



Autorità Portuale di Venezia



**Studio sugli effetti provocati dal moto ondoso generato da
natanti nel Canale della Giudecca, nel Bacino di San Marco
e nei canali minori di Venezia**

RELAZIONE DI SINTESI

febbraio 2003

PROTECNO

Direttori tecnici: Prof. Ing. Attilio Adami
Dott. Ing. Giannarturo Comola
Collaboratore: Dott. Ing. Alberta Venuti

***Studio sugli effetti provocati dal moto ondoso generato da natanti
nel Canale della Giudecca, nel Bacino di San Marco e nei canali
minori di Venezia***

Nota di sintesi

1. Premessa

Negli ultimi anni nel campo della navigazione da crociera si sono affermate delle navi di grande tonnellaggio dall'aspetto del tutto originale. Si tratta di navi molto lunghe, oltre i 250 m, con un pescaggio di circa 8 m, che è notevole ma non eccezionale, con un'opera morta davvero fuori del tradizionale, dato che porta 4 e più ponti, presentando in tal modo un aspetto fuori dell'ordinario.

Tali nuove navi da crociera fanno scalo anche a Venezia, attraccando alla Stazione Marittima sita in Canale della Giudecca; per accedervi le navi percorrono la Bocca di Lido, il Canale di San Nicolò, il Bacino San Marco e il citato Canale della Giudecca. Lo stesso percorso, all'inverso ovviamente, è seguito nel lasciare il porto.

L'aspetto davvero imponente di tali navi ha impressionato la pubblica opinione veneziana che teme che il loro transito possa essere incompatibile con la struttura urbana degli specchi d'acqua attraversati.

Da qui e anche per alcuni inconvenienti di navigazione lamentati da qualche persona è nata una sorta di avversione per queste navi e da parte di qualcuno si è giunti ad invocare l'inibizione del loro accesso al porto.

L'Autorità portuale, preoccupata per tale stato di cose, ha preso l'iniziativa di verificare quali siano i reali aspetti della questione e ha dato l'incarico allo scrivente con la società Protecno di verificare mediante misure dirette l'entità dei disturbi provocati dalle navi nelle zone più delicate, individuate nelle fondamenta dei giardini, in bacino San Marco e all'interno del Canale della Giudecca.

E' stata svolta una prima campagna di misure durante la quale si è eseguito il rilievo del moto ondoso in tre punti delle citate zone.

Successivamente, si è proceduto ad una seconda campagna di misure che aveva lo scopo di verificare gli effetti del passaggio delle navi nei canali minori che sboccano nelle citate zone e che è consistita nel rilievo del livello del pelo libero e della velocità della corrente nella sezione iniziale di tre di questi canali. Per ogni campagna è stata redatta una relazione dettagliata, la prima in data luglio 2000 e la seconda in data novembre 2002.

La presente nota vuole dare un'illustrazione sintetica del lavoro svolto, in modo da descriverne i risultati in modo agevole e senza costringere ad una lettura a volte troppo tecnica e forse noiosa.

Va da sé che per i dettagli si rimanda alle relazioni

2. Esame qualitativo del problema.

E' noto che un natante nel suo moto provoca una deformazione della superficie dell'acqua su cui si muove. In particolare, se si osserva la quota dell'acqua lungo la carena, si nota una sopraelevazione a prua, una depressione lungo la fiancata e una nuova sopraelevazione a poppa dello scafo, come illustrato qualitativamente in fig. 1 e 2.

Le intumescenze a prua e a poppa danno origine ciascuna ad un treno d'onde che si propagano solidalmente alla nave, assumendo lunghezza d'onda tale che la loro velocità sia pari a quella del natante. L'altezza delle onde dipendono essenzialmente dalla forma della carena e dalla velocità del natante rispetto all'acqua. Si fa notare che questo moto ondoso dissipa poca energia per cui, di solito, è capace di propagarsi a lungo nel tempo e nello spazio.

Se il natante naviga in vicinanza di pareti verticali, il processo appena descritto viene complicato dal fatto che i treni d'onda di poppa e di prua vengono riflessi dal contorno; quindi nello specchio d'acqua, dopo il passaggio del natante, può rimanere un moto ondoso residuo dalle caratteristiche anche complesse.

Se, inoltre, il natante si sposta in acque ristrette, cioè la sezione trasversale della carena è dello stesso ordine di grandezza della sezione del canale, a quanto descritto si aggiunge l'ulteriore complicazione che la citata depressione della superficie libera lungo la fiancata interessa tutta la sezione del canale, arrivando fino alla sua sponda. L'entità della depressione dipende dal rapporto tra sezione di carena e quella del canale e dalla velocità del natante rispetto all'acqua; la sua permanenza del tempo in una sezione è collegata al tempo impiegato dal natante a transitare nella sezione stessa.

