di questo studio vengono qui di seguito riportate.

Lunghezza fuori tutto 88 m

Lunghezza fra le perpendicolari 80 m

Larghezza 13.6 m

Immersione 4.4 m

Dislocamento 4100 t

Potenza 900 KW

Numero di giri 264 RPM

Velocità massima 13.6 nodi

Numero timoni 1

Area timone 11.8 m²

Numero eliche 1 a pale fisse

Diametro elica 2.58 m

Passo/diametro 0.8

Area sviluppata/area disco 0.6

Numero delle pale 4

Il modello matematico, descritto nel precedente paragrafo, è stato applicato alla suddetta nave e nella fase di taratura sono state condotte simulazioni di prove di arresto libero e forzato, a zeta e di evoluzione.

I risultati delle prove di arresto forzato sono riportati nelle figure 2 e 3, le quali riportano rispettivamente il tempo e lo spazio di arresto della nave schematizzata in funzione della sua energia cinetica iniziale. I risultati sono stati messi a confronto con quelli ottenuti dagli altri modelli matematici di navi recentemente messi a punto presso la SINDEL S.r.l. e con il limite imposto dall’IMO [12,13] per quanto riguarda lo spazio percorso (figura 3). Come si può notare i risultati ottenuti dal modello matematico della nave allo studio si collocano al di sopra di una curva di regressione; tale situazione, che sovrastima sia i tempi che gli spazi di arresto, rappresenta una condizione cautelativa ai fini del presente studio di navigabilità.

Durante le simulazioni delle evoluzioni, condotte con un angolo di barra pari a 35 gradi, sono stati rilevati per la nave, oggetto di questo studio, i valori dell’avanzo, del trasferimento e del

diametro tattico che vengono riportati, adimensionalizzati sulla lunghezza nave, rispettivamente nelle figure 4, 5, 6 in funzione del coefficiente $C_b \cdot B / L_{pp}$. Le figure riportano anche la retta di regressione ottenuta dall'analisi dei dati numerici di queste grandezze, raccolti e riportati nella referenza [14], nonché l'intervallo di confidenza rappresentato dalle due rette parallele. Come si può notare tutte e tre le grandezze, caratteristiche di questo tipo di manovra, rientrano in maniera soddisfacente entro gli intervalli di confidenza ottenuti sui risultati rilevati durante le prove di manovrabilità al vero. Per le stesse manovre simulate la figura 7 riporta invece l'andamento della perdita di velocità in funzione del diametro finale; come si nota, anche per questa grandezza la previsione fornita dal modello di simulazione è allineata con i risultati delle prove al vero.

Nella fase di taratura dei modelli matematici della nave presa in considerazione sono state effettuate anche le manovre a zeta 10/10 gradi e 20/20 gradi. I risultati della manovra a zeta 10/10 gradi sono rappresentati nelle figure 8 e 9, che riportano in funzione del rapporto fra la lunghezza nave e la velocità iniziale, espresso in secondi, rispettivamente il primo e il secondo angolo di overshoot. Analoga rappresentazione è stata adottata nella figura 10 che è relativa al primo angolo di overshoot per la manovra a zeta 20/20 gradi. Anche in questo caso i risultati ottenuti sono stati messi a confronto con quelli dei modelli di navi schematizzate e disponibili presso la Sindel S.r.l. e con i limiti imposti dall'IMO [12,13]. Come si può notare i risultati relativi alla nave oggetto dello studio risultano al di sotto dei limiti imposti dall'IMO e rientrano nella norma di tutte le navi matematicamente schematizzate.

Il rilievo delle profondità all'esterno dell'area portuale è stato effettuato sulla base della carta nautica della zona, mentre la profondità all'interno del bacino portuale e quella in prossimità dell'imboccatura è stata assunta, su indicazioni fornite dal committente, pari a 5.0 metri.

Le simulazioni delle manovre sono state eseguite dal pilota del porto di Viareggio Sig. Giuseppe Mazzella nei giorni 6 e 12 dicembre 2002. Il giorno 6 dicembre è stato utilizzato per definire le condizioni iniziali delle manovre di ingresso, familiarizzare il pilota col sistema di simulazione e affiatte la squadra operativa che era costituita, oltre che dal pilota, anche dal timoniere e dall'operatore alla stazione istruttore. Il primo aveva il compito, come del resto succede a bordo nella realtà quotidiana, di azionare, sulla base degli ordini impartiti dal pilota, il telegrafo di macchina e la ruota del timone, mentre il secondo doveva gestire le ancore ed i cavi di ormeggio, seguendo gli ordini del pilota. Per raggiungere gli obiettivi sopra citati sono state effettuate diverse simulazioni delle manovre di ingresso ed uscita ipotizzando anche situazioni meteomarine piuttosto impegnative associate ad una probabilità di evenienza di un giorno all'anno. In queste condizioni sia il vento, sia l'agitazione ondosa introducevano alterazioni nei moti orizzontali della nave non particolarmente elevate e comunque tali da poter essere controllate agendo opportunamente sugli organi di governo; mentre i fattori limitanti erano i moti verticali di beccheggio e sussulto della nave. Questi moti combinati insieme possono annullare il franco sotto chiglia, che nel caso considerato si riduce a 0.6 metri, mettendo ad alto grado di rischio la sicurezza dell'elica e del timone della nave.

Sulla base dell'esperienza maturata durante queste simulazioni preliminari e d'accordo col committente è stato deciso di:

- posizionare la nave nel punto di coordinate $43^{\circ} 52.265'$ Lat. Nord e $010^{\circ} 13.252'$ Long. Est (circa 0.7 miglia a NW della testa del molo sopraflutto), con una rotta iniziale pari a 090° ed una velocità iniziale di 4 nodi, corrispondenti a 71 RPM,
- condurre una manovra di solo ingresso in assenza di disturbi meteo marini al fine di valutare, per via comparativa, l'impatto che questi possono avere sulle difficoltà della manovra,
- effettuare una simulazione di manovre di ingresso, attracco in banchina ed uscita dal porto ipotizzando un vento proveniente da 240° con un'intensità di 15 nodi ed un mare proveniente dalla stessa direzione e caratterizzato da una altezza significativa di 1.0 metri ed un periodo medio di 8.0 secondi.

E' stata scelta la direzione di provenienza del mare in modo di avere un mare al traverso durante l'avvicinamento della nave all'imboccatura portuale, situazione questa ritenuta la più impegnativa dal punto di vista della manovra, mentre i valori di intensità del vento (15 nodi) e del mare (1.0 metri) sono associati alla probabilità di evenienza di circa 7 giorni all'anno e l'altezza d'onda considerata rappresenta il limite oltre il quale i conseguenti moti verticali della nave non garantirebbero la sua sicurezza. Per avere un maggiore impatto sulle difficoltà di manovra il valore del periodo del mare è stato scelto uguale a quello naturale del rollio (8.0 secondi) della nave allo studio che comunque è caratteristico di un mare in estinzione. Va inoltre sottolineato che è stato ipotizzato che lo stato di mare abbia una distribuzione spettrale del tipo Pierson-Moskowitz e che questa rimane inalterata nonostante il propagarsi del moto ondoso nell'area portuale a meno dell'introduzione di un coefficiente di attenuazione dell'altezza dell'onda, assunto funzione spaziale in accordo a quanto illustrato nello studio di penetrazione del moto ondoso all'interno delle aree portuali effettuato dalla DEAM S.r.l.. Nel modello di simulazione anche la direzione di provenienza del moto ondoso rimane inalterata, vengono cioè trascurati gli effetti della rifrazione e della diffrazione dell'onda all'interno del bacino portuale.

La figura 11 riporta la traiettoria seguita dal baricentro della nave durante la simulazione della manovra di ingresso eseguita in assenza di agenti esterni (manovra 1) e la silhouette della nave con una cadenza temporale di 240 secondi, per dare informazioni circa l'angolo di prora che essa ha avuto durante l'esecuzione della simulazione della manovra, mentre la figura 12 è un ingrandimento della figura precedente quando la nave entra nel bacino portuale. La silhouette della nave di colore verde rappresenta la nave nella posizione iniziale (figura 11) e la nave nella posizione finale (figura 12). Le figure successive riportano, in funzione del tempo, il numero dei giri dell'elica (figura 13), l'angolo di timone (figura 14), valori positivi indicano barra a dritta, e la velocità nave (figura 15) espressa in metri al secondo. Al proposito va notato che la rappresentazione grafica ha inizio dal nono minuto della manovra in quanto nei minuti precedenti non è stato dato alcun comando sugli organi di governo e propulsione, a meno dell'angolo di timone impostato a destra per fare accostare la nave.

Durante l'esecuzione di questa manovra il pilota ha adottato la seguente strategia: dopo aver accostato a dritta per presentarsi perpendicolarmente all'imboccatura portuale all'undicesimo minuto circa sono stati diminuiti i giri dell'elica e quando la nave ha raggiunto una velocità sufficientemente bassa (circa 2 nodi) ha dato fondo con l'ancora di dritta, quando la catena dell'ancora è andata in tiro la nave ha fatto perno su di essa ed ha incominciato a ruotare velocemente sulla dritta (fra il 16° e il 24° minuto) coadiuvata anche dall'esperta azione del pilota che agiva contemporaneamente sulla macchina e sul timone. Al 24° minuto circa, quando la nave ha presentato un'angolo di prora parallelo alla banchina di attracco, sono stati passati due cavi di ormeggio (traversino di prora sulla bitta N° 46, traversino di poppa sulla bitta N° 51) e da questo momento l'accosto in banchina è stato effettuato praticamente con il solo uso di questi apparati, come si può notare dalle figure 13 e 14.

Analoga rappresentazione è stata adottata nelle figure 16 e 17 per la manovra 2 e cioè una manovra di ingresso, condotta in presenza di onde (altezza significativa 1.0 metri, periodo medio 8.0 secondi, direzione di provenienza 240°) e vento (intensità 15 nodi, direzione di provenienza 240°). Per questa manovra le figure 18, 19 riportano, con le stesse modalità delle figure precedenti, le storie temporali degli ordini impartiti dal pilota agli organi di propulsione (giri elica) e di governo (angolo di timone) e la conseguente risposta della nave in termini di velocità (figura 20).

