



Consiglio Nazionale delle Ricerche  
ISMAR - Istituto di Scienze Marine  
Sezione di Ricerca di Venezia

*Analisi degli effetti idrodinamici indotti nei rii di S.Basilio, S.Martin, Ponte Piccolo e S.Eufemia, in corrispondenza del passaggio delle grandi navi da crociera nel Canale della Giudecca e in Bacino di S.Marco*

RELAZIONE DI SINTESI



Febbraio 2004

**Franco Costa - Aleardo Zuliani**

Consiglio Nazionale delle Ricerche  
ISMAR – Istituto di Scienze Marine  
Sezione di Ricerca di Venezia – Studio dei Sistemi Marini e Costieri  
S.Polo, 1364 – 30125 Venezia  
tel. 041/5216816 – fax. 041/5216815  
[franco.costa@ismar.cnr.it](mailto:franco.costa@ismar.cnr.it) -- [aleardo.zuliani@ismar.cnr.it](mailto:aleardo.zuliani@ismar.cnr.it)

L'attività descritta nella Relazione è stata svolta su incarico del Comune di Venezia – Centro Previsioni e Segnalazioni Maree (Determinazioni n. 1979 del 13.8.2003 e n. 3035 del 12.12.2003)

*Analisi degli effetti idrodinamici indotti nei rii di S.Basilio, S.Martin, Ponte Piccolo e S.Eufemia, in corrispondenza del passaggio delle grandi navi da crociera nel Canale della Giudecca e in Bacino di S.Marco*

## RELAZIONE DI SINTESI

### **INDICE**

1. Introduzione	2
2. Descrizione delle sezioni di misura	5
3. Caratteristiche delle navi	5
4. Parametri misurati e strumentazione impiegata	6
5. Elaborazione dei dati sperimentali acquisiti	8
5.1 COSTA ATLANTICA – Transito del 31 Agosto 2003	11
6. Conclusioni	15

## 1. Introduzione

Il problema del moto ondoso a Venezia è uno dei più significativi relativamente alla salvaguardia della città e da sempre è stato oggetto di particolare attenzione da parte delle amministrazioni e degli enti preposti al controllo e alla regolamentazione del traffico dei natanti nei canali del Centro Storico, delle isole e dell'intera laguna.

Con l'incremento del numero di imbarcazioni di trasporto privato, pubblico e da diporto, gli effetti provocati dal traffico incidono in maniera determinante sulla tutela e la conservazione delle strutture edilizie e sui processi di risospensione del sedimento di fondo nei canali. Ai naturali processi di risospensione locale determinati dalle caratteristiche idrodinamiche dei vari rii, si sovrappongono gli effetti indotti dal traffico acqueo, che determinano fenomeni di risospensione a volte particolarmente intensi che possono durare anche alcune ore, in funzione dell'intensità del traffico, del battente idrico e delle condizioni di marea.

Il traffico acqueo interviene quindi in maniera considerevole nel determinare la risospensione e il conseguente trasporto di materiale all'interno del sistema dei rii. I suoi effetti risultano predominanti rispetto ai meccanismi risospensivi che comunque si verificano per effetto dello spostamento delle masse d'acqua nel sistema.

L'intensità dei sistemi d'onda generati da un natante in navigazione dipende prevalentemente dalla velocità di spostamento dell'imbarcazione e dalle caratteristiche idrodinamiche della carena.

Il transito di un'imbarcazione in un canale di sezione limitata, genera lo spostamento di masse d'acqua in corrispondenza del volume di immersione della carena, con conseguenti abbassamenti localizzati del pelo libero in relazione al carico cinetico dell'acqua. Le caratteristiche delle onde trasversali prodotte dall'imbarcazione dipendono dalla velocità del natante, dal volume immerso della carena e dalle sue caratteristiche geometriche, oltre alle caratteristiche geometriche del canale su cui si muove l'imbarcazione.

L'intensità dei gruppi d'onda prodotti dipende in questo caso anche dal rapporto esistente tra la sezione della carena e la sezione liquida del canale di movimento del natante.