Se, infine, dallo specchio d'acqua in cui si sposta il natante si dipartono dei canali di sezione ristretta, questi possono essere interessati dal fenomeno in esame; di norma le onde di prua e di poppa non riescono a penetrare in profondità nel canale, ma la citata depressione della superficie libera penetra in esso e genera un'onda negativa, che rientra nel campo delle onde aperiodiche che si possono registrare nei corsi d'acqua.

Venendo alle condizioni effettive in cui si sono svolte le prove, si deve osservare che il Bacino San Marco e il Canale della Giudecca sono percorsi quotidianamente da un numero davvero elevatissimo di natanti delle specie più diverse: vi sono le imbarcazioni di pochi metri con motori fuoribordo, i topi per il trasporto di merci, i motoscafi dell'ACTV, i Ferries per il Lido, le motonavi e i lanciazioni per le escursioni in laguna ed infine le navi delle linee di navigazione e di crociera.

Se si tiene anche presente che le fondamenta in entrambe le zone sono a parete verticale e quindi ben riflettenti il moto ondoso, si comprende facilmente il perché questi specchi d'acqua presentino praticamente sempre un'agitazione ondosa assai pronunciata e visibile. Dato che il più delle volte non è possibile collegare

all'onda il natante che l'ha generata, questo moto ondoso può essere definito come un "rumore di fondo" che è stato sempre presente nelle registrazioni effettuate.

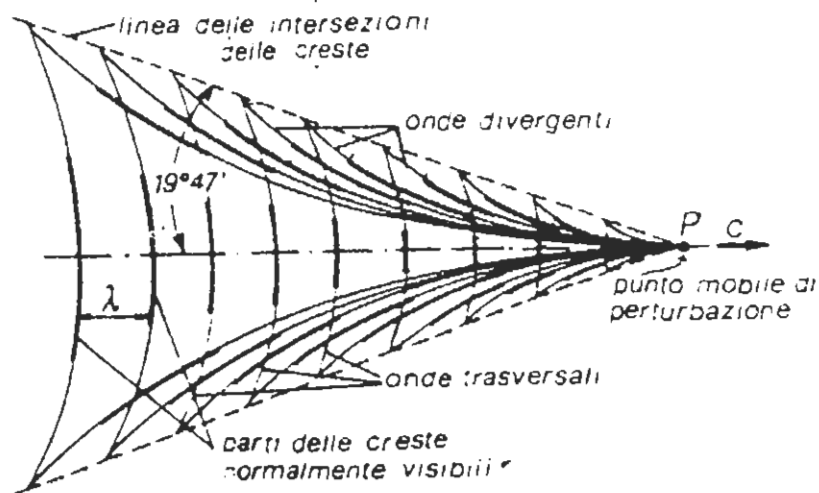


Figura 1 Punto mobile della superficie libera.

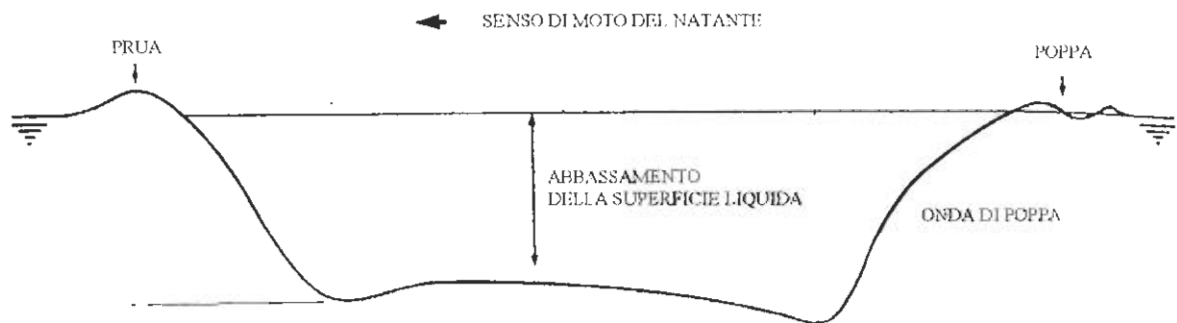


Figura 2 Profilo qualitativo del pelo libero dell'acqua modificato dal transito di un natante.