Come si può notare la strategia di manovra è praticamente identica alla precedente a parte due aspetti: una più elevata azione del timone e un leggero anticipo del tempo per dare fondo. La prima si è verificata per contrastare l'azione del vento e ridurre l'orzata della nave, si ricordi che la nave schematizzata presentava il castello a poppa, il secondo si è avuto per evitare lo scarroccio sulla sinistra della nave quando essa aveva una velocità ridotta e conseguentemente risentiva maggiormente dell'azione del vento. Questo anticipo ha fatto ruotare la nave fra il 14° e il 20° minuto, quando essa si trovava rispetto alla manovra precedente in una zona più esterna del bacino di evoluzione, ed ha fatto avvicinare maggiormente la poppa al molo sottoflutto, rimanendo comunque in un tollerabile margine di sicurezza.

La manovra di uscita dal porto (manovra 3), condotta durante l'esecuzione della stessa simulazione della manovra 2, è stata effettuata nelle stesse condizioni meteo marine ed i risultati ottenuti vengono proposti nella figura 21 che riporta nel piano orizzontale la rotta seguita dal baricentro nave e nelle figure 22, 23 e 24 che illustrano l'andamento temporale delle solite tre grandezze (rispettivamente giri elica, angolo timone, velocità nave).

La manovra ha avuto inizio mettendo in bando i due cavi di ormeggio fissati alle bitte N° 46 e 51, salpando di poi l'ancora di dritta, la cui catena, azionata dal vericello, trasmetteva alla nave una forza orizzontale, causa del repentino incremento della velocità nave al 34° minuto (la manovra ha avuto inizio al 32° minuto), come si può notare dall'andamento temporale di figura 24. L'azione dell'ancora ha prodotto anche una forza trasversale ed un momento sulla nave i quali hanno causato uno scostamento laterale dalla banchina ed una leggera rotazione verso destra, portando la nave nella posizione ideale per la messa in funzione dell'elica che è avvenuta al 38° minuto ed ha fatto accelerare la nave fino al raggiungimento della velocità impostata di 9 nodi corrispondente ad una

velocità di rotazione dell'elica pari a 250 giri al minuto. Si notino al proposito le oscillazioni della velocità nave indotte dal moto ondoso, le quali aumentano man mano che la nave raggiunge il mare aperto.

4. ANALISI DEI RISULTATI E CONSIDERAZIONI FINALI

Dall'analisi delle registrazioni delle manovre effettuate e sulla base delle indicazioni fornite dal pilota Sig. Giuseppe Mazzella si può affermare che per le manovre condotte nella configurazione portuale proposta dal Piano Regolatore Portuale non esistono problemi, anche se le condizioni meteo marine ipotizzate rendono più impegnative le manovre proprio nella fase di imboccatura del porto, quando la nave ha velocità ridotta. Si ritiene comunque ipotizzabile l'ingresso in porto con una velocità più elevata per evitare gli effetti di deriva e scarroccio provocati dalle condizioni eoliche e ridurre i giri elica all'interno del bacino di evoluzione che a nostro avviso risulta avere dimensioni sufficienti a garantire una simile manovra con ampio grado di sicurezza anche alla luce degli elevati tempi e spazi di arresto che questa nave presenta rispetto ai valori medi, si vedano al proposito le figure 2 e 3.

5. RINGRAZIAMENTI

Si vuole in questa sede rivolgere un particolare ringraziamento al pilota del porto di Viareggio Sig. Giuseppe Mazzella che, oltre a condurre le manovre di ingresso ed uscita con alto grado di professionalità, ha fornito con i suoi consigli e suggerimenti un valido contributo affinché lo studio fosse condotto riproducendo le simulazioni proposte nella maniera più rispondente al reale possibile.

6. BIBLIOGRAFIA

1. S.N.A.M.E., "Principles of Naval Architecture," Vol. 3, 1989.
2. Clarke, D., Gedling, P., Hine, G., "The Application of Manoeuvring Criteria in Hull Design Using Linear Theory," TRINA 1982, Vol. 125, pp. 45-68.
3. Inoue, S., Hirano, M., Kijima, K., "Hydrodynamic Derivatives on Ship Manoeuvring," I.S.P., Vol. 28, May 1981, N° 321, pp.112-125.
4. Sheng. Z. Y., Contribution to the Discussion of the Manoeuvrability Committee Report, Proceedings of 16th ITTC, Leningrad, 1981.
5. Tang, Z., Shi. L., "Wind Coefficients for Fifteen Ship Models

6. Aage, C., "Wind Coefficients for Nine Ship Models", Hydro and Aerodynamics Laboratory Report N.A-3, May 1971.
7. Hirano M., Takashima J., "Ship Turning Trajectory in Regular Waves", Proceedings of 16th ITTC, Leningrad, 1981.
8. Moskowitz L., Pierson W. J., Mehr E., "A Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas Based on the Similarity Theory of S. A. Kitaigorodskii", Technical Report for U.S. Naval Oceanographic Office, New York University
9. Van Lammeren W. P.A., van Manen J. D. and Oosterveld M. W. C., "The Wageningen B-Screw Series" SNAME Annual Meeting New York November 1969.
10. Gutsche, F "Die Induktion der axialen Strahlzusatzgeschwindigkeit in der Umgebung der Schraubenebene" Schiffstechnik vol. 3 pp. 31 - 33 1955
11. Oltmann P. and Sharma S. D. "Simulation of Combined Engine and Rudder Maneuvers Using an Improved Model of Hull-Propeller-Rudder Interactions" Fifteenth ONR Symposium on Naval Hydrodynamics Hamburg 3 - 7 september 1984
12. IMO (International Maritime Organization) "Interim Standards for Ship Manoeuvrability", Resolution A.75(18) 1993
13. IMO (International Maritime Organization) "Explanatory Notes to the Interim Standards for Ship Manoeuvrability", Circular MSC/Circ.644, 1994
14. Chilò B., Della Loggia B., Deutsch C., Routin M. "Ship Manoeuvrability and Human Factors", Proceedings of "Organized Aids to Safe Maritime Traffic In Mediterranean Areas" Naples, October 1984