L'abbassamento del pelo libero prodotto dal movimento dell'imbarcazione, genera nei rii comunicanti con il canale di spostamento del natante, una serie di onde (positive e negative) che determinano perturbazioni del campo di corrente con alterazioni della velocità mareale ed abbassamenti del livello idrico. Tali perturbazioni si propagano quindi nella rete interna di canali subendo riflessioni ed attenuazioni progressive fino all'esaurimento dei fenomeni. Il tempo di esaurimento dipende da numerosi fattori, tra cui principalmente le caratteristiche geometriche della rete interna dei canali comunicanti con il canale principale.

Il Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia ha finanziato l'esecuzione di una serie di campagne di misura per determinare l'entità delle perturbazioni indotte dal passaggio delle navi da crociera e traghetto nel Canale della Giudecca e in Bacino San Marco, nei rii limitrofi, nel periodo dal 30 Agosto al 12 Ottobre 2003. Le campagne sono state caratterizzate dall'esecuzione principalmente di misure di livello e velocità dell'acqua all'interno di quattro canali minori collegati al Canale della Giudecca (sia lato Fondamenta delle Zattere che lato Isola della Giudecca) e al Bacino di S. Marco.

Le misure sono state condotte nel corso di 4 campagne, ciascuna di 2 giorni consecutivi, e hanno permesso l'acquisizione del livello idrico, della velocità di corrente, dell'altezza d'onda e della concentrazione dei solidi sospesi in 4 sezioni scelte per il monitoraggio, in corrispondenza del passaggio delle navi. I punti di misura sono stati scelti nei tratti finali di 4 canali minori collegati al Canale della Giudecca (sia lato Zattere che lato Giudecca). In ogni sezione sono stati installati rispettivamente un correntometro elettromagnetico per l'acquisizione del livello idrico, della velocità di corrente e delle principali variabili chimico-fisiche, e un ondometro acustico per l'acquisizione dei parametri d'onda.

La disposizione planimetrica dei siti di monitoraggio è indicata nella Figura 1.1.

L'organizzazione delle campagne ha consentito l'esecuzione di vari rilievi per le principali tipologie di natanti in diverse situazioni di livello e di velocità della corrente di marea. In particolare, le misure hanno riguardato 12 tipi di navi da crociera, 4 tipi di navi traghetto e 2 Ferry Boat della flotta ACTV, per un totale di 80 transiti in entrata e/o in uscita dalla Stazione Marittima del Porto di Venezia (74 transiti di grandi navi e 6 transiti di Ferry Boat) e 153 misurazioni. Le campagne sono state pianificate in uno dei periodi di maggiore traffico delle navi da crociera, caratterizzate da maggiori dimensioni e stazza rispetto ai traghetti e ai Ferry Boat, ed in particolare sono state eseguite nel periodo dal 30 Agosto al 12 Ottobre 2003 con la seguente cadenza:

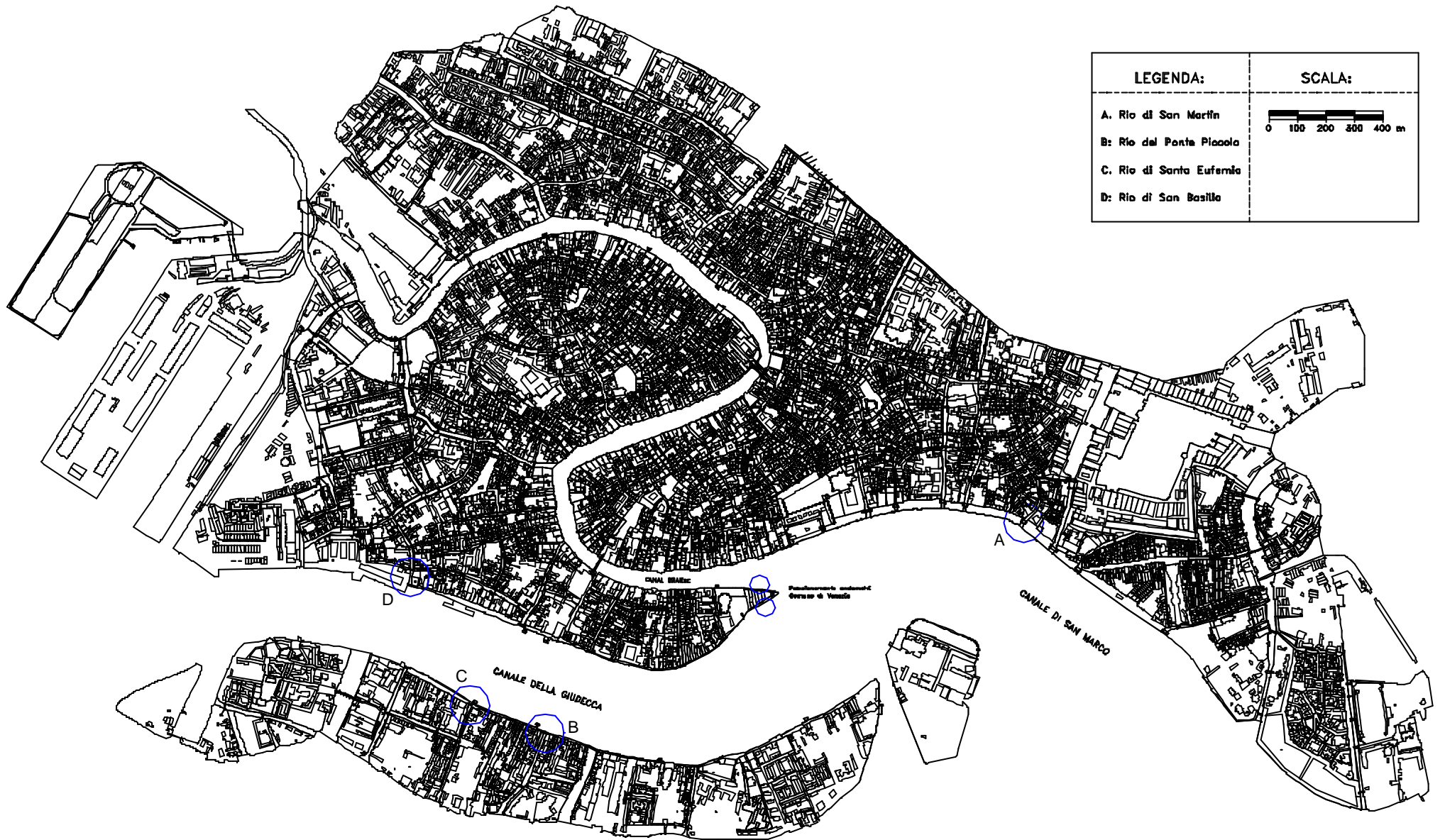
- I<sup>a</sup> Campagna - 30 ÷ 31 Agosto 2003;
- II<sup>a</sup> Campagna - 27 ÷ 28 Settembre 2003;
- III<sup>a</sup> Campagna - 4 ÷ 05 Ottobre 2003;
- IV<sup>a</sup> Campagna - 11 ÷ 12 Ottobre 2003

Scopo principale delle misure è stato quello di valutare le variazioni indotte dal passaggio delle navi relativamente alla velocità della corrente di marea e al moto ondoso di fondo, e di determinare le eventuali variazioni nelle concentrazioni del particolato in sospensione.

In questa sede si vuole fornire una descrizione sintetica dell'attività svolta e dei risultati ottenuti. A titolo di esempio vengono descritti gli effetti indotti dal passaggio della nave da crociera Costa Atlantica in corrispondenza di differenti condizioni idrodinamiche di fondo nei canali monitorati. La Costa Atlantica risulta essere una delle navi di maggiore stazza e dimensioni tra quelle monitorate, e quella per la quale si sono rilevati il maggior numero di passaggi.

Per un maggiore approfondimento dell'organizzazione sperimentale e delle modalità di acquisizione dei dati si rimanda al Rapporto Tecnico *“Campagne di misura per la valutazione degli effetti idrodinamici generati dal transito delle grandi navi passeggeri in Bacino San Marco e Canale della Giudecca”* (F. Costa, L. Cossutta, A. Zuliani, Dicembre 2003), mentre per l'analisi dettagliata dei risultati ottenuti si rimanda alla consultazione della Relazione Finale *“Analisi degli effetti idrodinamici indotti nei rii di S.Basilio, S.Martin, Ponte Piccolo e S.Eufemia, in corrispondenza del passaggio delle grandi navi da crociera nel Canale della Giudecca e in Bacino di S.Marco”* (F. Costa, A. Zuliani, Gennaio 2004).