3. La prima campagna di misure.

Le misure si sono svolte nel mese di giugno 1999, in concomitanza degli arrivi e delle partenze delle navi di maggiore dislocamento, il cui orario veniva comunicato dall'Autorità portuale, e sono consistite nel rilievo del moto ondoso della superficie libera dell'acqua contigua al marginamento in due punti ritenuti rappresentativi di tutti i casi possibili: uno è in Bacino San Marco, in un punto vicino alla rotta seguita dalle navi, il secondo all'interno del Canale della Giudecca, presso un pontile in legno ubicato di fronte alla sede dell'Autorità Portuale, nel sestriere Dorsoduro.

Lo strumento impiegato era una sonda elettronica dal funzionamento particolarmente accurato e affidabile.

Per ogni passaggio di nave è stata redatta una scheda che fornisce i dettagli tecnici dei risultati ottenuti. In totale sono stati registrati 22 passaggi di navi.

Il risultato più evidente delle prove è stato che le onde provocate dalle grosse navi sono assolutamente indistinguibili dal "rumore di fondo" delle onde presente nell'acqua. Al contrario, si è potuto vedere chiaramente come dal rumore di fondo emergessero le onde provocate dal passaggio di natanti di minore dislocamento, come alcuni mezzi ACTV, quella della polizia e alcuni adibiti al trasporto di merci.

Nelle registrazioni effettuate, l'operatore ha annotato, quando possibile, il tipo di natante che passava.

Le schede numero 6 e numero 10, mostrano il grafico ottenuto in due passaggi registrati: in uno oltre alla nave di grosso tonnellaggio non vi è stato alcun passaggio distintivo di natante; nel secondo sono indicati i passaggi registrati.

Il motivo per cui qualche natante di modeste dimensioni provoca un notevole moto ondoso deriva dalla maggiore velocità del mezzo, ma anche forse per la forma poco "ottimizzata" della carena.

Al contrario, le misure hanno mostrato che le navi di grandi dimensioni, per le quali vengono svolti in fase di progetto studi accurati per minimizzare la resistenza d'onda, hanno carene ben profilate. Si deve anche riconoscere che la velocità di spostamento è molto bassa, giustificata dalla necessaria prudenza che devono avere i piloti dato l'ingombro del mezzo.

La conclusione cui portano le misure eseguite è che le grandi navi che attraccano alla Stazione Marittima non modificano in modo apprezzabile il moto ondoso di per sé rilevante che attualmente è presente negli specchi d'acqua esaminati, per cui non vi è alcun maggior pericolo per la stabilità delle fondamenta adiacenti.

Le misure hanno rivelato un altro fenomeno, per altro atteso: si vede che al passaggio della nave di grande tonnellaggio si verifica un abbassamento del pelo libero che, in dipendenza delle caratteristiche del passaggio, si è mostrato variare da alcuni centimetri a 18 centimetri. Come detto, l'effetto era ampiamente atteso e la relazione che illustra le misure si limita a indicarlo. D'altra parte, la variazione percentuale della sezione del canale per effetto di tale abbassamento è di qualche

unità percentuale, e perciò i suoi effetti sulle velocità della corrente, sono da ritenersi trascurabili.

SCHEDA NUMERO 6

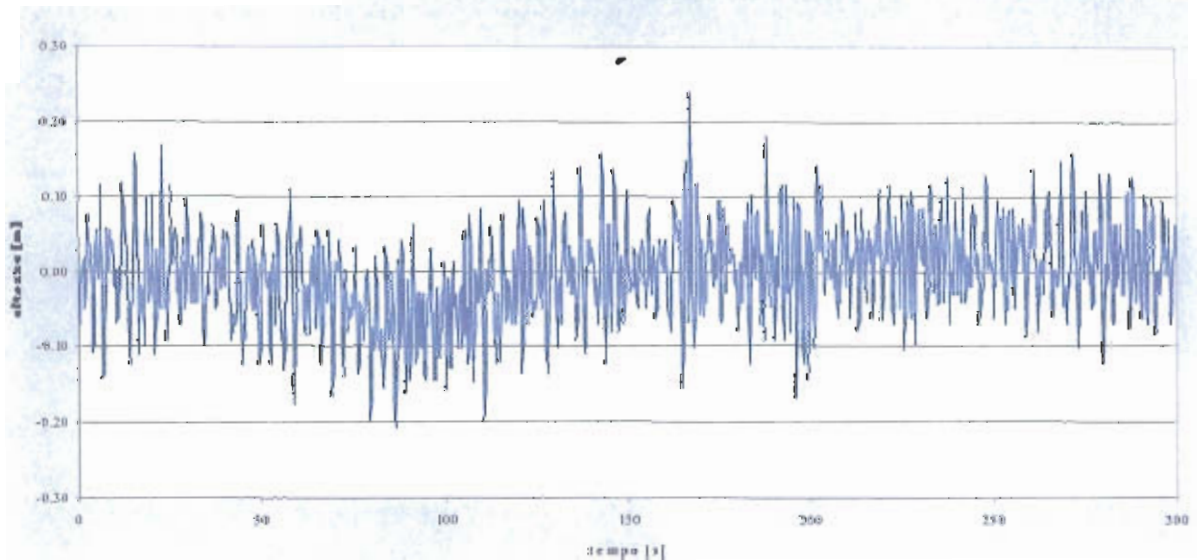
Estratta dallo "Studio sugli effetti provocati dal moto ondoso generato da natanti sulle rive del canale della Giudecca e del Bacino di S. Marco" – luglio 2000.