Figura 1

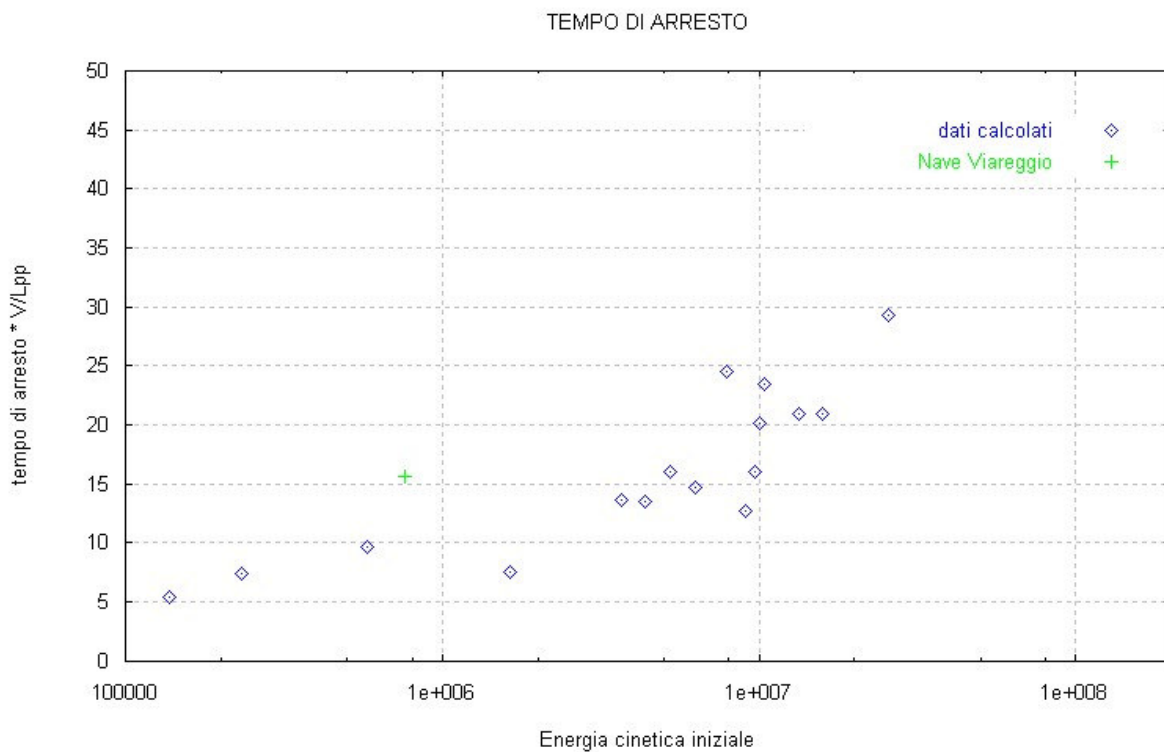


Figura 2

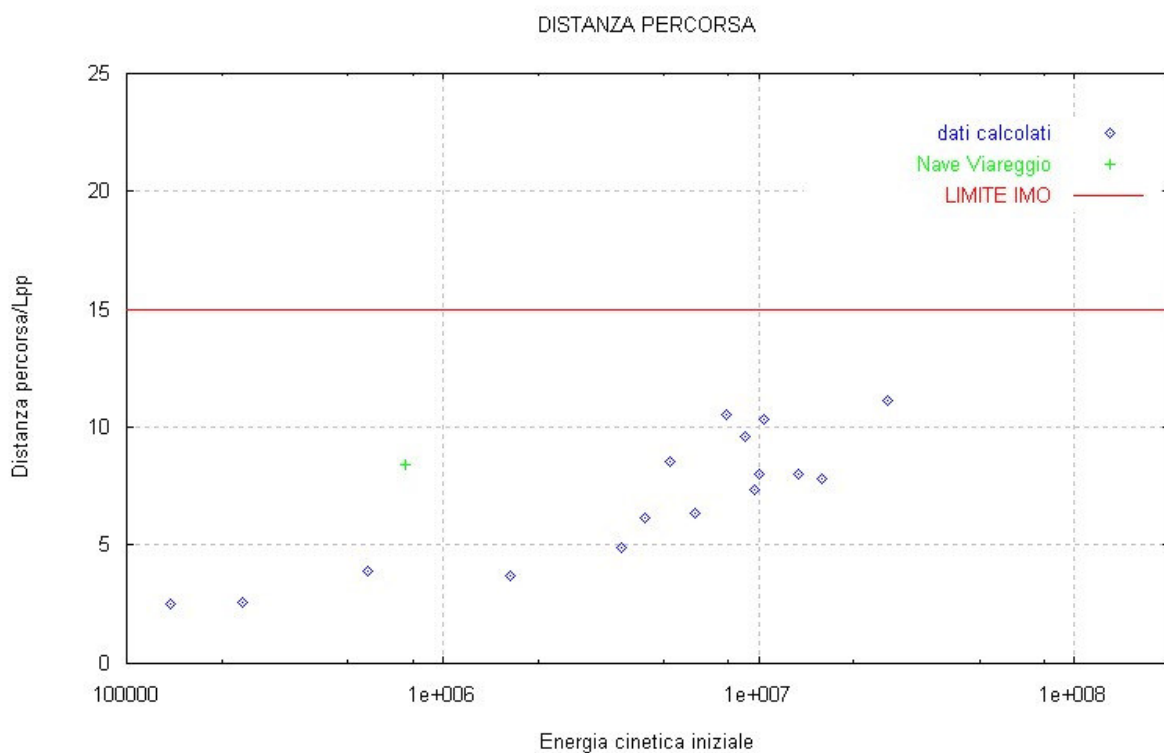


Figura 3

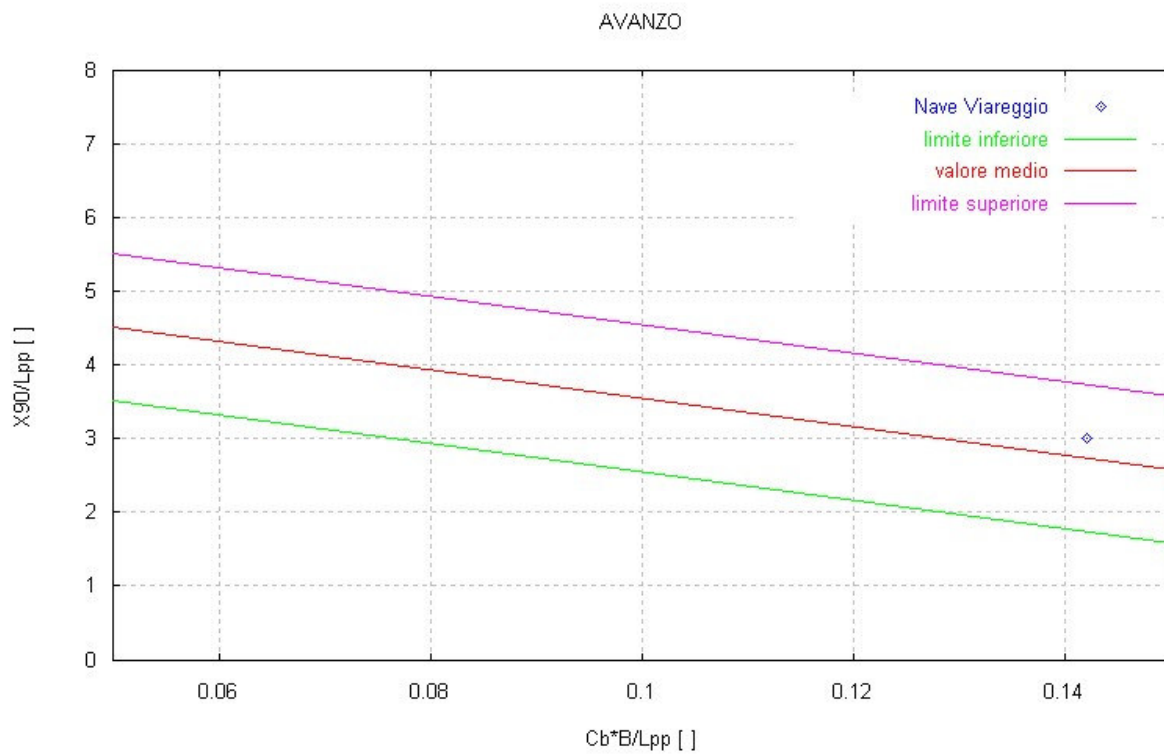


Figura 4