FIGURA 1.1 - QUADRO DI INSIEME RELATIVO AI SITI DI INDAGINE



## 2. Descrizione delle sezioni di misura

I 4 rii scelti per il posizionamento delle sezioni di misura sono i seguenti:

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| A) Rio di San Martin     | (Castello, San Martin – Bacino di S. Marco)    |
| B) Rio del Ponte Piccolo | (Giudecca, S. Eufemia – Canale della Giudecca) |
| C) Rio S. Eufemia        | (Giudecca, S. Eufemia – Canale della Giudecca) |
| D) Rio S. Basilio        | (Dorso Duro, Zattere – Canale della Giudecca)  |

Il punto di installazione del correntometro per la misura della velocità di corrente è stato scelto a circa 50 m dall'imbocco dei canali adiacenti al Canale della Giudecca, rispettivamente per i rii di Ponte Piccolo (stazione di misura B), di S.Eufemia (stazione C) e di S.Basilio (stazione D), mentre per motivi operativi a circa 20 metri nella stazione di misura A nel rio di S. Martin.

Le caratteristiche geometriche e batimetriche delle sezioni dei rii in corrispondenza dei tratti di interesse e di quelle del Canale della Giudecca, sono state desunte dalla Carta Digitale della Laguna di Venezia (1:5.000 - MAV, 2003) e a seguito di rilievi topografici in campo.

## 3. Caratteristiche delle navi

Le navi interessate dai rilievi possono ritenersi rappresentative del complesso delle navi da crociera e navi traghetto che fanno scalo a Venezia.

La Tabella che segue (Tabella 3.1) riporta l'elenco dei natanti presi in considerazione per le misure sperimentali; nella stessa Tabella vengono riportati alcuni dati caratteristici delle navi, rilevati dalla Pubblicazione "Navi passeggeri stagione 2003" della società V.T.P. Venezia Terminal Passeggeri, e il numero dei transiti che sono stati monitorati, suddivisi per nave e per campagna di misura.

Tabella 3.1.

N.	NOME NAVE	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Pescaggio (m)	TSN (t)	TSL (t)	Numero di misure			
							1^ camp.	2^ camp.	3^ camp.	4^ camp.
1	ARIADNE PALACE	212.00	25.00	6.04	9356	28007	1	3	4	4
2	BLUE HORIZON	181.00	27.00	7.62	14191	27230		3		
3	BLUE SKY	164.00	24.00	7.62	6449	19539	1	3	4	4
4	CONSTELLATION	294.00	32.00	8.24	53239	91228		2		
5	COSTA ATLANTICA	292.50	32.20	7.93	52000	84000	4	4	4	4
6	COSTA MARINA	174.20	25.80	7.95	10934	25558			4	
7	COSTA TROPICALE	204.76	26.45	7.32	16830	35190	4	4	4	4
8	DALMACIJA	116.80	16.50	5.27	2018	5619	2	2	2	
9	EUROPEAN VISION	251.00	29.00	7.01	33222	58714	4	3	4	4
10	FUNCHAL	152.66	16.08	7.01	3759	9470				4
11	IKARUS PALACE	200.35	25.80	5.70	11304	30010	2	3	4	4
12	MELODY	204.70	30.15	7.93	15650	35143	2	2	4	4
13	OLIMPIA EXPLORER	179.83	25.60	7.05	10053	24500	4	4	4	4
14	REGATTA	184.00	25.46	5.79	11078	30200				2
15	SAGA ROSE	189.00	27.00	8.25	9091	24474			2	
16	THE AZUR	142.00	22.00	6.71	4330	8937	2			
17	ACTV Ferry B. S. NICOLO'	57.60	13.10	2.60			3	2	3	1
18	ACTV Ferry B. METAMAUCO	57.60	13.10	2.60			2	3	2	

Per poter rilevare gli effetti idrodinamici indotti da ogni nave in transito nel tragitto mare – Bocca di Lido – Porto di Venezia e/o viceversa, in corrispondenza di ogni campagna, sono state eseguite le misure in due siti, rispettivamente S. Basilio lato Zattere e S. Eufemia lato Giudecca nelle campagne n. 1 e 3, e S. Martin lato Giardini e Ponte Piccolo lato Giudecca nelle campagne n. 2 e 4.