Nome nave: **MISTRAL**
Lunghezza: 216m
Larghezza: 29m
Pescaggio: 7.01m
Stazza netta: 24096t
Stazza lorda: 47275t

Data e ora del rilievo: 10/6/2000
8.00
Luogo del rilievo: Giudecca
Tracciato acquisito:



RILIEVO 10/6 MISTRAL



Abbassamento massimo del piano dell'acqua:	0.09	m
Altezza dell'onda registrata durante il transito del natante:	0.25	m
Periodo dell'onda generata dal transito del natante:	1.82	s
Altezza significativa relativa all'intervallo di registrazione (300s):	0.23	m
Periodo di picco relativo all'intervallo di registrazione (300s):	3.41	s

NOTE: La prua della nave transita davanti alla stazione di misura dopo circa 60 secondi

SCHEDA NUMERO 10

Estratta dallo "Studio sugli effetti provocati dal moto ondoso generato da natanti sulle rive del canale della Giudecca e del Bacino di S. Marco" – luglio 2000.

Nome nave: **COSTA CLASSICA**
Lunghezza: 220m
Larghezza: 31m
Pescaggio: 7,62m
Stazza netta: 25816t
Stazza lorda: 52926t

Data e ora del rilievo: 12/6/2000

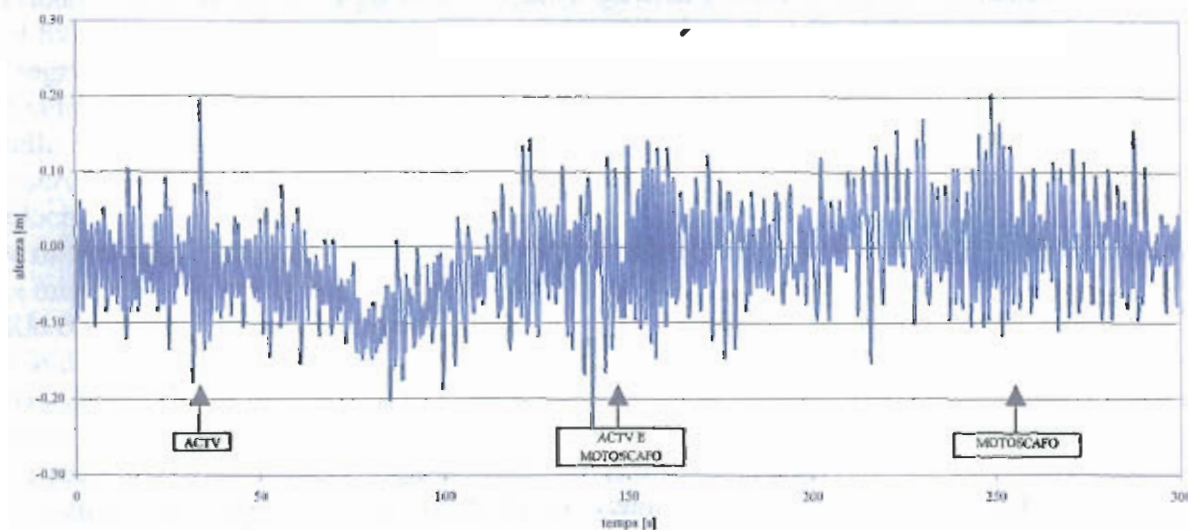
7.30

Luogo del rilievo: Giudecca

Tracciato acquisito:



RILIEVO 12/6 COSTA CLASSICA



Abbassamento massimo del piano dell'acqua: 0.11 m
Altezza dell'onda registrata durante il transito del natante: 0.23 m
Periodo dell'onda generata dal transito del natante: 1.65 s
Altezza significativa relativa all'intervallo di registrazione (300s): 0.22 m
Periodo di picco relativo all'intervallo di registrazione (300s): 2.56 s

NOTE: La prua della nave transita davanti alla stazione di misura dopo circa 40 secondi

4. La seconda campagna di misure.

Quando i risultati appena descritti sono stati resi noti, è stato osservato da qualche critico che lo studio non aveva preso in esame i fenomeni che si riscontrano nei canali minori che sboccano negli specchi d'acqua navigabili e nei quali si asserivano osservati fenomeni di "risucchio" non meglio identificati. Evidentemente, gli inconvenienti lamentati si riferivano alle onde negative che sono descritte al punto 2 della presente nota.