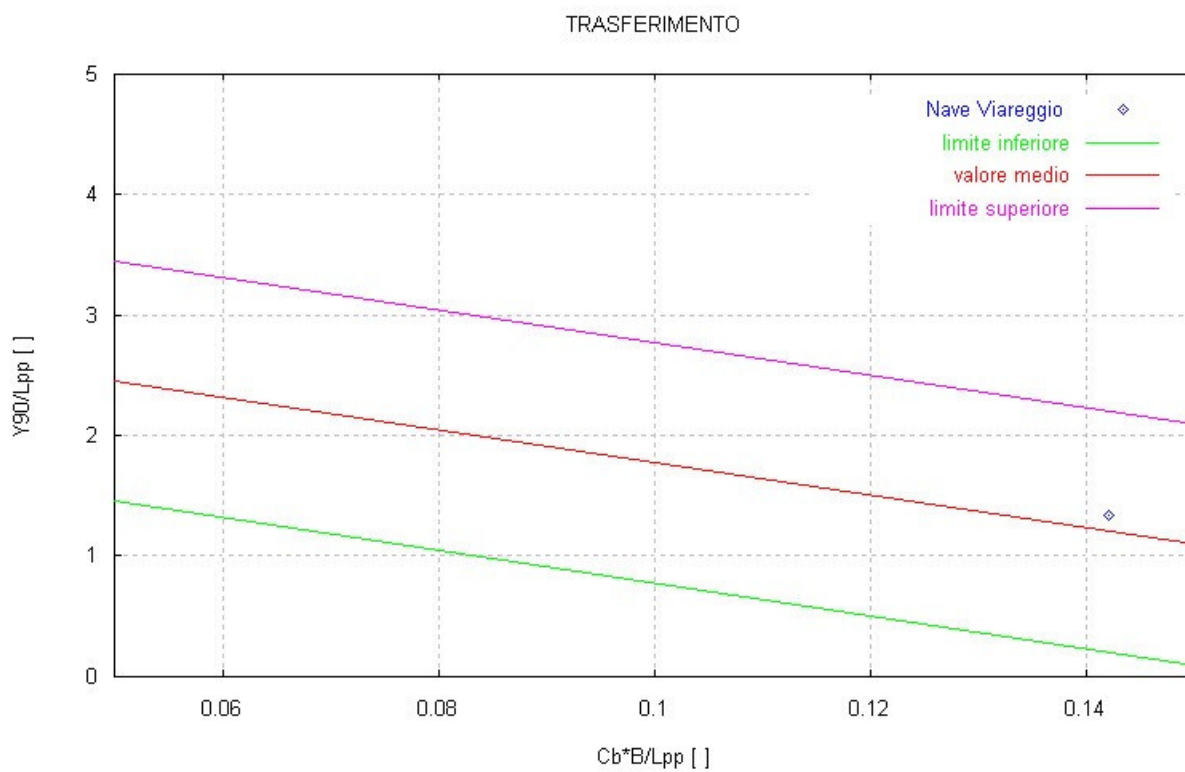


Figure 5

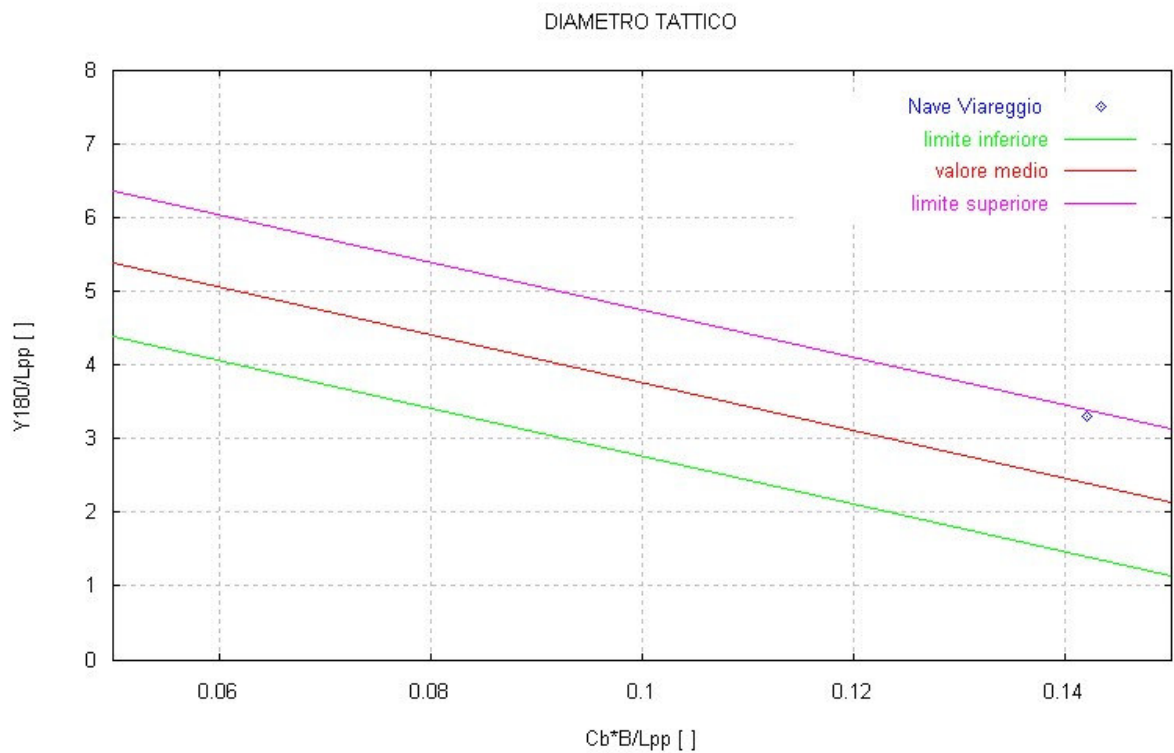


Figura 6

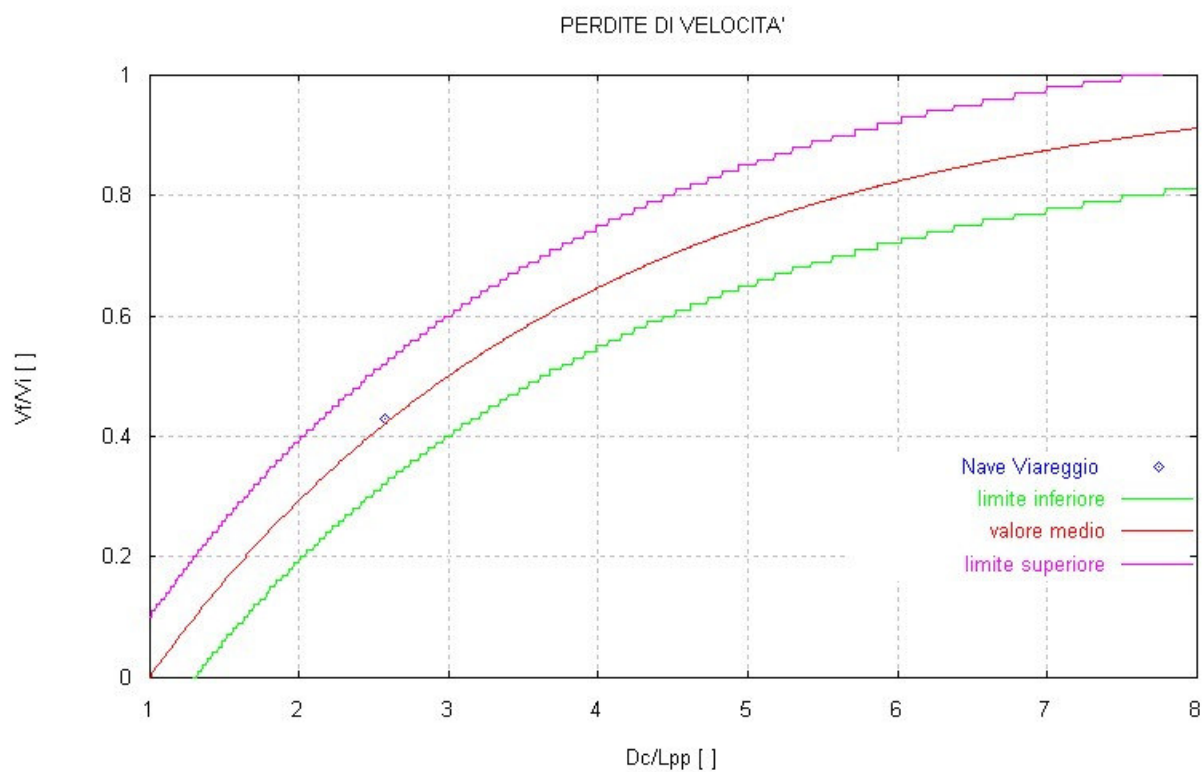


Figura 7

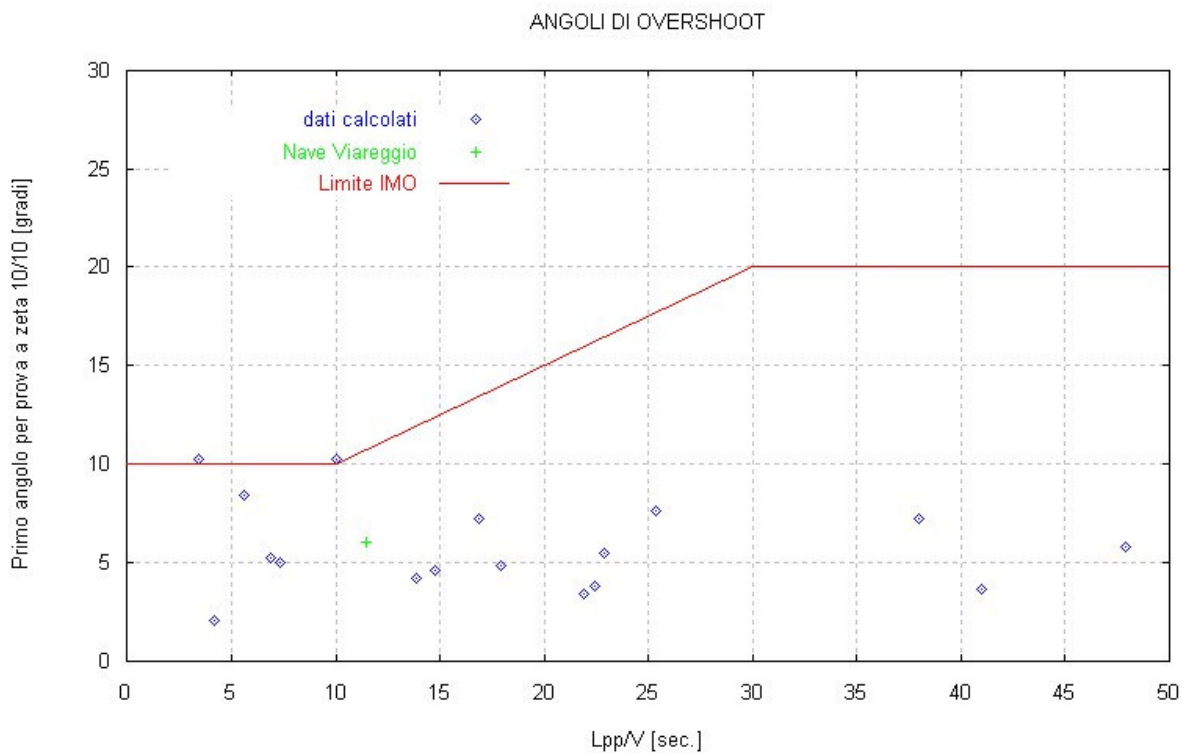