Campagna N. 1	stazioni di misura C e D
Campagna N. 2	stazioni di misura A e B
Campagna N. 3	stazioni di misura C e D
Campagna N. 4	stazioni di misura A e B

Ciascuna campagna, della durata di due giornate, è stata condotta quindi su coppie di stazioni di misura: S.Basilio – S.Eufemia e S.Martin – Ponte Piccolo.

Per motivi organizzativi e di disponibilità strumentale non è stato possibile eseguire le misure contemporaneamente in tutte le stazioni.

#### 4. Parametri misurati e strumentazione impiegata

Nella Tabella che segue vengono elencati i parametri rilevati e i relativi strumenti installati in ciascun punto di misura.

STRUMENTO	PARAMETRO MISURATO	UNITA' MISURA	FREQUENZA CAMPIONAMENTO
Ondametro Acustico	Altezza onda / livello	metri	4 Hz
Correntometro	Velocità	cm/s	1 Hz
	Direzione	gradi	
Turbidimetro OBS	Temperatura	°C	
	Salinità	PSU	
	Profondità	metri	
Campionamento manuale	Concentrazione Solidi Sospesi	mg/litro	Transito nave
Telelaser	Velocità della nave	Km/h	Transito nave
	Distanza della nave dalla riva	metri	

##### ONDAMETRO AD ULTRASUONI ID0810B

La misura di variazione di livello del pelo libero dell'acqua (e di moto ondoso) è stata effettuata con il sensore idrometrico a ultrasuoni ID0810B SIAP Bologna, in grado di acquisire i dati alla frequenza di 4 Hz. Lo strumento è stato impostato per eseguire misure da 10 m a 1 m di distanza in modo da avere una buona risoluzione. Esso è stato posto in posizione verticale ad un'altezza di circa 2 m sul livello medio mare, se posizionato sulla riva adiacente al punto di rilevamento, o a circa 4 m, se fissato alla spalla di un ponte vicino alla sezione di misura (Figura 4.1). Il valore rilevato dallo strumento indica la distanza della superficie dell'acqua dal fondo scala dello strumento (configurato a 10 m). Tale impostazione consente di registrare valori positivi o negativi di altezza d'onda rispetto al medio mare, scorporando il valore mareale dello strumento.



Figura 4.1: Installazione dell'ondametro Siap sul Rio di S.Martin.

SENSORE	RANGE DI MISURA	ACCURATEZZA	RISOLUZIONE	FREQUENZA OPERATIVA	FREQUENZA DI ACQUISIZIONE
Ondametro	0 – 15 m	± 1 cm	0.3 cm	4 Hz	continua

**CORRENTOMETRO S4**

Il Correntometro elettromagnetico S4 InterOcean, Inc. USA è uno strumento a forma sferica che contiene al suo interno tutti i sensori di misura. La forma sferica dello strumento è un eccellente fattore di smorzamento delle componenti verticali della corrente e quindi rende il correntometro adatto ad eseguire misurazioni in zone caratterizzate dalla presenza di moto ondoso.

Lo strumento quindi è particolarmente adatto a misurare l'intensità e la direzione della corrente in acqua e allo stesso tempo a rilevarne le caratteristiche chimico fisiche (salinità, temperatura e torbidità); il sensore di pressione per la misura del livello è stato posizionato a circa 70 cm dal fondo alveo e ad una distanza di 2 metri dalla sponda.

Nel caso delle misure in questione il correntometro ha operato con una frequenza di campionamento di 2 Hz e con una modalità di acquisizione continua comandata tramite PC dall'operatore in campo.



Figura 4.2: Correntometro elettromagnetico modello S4 InterOcean.

SENSORE	RANGE DI MISURA	ACCURATEZZA	RISOLUZIONE	FREQUENZA OPERATIVA	FREQUENZA DI ACQUISIZIONE
Velocità	0 – 350 cm/s	2%	0.03 – 0.35 cm/s	2 Hz	continua per 10 min al transito nave
Direzione	0 – 360 °	± 2 °	0.5 °		
Profondità	0 – 70 m	± 0.15 % f.s.	4 mm		
Temperatura	-5 +45 °C	± 0.2 °C	0.05 °C		
Conducibilità	0-70 mS/cm	± 0.2 mS/cm	0.1 mS/cm		
Torbidità	0 – 200 FTU	± 2 % f.s.	0.01 FTU		

**TELELASER LTI 20-20**

Poiché la velocità del natante e la sua effettiva distanza dalla riva costituiscono un dato importante per valutare, in fase di elaborazione e analisi dei dati, la formazione e l'entità degli effetti idrodinamici generati da ciascuna nave, si è provveduto a misurare tali parametri con l'ausilio dell'apparecchiatura Telelaser LTI 20 – 20 della Laser Technology Inc. USA distribuito in Italia dalla Ditta Eltraff s.r.l. (Figura 4.3).