Per chiarire anche questo aspetto del problema si è proceduto ad una seconda campagna di misure all'interno dei canali minori: si decise di registrare le variazioni del livello e le variazioni di velocità ad esse correlate. Per far questo ci si è avvalsi di un misuratore di livello e di un velocimetro bidimensionale, entrambi a funzionamento elettronico, accurati ed affidabili.

Da notare che le variazioni di livello correlate alla variazione di velocità dell'intera corrente sono quelle che abbiamo già definite come lente. Le onde periodiche brevi provocano delle velocità nell'acqua che non sono distribuite in modo quasi uniforme sulla sezione e sono anch'esse periodiche con lo stesso periodo dell'onda. Di conseguenza, in questa serie di misure il valore istantaneo del livello era poi filtrato con il metodo elementare della "media mobile". Anche il segnale fornito dal velocimetro veniva filtrato per eliminare le variazioni rapide di velocità correlate alle onde di oscillazione di breve periodo e di piccola scala. Nelle schede numero 49 e 53, riportate come esempio della restituzione delle misure registrate, sono evidenziati con le linee rosse i valori del pelo libero e della velocità della corrente mediati nel tempo.

Le misure sono state eseguite nel periodo settembre-novembre 2002.

Le misure hanno interessato le sezioni iniziali dei seguenti tre rii:

- Rio di San Martino, in comunicazione con il Bacino di San Marco
- Rio della Fornasa, che sbocca nel Canale della Giudecca vicino alla Salute
- Rio del Ponte Piccolo, che sbocca nel Canale della Giudecca e che attraversa l'isola omonima.

La presenza di un ponte in ogni sezione ha consentito un'agevole installazione del velocimetro, mentre il sensore di livello venne installato sul lato del canale, vicino al ponte stesso. Si deve precisare che il sensore di livello posto nel Rio del Ponte Piccolo fu installato in un punto che, per la particolare configurazione della sponda, presentava il moto ondoso amplificato in qualche misura per effetti di riflessione. Dato che lo scopo principale della misura era la variazione lenta della superficie per cui le registrazioni istantanee dovevano essere filtrate e che l'amplificazione non toccava il valore medio dell'oscillazione, stante la linearità del fenomeno, si è eseguita egualmente la misura. Di tale fatto però si deve tener conto nella lettura diretta dei dati, prima del loro trattamento. In altre parole, i valori del moto ondoso forniti per questa sezione nella relazione sono più alti di circa il 30% rispetto alle aree circostanti.

Le misure sono state eseguite nel periodo settembre-novembre 2002.

Analogamente a quanto già fatto nella prima campagna di misure, per ogni registrazione del passaggio di grossa nave si è redatta una scheda tecnica che riporta tutti i dati e i grafici dei segnali ottenuti. Le schede, in numero di 56, sono allegate alla relazione finale della seconda campagna.

Le schede numero 49 e 53 sono un esempio della restituzione adottata per i risultati ottenuti.

Dall'esame dell'andamento del livello, quale esce dallo strumento, emerge ancora una volta il fatto che, anche all'interno del canale, il treno d'onde provocato dalle navi in esame si mescola perfettamente nel "rumore di fondo", così da essere indistinguibile.

Filtrando il segnale come detto si mette in evidenza come la depressione del pelo libero penetri anche nel canale e vi rimanga per tutto il tempo di passaggio della carena; oltre questo istante la superficie libera si rialza fino alla quota indisturbata. In perfetta sincronia con la variazione di livello, il velocimetro mostra una variazione della velocità, rispetto a quella già naturalmente presente per effetto della marea. Il permanere nel tempo di tale variazione è la testimonianza della propagazione dell'onda negativa lungo il canale minore. Quando invece la quota del pelo libero nella sezione di misura si rialza perché la nave è passata, la variazione di velocità cambia segno, per la formazione ora di un'onda positiva che "rincorre" quella negativa formatasi prima (vedi schede di esempio numero 49 e 53).

Il fenomeno appena descritto può essere interpretato anche con facili espressioni matematiche, che vengono proposte nella relazione. I grafici 1 e 2 mostrano il confronto tra i valori attesi e quelli misurati con un accordo senz'altro soddisfacente.