Figura 8

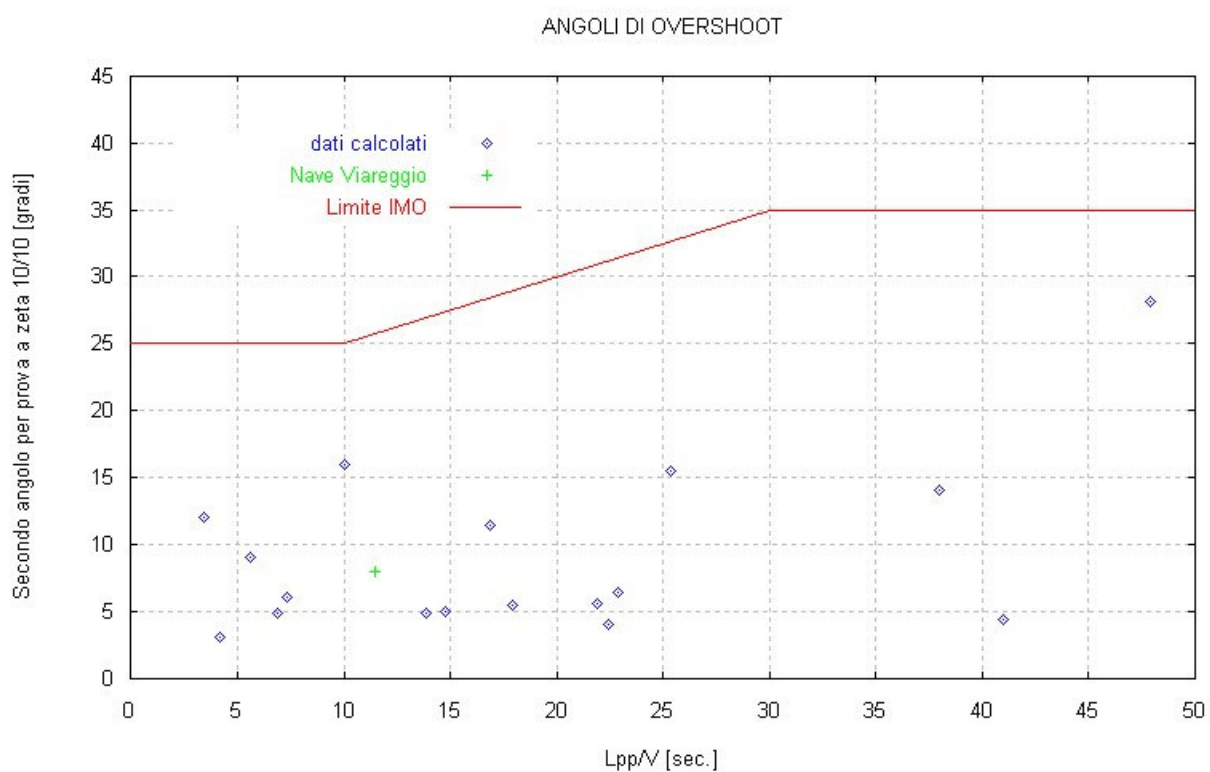


Figura 9

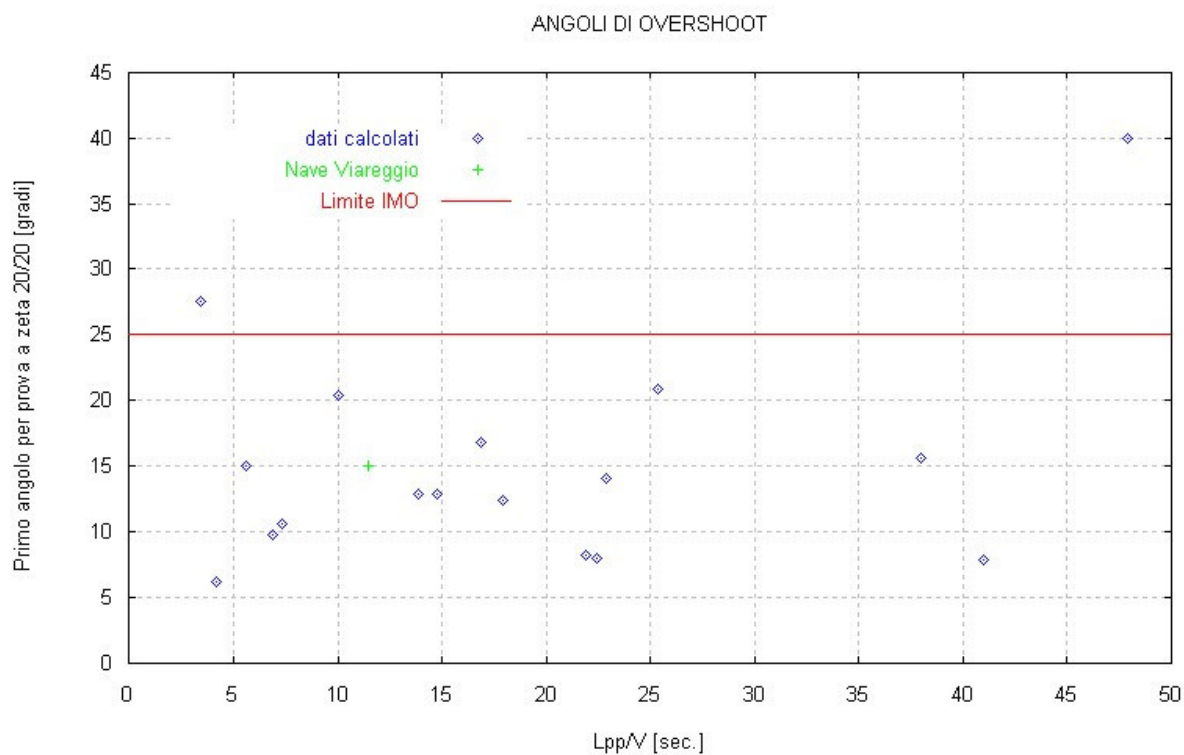
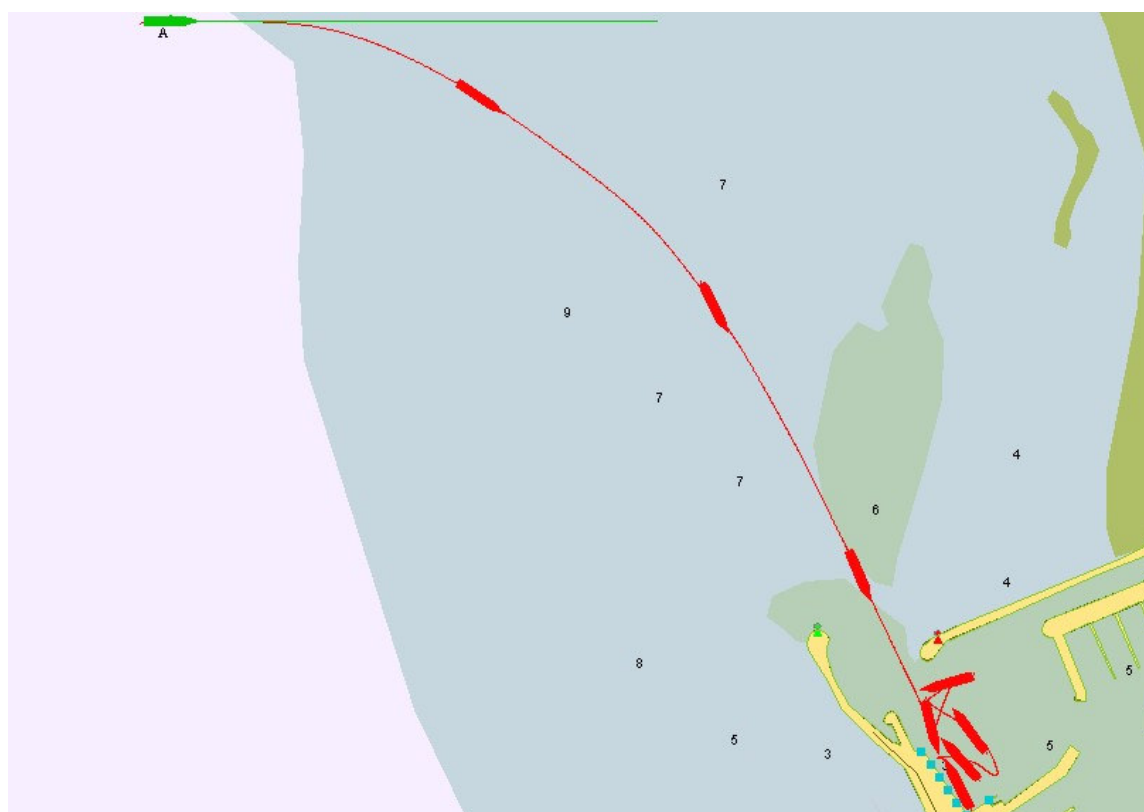
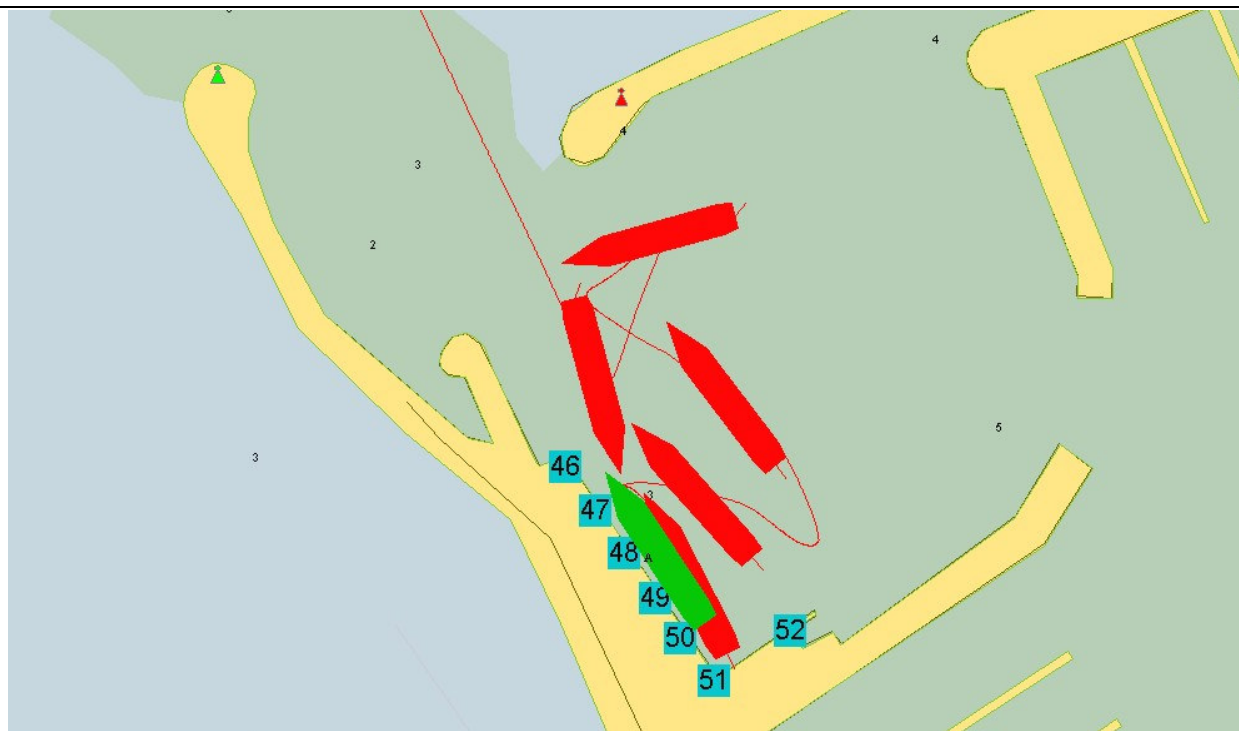


Figura 10



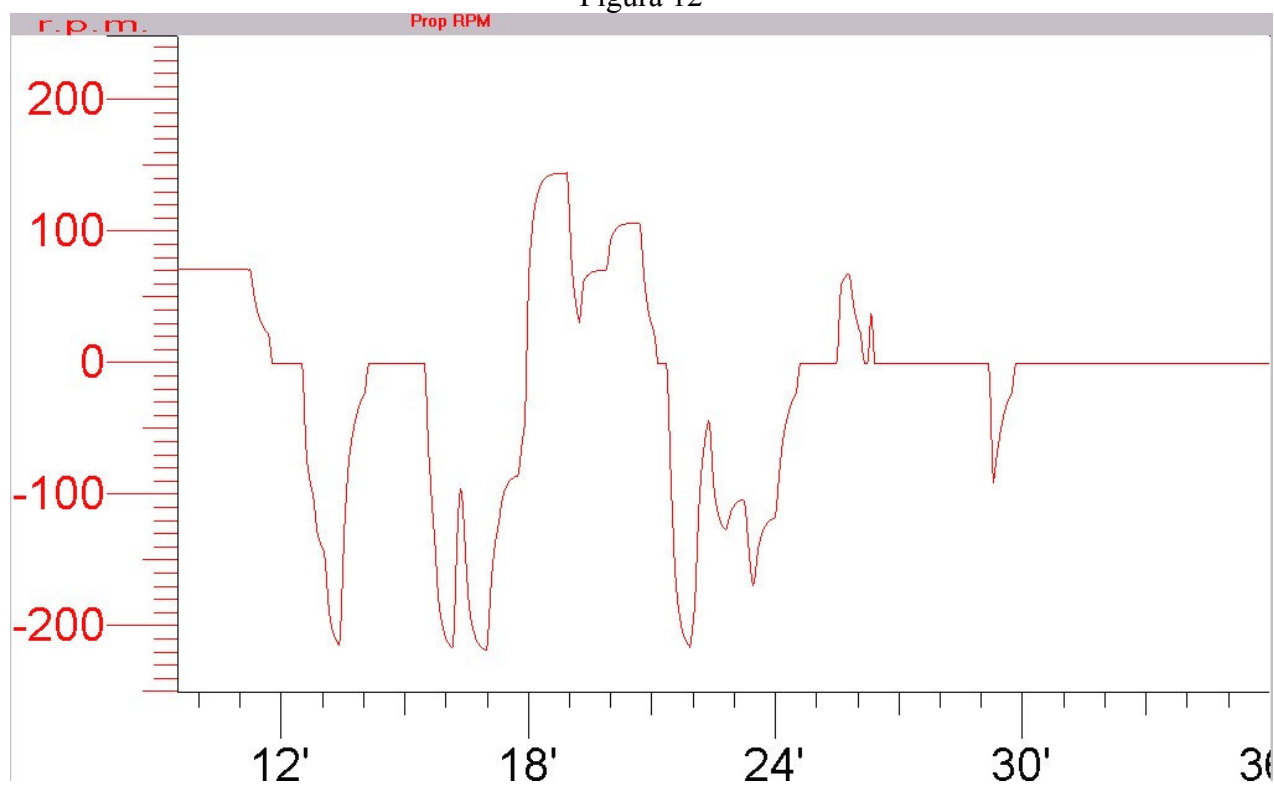
Manovra 1

Figura 11



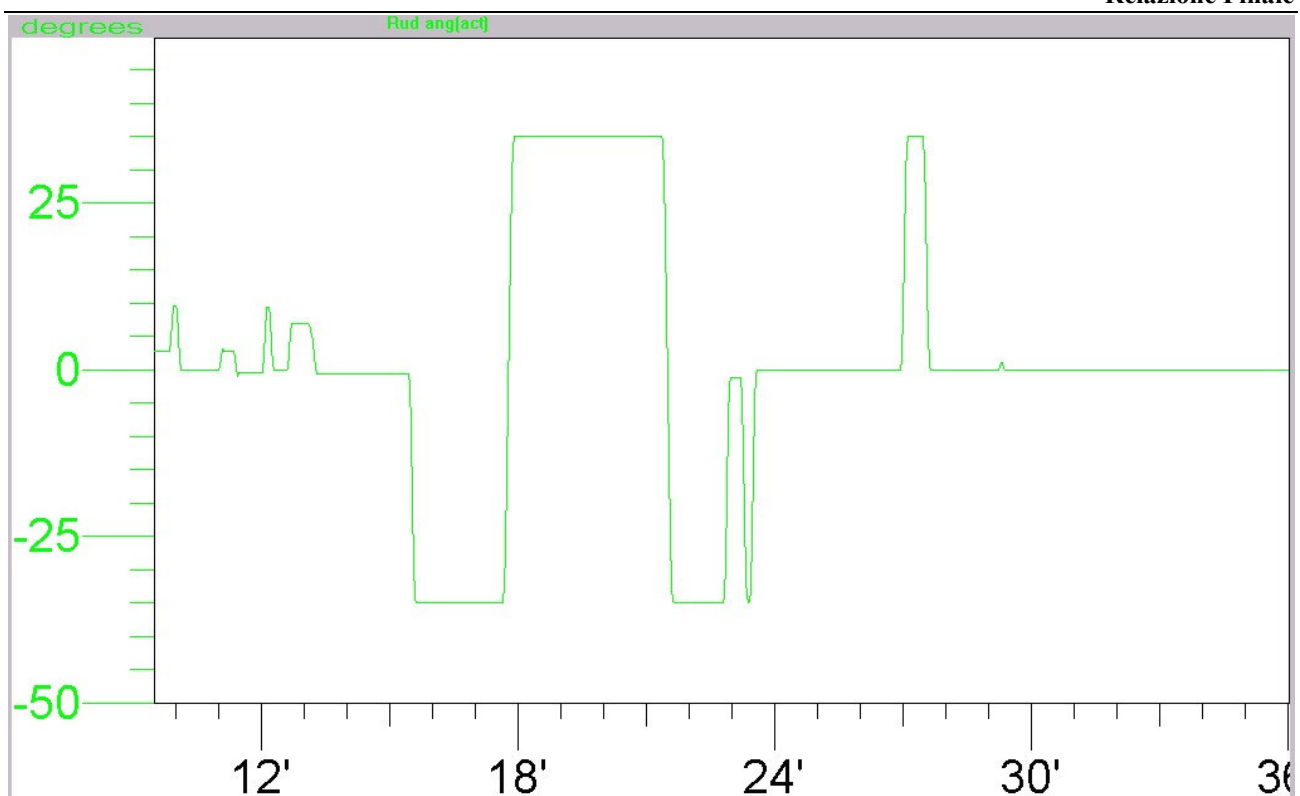
Manovra 1

Figura 12



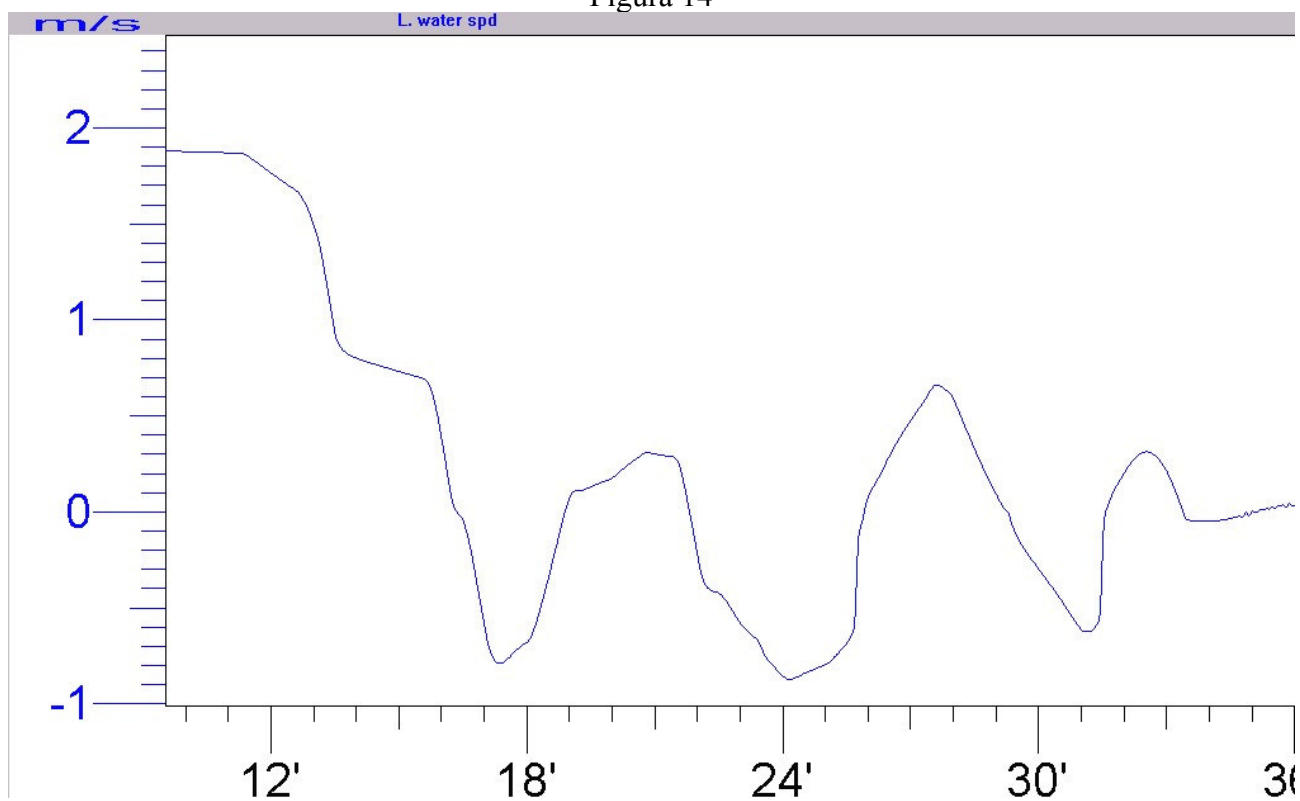
Manovra 1

Figura 13



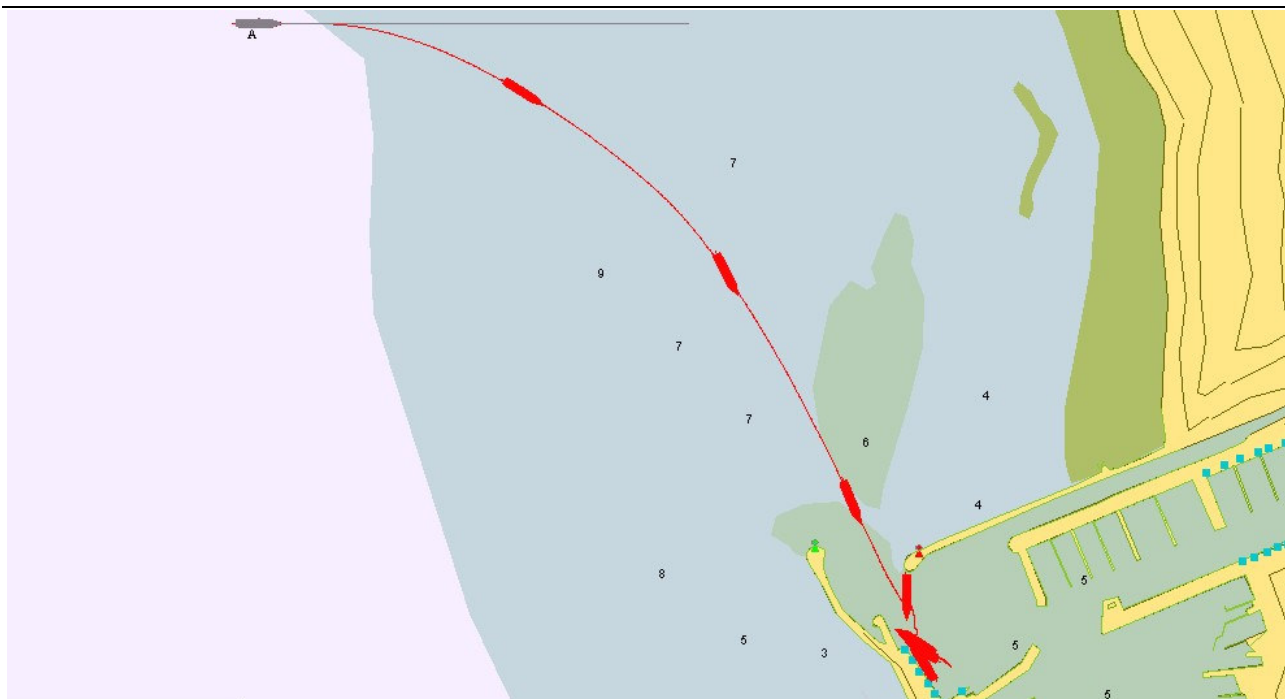
Manovra 1