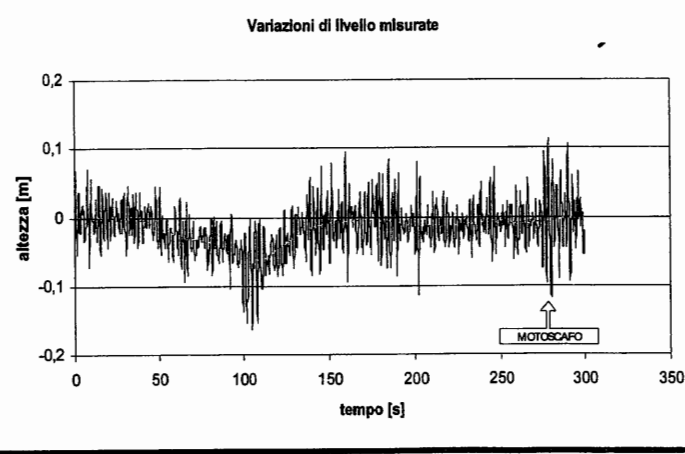
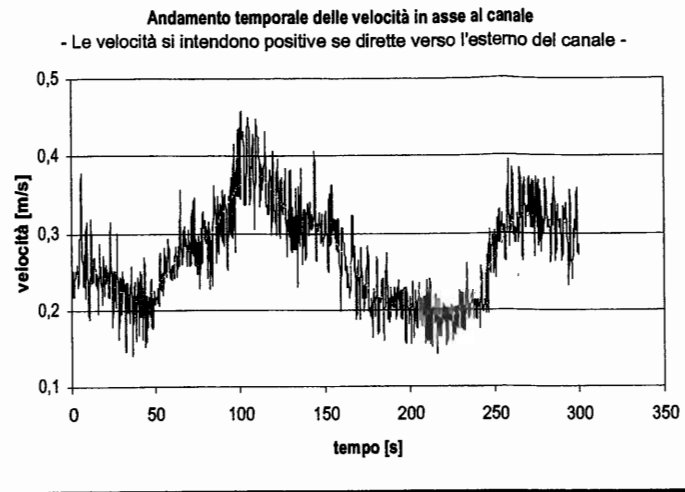
A commento dei risultati ottenuti si può osservare che le variazioni di livello sono sempre contenute e, dato che sono sovrapposte al moto ondosso di fondo (sempre presente anche se in misura minore rispetto agli specchi liquidi esterni al canale), sono tali da sfuggire ad un esame visivo superficiale e possono essere apprezzate solo con gli strumenti.

Anche le variazioni di velocità non sono elevate e non superano mai il valore della corrente generata dalla marea. In questo senso, e tenuto anche conto della bassa frequenza con cui si presentano, non si configurano come pericolose per la stabilità delle fondamenta e tali da provocare apprezzabili erosioni del fondo del canale.

Le variazioni di velocità possono in qualche caso essere sentite da un rematore su una barca di piccole dimensioni, che viene accelerata o rallentata in modo non atteso. Inoltre, può succedere che anche in calma di marea un corpo galleggiante, come una barca non ormeggiata, possa subire degli spostamenti anche sensibili a causa della corrente provocata dalla citata onda negativa; ma questi sono gli unici inconvenienti che si riesce a immaginare.

SCHEDA NUMERO 49

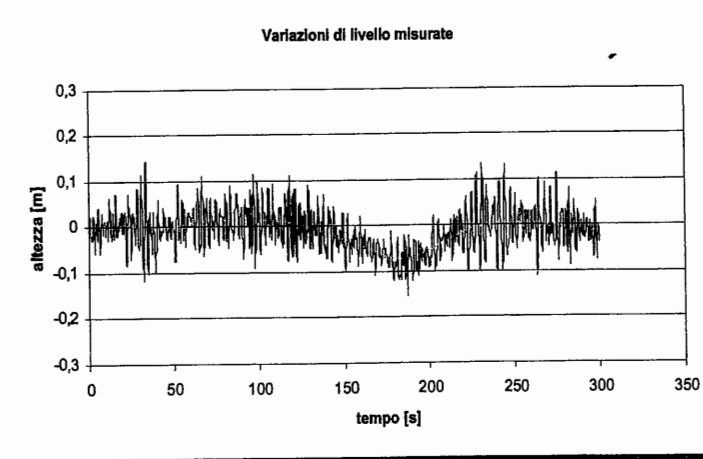
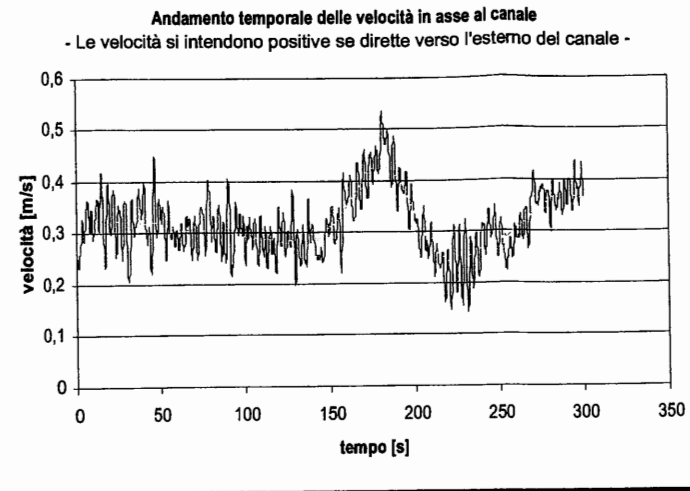
Data del rilievo: 13-ott-02
Luogo del rilievo: Ponte di Rio San Martino
Ora del rilievo: 16:20
Nome nave: PASIPHAE PALACE
Lunghezza (m): 200,35
Larghezza (m): 25,80
Pescaggio (m): 5,70
T.S.N. (t): 11304
T.S.L. (t): 30010



Abbassamento massimo del piano dell' acqua (m):	0,06
Velocità di fondo nel canale (m/s)	0,25
Incremento di velocità corrispondente all'abbassamento dell'acqua (m/s):	0,12
Altezza dell'onda massima registrata durante il transito del natante (m):	0,17
Altezza massima relativa all'intervallo di registrazione (300s) (m):	0,21
Altezza significativa relativa all'intervallo di registrazione (300s) (m):	0,11
Periodo di picco relativo all'intervallo di registrazione (300s) (s):	2,84
Livello e condizioni di marea rispetto allo zero di Punta della Salute (m):	0,50

SCHEDA NUMERO 53

Data del rilievo: 04-nov-02
Luogo del rilievo: Ponte di Rio San Martino
Ora del rilievo: 16:50
Nome nave: COSTA CLASSICA
Lunghezza (m): 220,60
Larghezza (m): 30,80
Pescaggio (m): 7,62
T.S.N. (t): 25816
T.S.L. (t): 52926



Abbassamento massimo del piano dell' acqua (m):	0,07
Velocità di fondo nel canale (m/s)	0,32
Incremento di velocità corrispondente all'abbassamento dell'acqua (m/s):	0,11
Altezza dell'onda massima registrata durante il transito del natante (m):	0,23
Altezza massima relativa all'intervallo di registrazione (300s) (m):	0,26
Altezza significativa relativa all'intervallo di registrazione (300s) (m):	0,16
Periodo di picco relativo all'intervallo di registrazione (300s) (s):	3,20
Livello e condizioni di marea rispetto allo zero di Punta della Salute (m):	-0,22

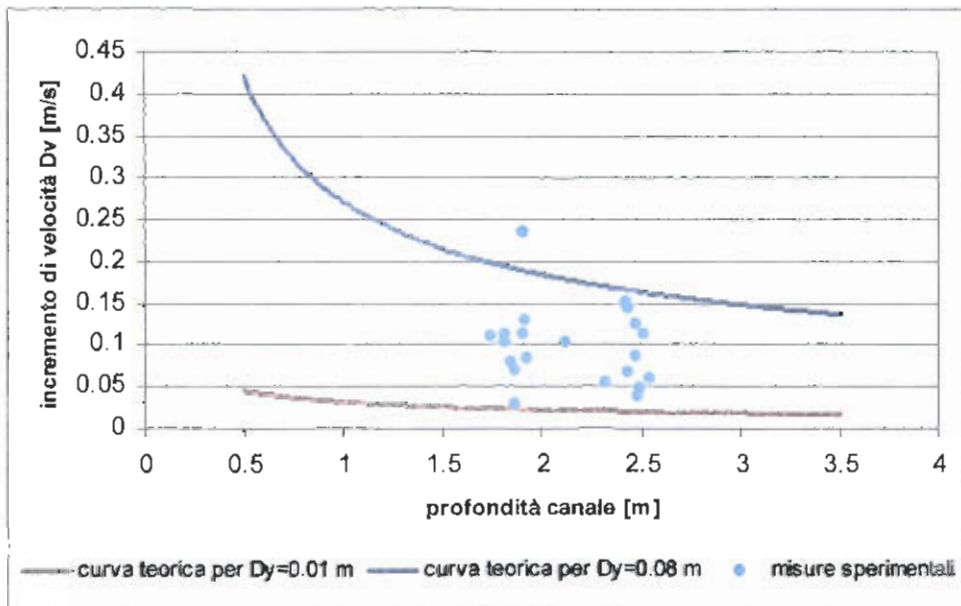


Grafico 1 Curve teoriche dell'incremento di velocità dovuto all'onda di traslazione per abbassamenti del pelo libero $\Delta y=0.01$ m e $\Delta y=0.08$ m. I punti rappresentano le misure sperimentali per $\Delta y=0.01\div 0.08$.