Figura 14

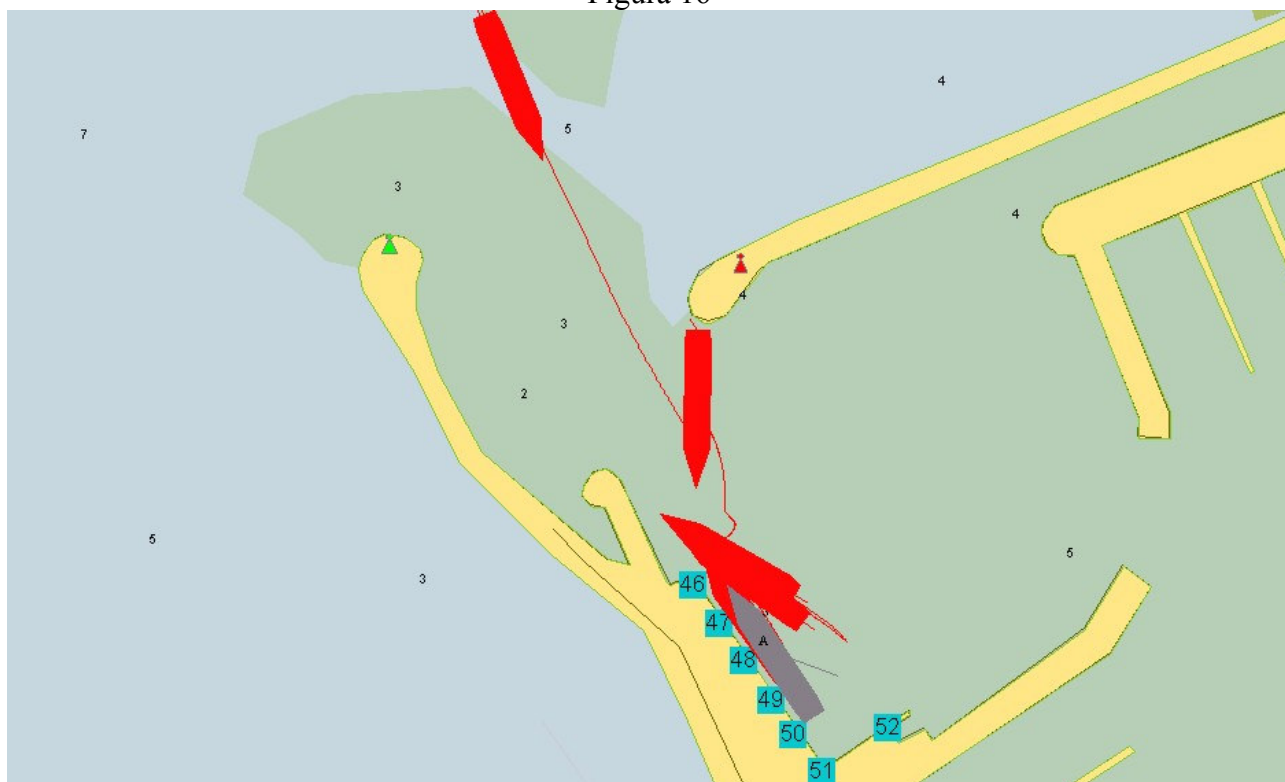


Manovra 1

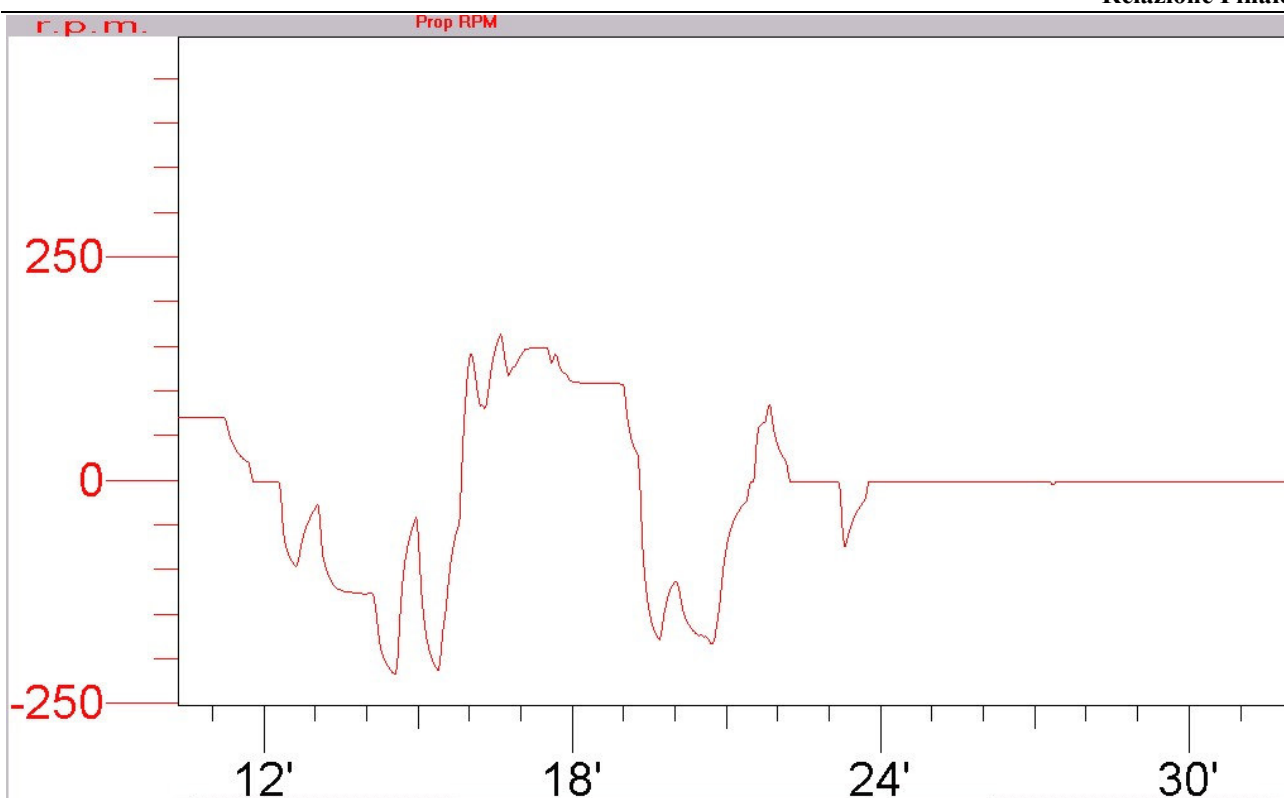
Figura 15



Manovra 2
Figura 16

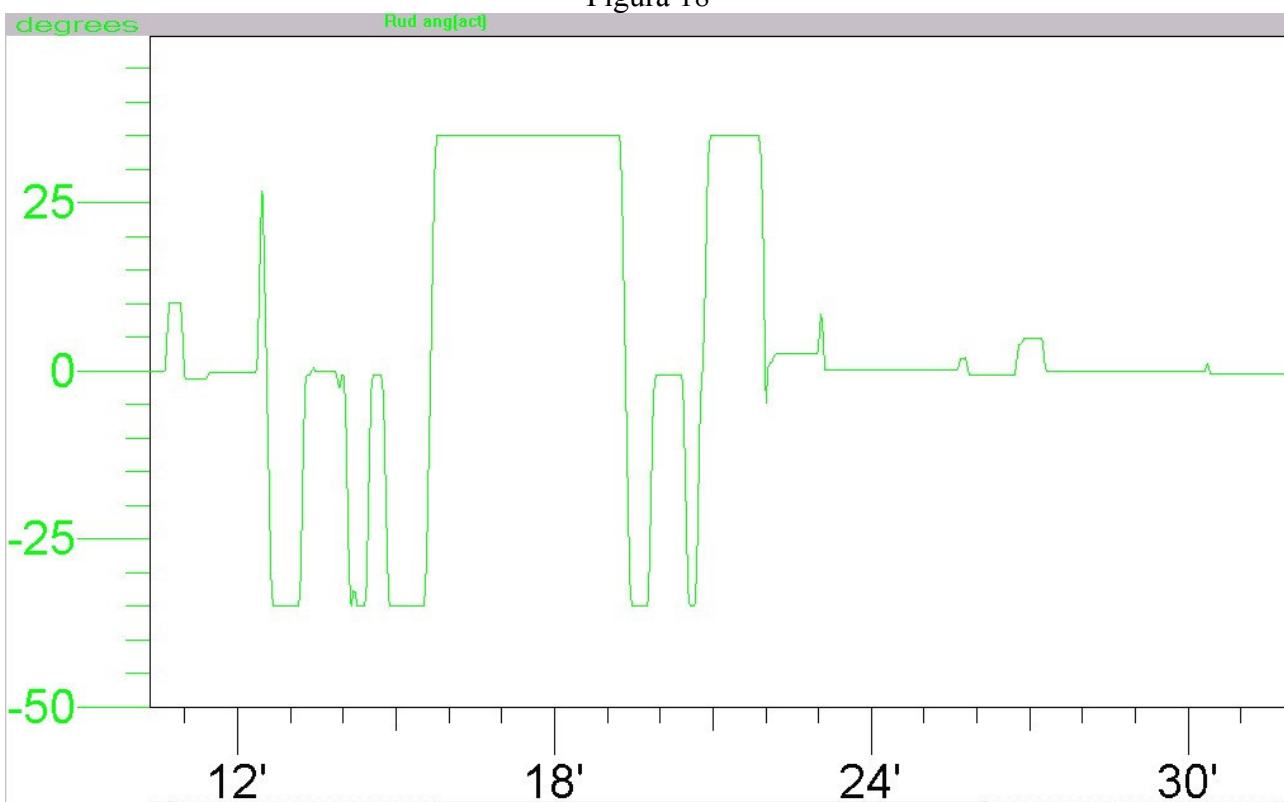


Manovra 2
Figura 17



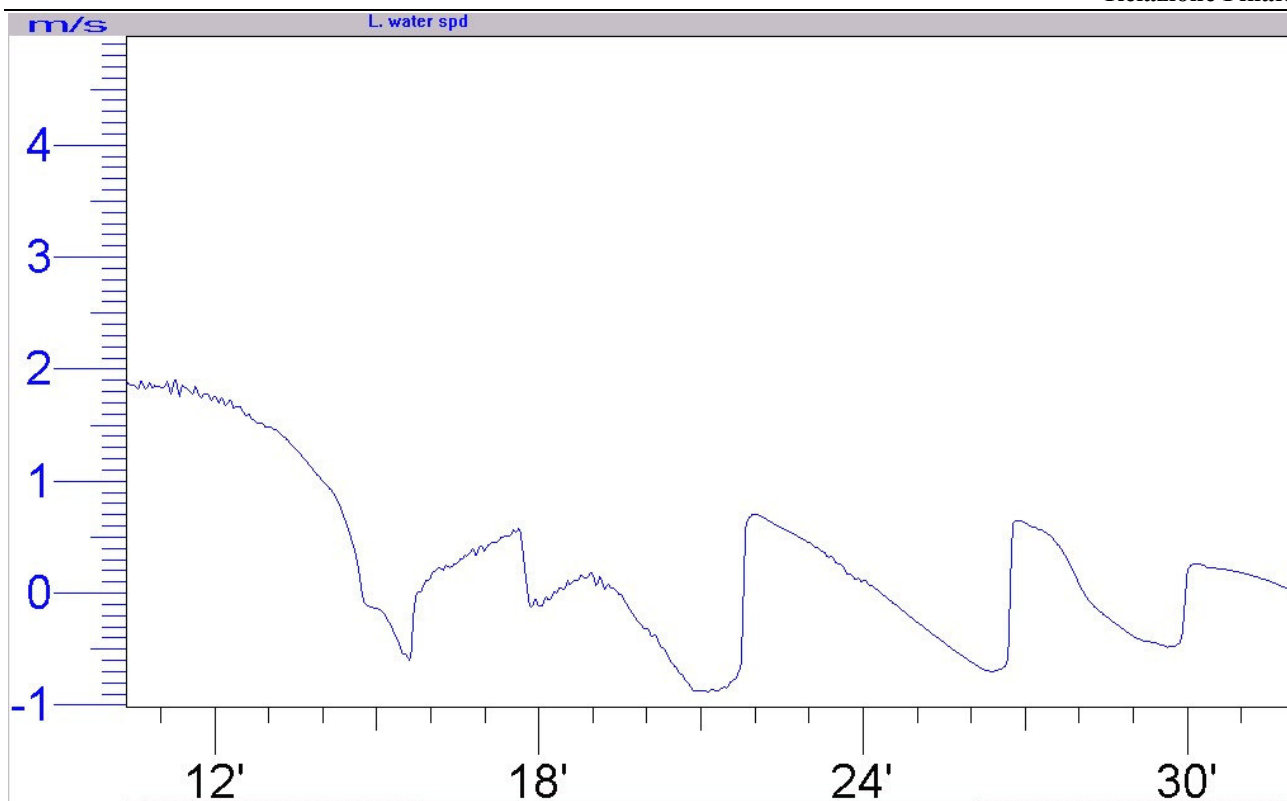
Manovra 2

Figura 18