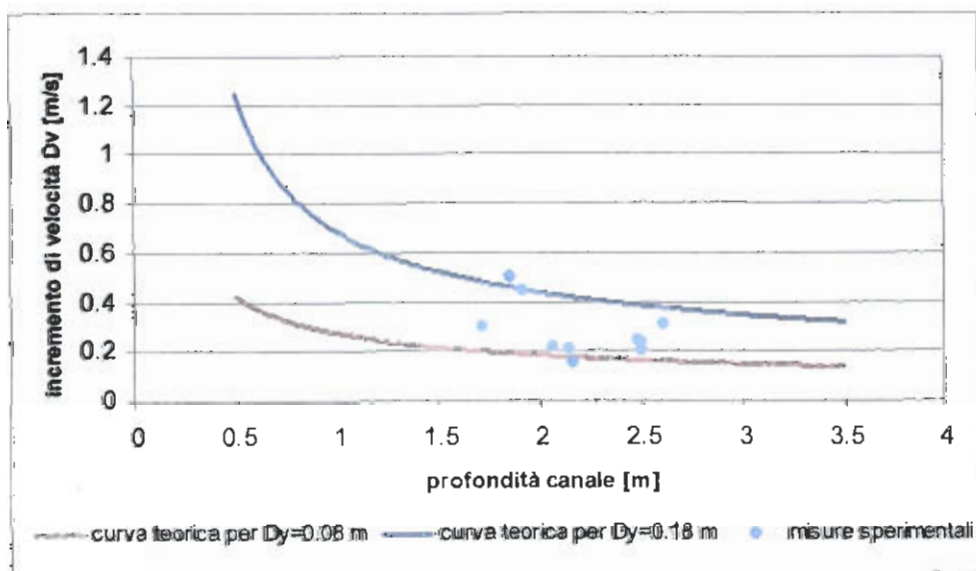


Grafico 2 Curve teoriche dell'incremento di velocità dovuto all'onda di traslazione per abbassamenti del pelo libero $\Delta y=0.08$ m e $\Delta y=0.18$ m. I punti rappresentano le misure sperimentali per $\Delta y=0.08\div 0.18$.

5. Conclusioni

Su incarico dell'Autorità del Porto di Venezia lo scrivente, assieme alla società Protecno ha eseguito due campagne di misure per verificare quali siano le conseguenze sull'idrodinamica dei canali del centro storico a causa del passaggio delle navi di maggiore dislocamento che attualmente raggiungono la Stazione Marittima del Porto.

Le misure hanno interessato tutti gli aspetti del fenomeno: il moto ondoso generato a prua e a poppa dal natante e la depressione della superficie dell'acqua in conseguenza allo spostamento di volume provocato dalla carena.

Lo studio ha esaminato quanto accade sia negli specchi d'acqua del centro storico percorsi dalle navi, sia nei canali minori che comunicano con i detti specchi.

Tutte le misure eseguite hanno mostrato che il bacino di San Marco e il Canale della Giudecca sono sede di un sensibile moto ondoso generato dai numerosi natanti di ogni genere che li percorrono. Il moto ondoso generato dal passaggio delle navi di grande tonnellaggio si è rivelato molto contenuto, tale da non poter essere distinto dal resto del moto ondoso. Gli effetti di tale agitazione sulle opere di conterminazione di recente realizzazione e costituite da muri in c.a. fondati su pali, appaiono del tutto trascurabili. Il passaggio della carena di queste navi comporta un abbassamento medio della superficie libera nei canali di transito che non comporta effetti apprezzabili vicino alle rive.

L'abbassamento di livello, una volta arrivato alla sezione iniziale dei canali minori, genera un'onda negativa che si propaga lungo i canali stessi, provocando un abbassamento del pelo libero e un incremento della velocità della corrente. Le variazioni di livello sono sempre minori di 20 cm e di difficile percezione diretta. Le variazioni di velocità sono anch'esse contenute in limiti tali da essere confrontabili con le normali velocità di marea e da non provocare pericoli per i marginamenti o erosioni del fondo; esse possono essere percepite soltanto a bordo di una piccola barca a remi e possono comportare spostamenti visibili del materiale galleggiante presente nel canale.

Padova, 19 febbraio 2003

Prof. Ing. Attilio Adami