Manovra 2

Figura 19



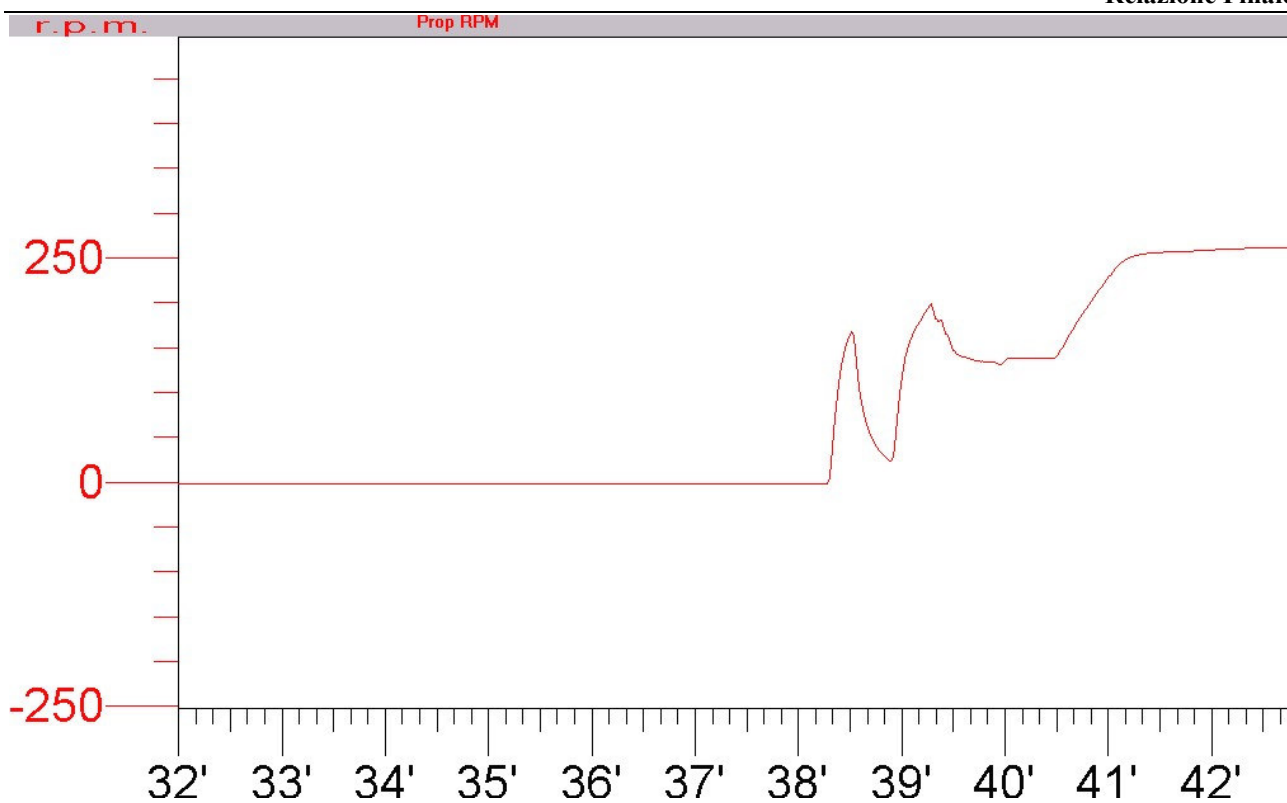
Manovra 2

Figura 20



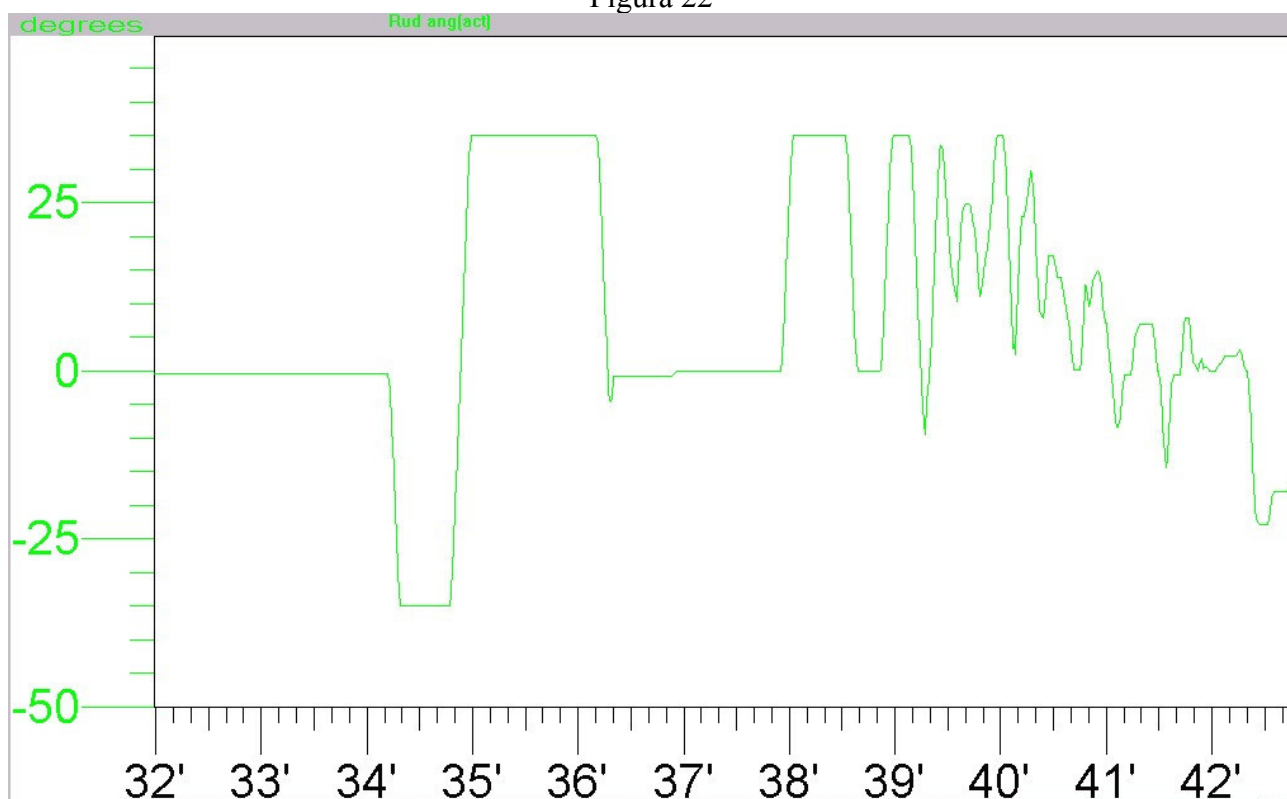
Manovra 3

Figura 21



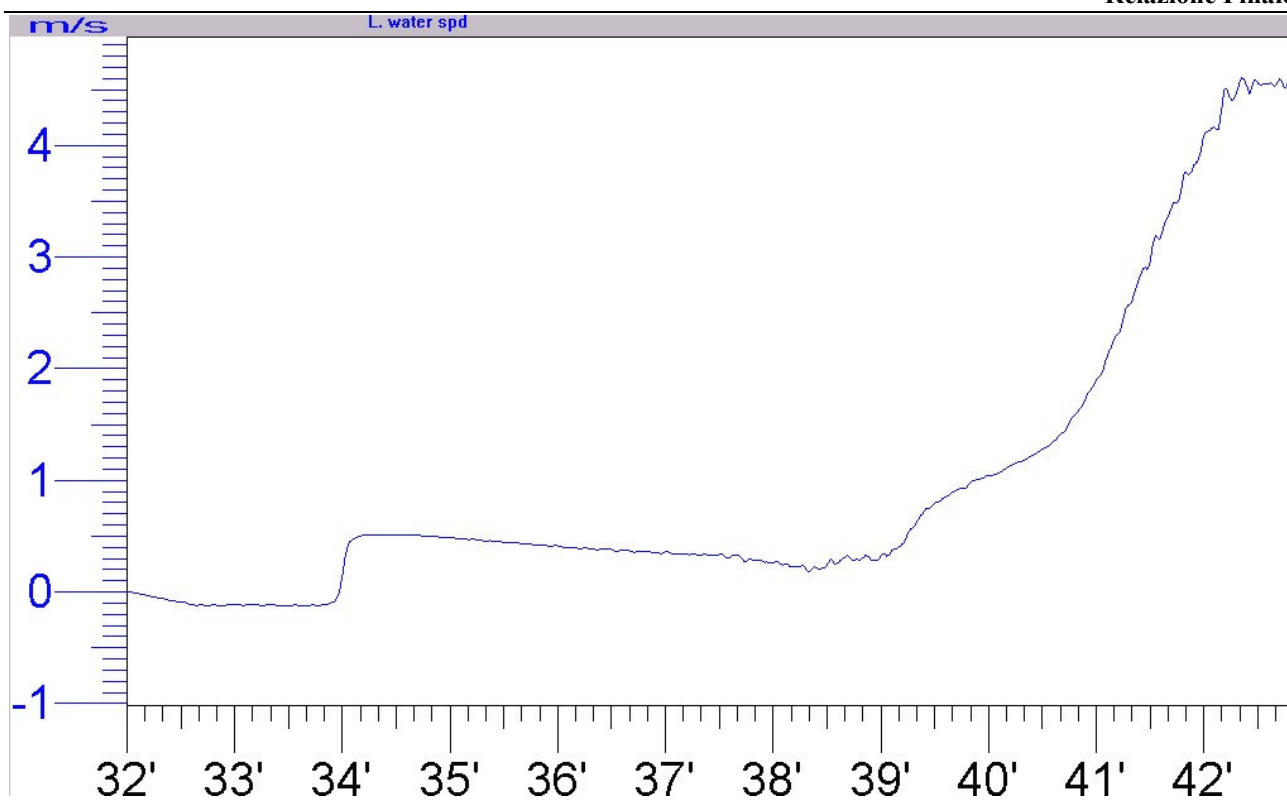
Manovra 3

Figura 22



Manovra 3

Figura 23



Manovra 3

Figura 24