Il Telelaser determina la velocità della nave in transito mediante la misura del tempo che impiega un raggio laser emesso dall'apparecchio a raggiungere un determinato bersaglio e tornare indietro allo stesso apparecchio. Poiché l'impulso di luce infrarossa emesso da un diodo laser viaggia a velocità costante, emettendo due impulsi in un intervallo di tempo conosciuto si calcolano due distanze la cui differenza (lo spazio percorso dalla nave) divisa per l'intervallo di tempo di cui sopra risulta essere la velocità del bersaglio puntato.



Figura 4.3: Rilevamento con Telelaser in Canale della Giudecca.

SENSORE	RANGE DI MISURA	ACCURATEZZA	RISOLUZIONE	TEMPO DI MISURA	FREQUENZA DI ACQUISIZIONE
Velocità	0 – 320 km/h			0.3 sec.	al transito nave
Distanza	10 – 2500 m	± 10 cm		0.3 sec	



Si ritiene utile ricordare che le ordinanze N. 09/2002 e N. 42/2002 emanate dal Commissario di Governo Delegato al Traffico Acqueo nella laguna di Venezia, che indicano i limiti di velocità e i criteri generali riguardanti la navigazione nella lagunari Venezia, consentono nel canale della Giudecca e in Bacino S. Marco una velocità massima di 11 km/h per le imbarcazioni da diporto e per le navi traghetto e da crociera.

#### *CAMPIONAMENTI PER SOLIDI SOSPESI*

I corrispondenza del passaggio di alcune navi di stazza maggiore sono state raccolte triplete di campioni d'acqua a 0.2 m dal fondo (F), a 1 metro dal fondo (+1) e a 0.2 dal pelo libero (S). Ogni campione del volume di 1000 cc è stato prelevato sulla colonna d'acqua della sezione del rio, individuata dalla strumentazione immersa (Correntometro S4), tramite una bottiglia a sifone.

Lo scopo di tali campioni è quello di misurare la quantità di sedimento presente sulla colonna d'acqua, dovuta al fenomeno della risospensione.

La risospensione, peraltro misurata anche attraverso il sensore OBS (Optical Backscatter) integrato nel correntometro S4 posizionato a circa 0.7 m dal fondo, è infatti dovuta alla repentina variazione della velocità dell'acqua nel canale stesso, provocata dal transito delle navi nel canale navigabile.

Sui campioni d'acqua raccolti si procede successivamente, in laboratorio, alla filtrazione e alla determinazione del contenuto di solidi sospesi (SS) utilizzando la metodica IRSA Quaderno 100/2050/94.

## **5. Elaborazione dei dati sperimentali acquisiti**

L'abbassamento del pelo libero prodotto dal movimento di un'imbarcazione, genera nei canali comunicanti con il canale di spostamento del natante (Canale della Giudecca e Bacino di San Marco), una serie di onde che determinano perturbazioni del campo di corrente con alterazioni della velocità mareale ed abbassamenti del livello idrico. Tali perturbazioni si propagano quindi nella rete interna di canali subendo riflessioni ed attenuazioni progressive fino all'esaurimento dei fenomeni. Il tempo di esaurimento dipende da numerosi fattori, tra cui principalmente le caratteristiche geometriche della rete interna dei canali comunicanti con il canale principale.

Le perturbazioni indotte nei canali minori dal passaggio delle navi nel canale principale, si sovrappongono così al moto ondoso di fondo esistente, determinato dal traffico di tutte le imbarcazioni transitanti e anche dalla propagazione nei canali delle onde da vento prodotte nei bacini aperti lagunari.

Il sistema di onde complessivo che si propaga nella rete di canali di Venezia risulta quindi determinato dalla sovrapposizione di onde di diverse caratteristiche e prodotte da varie cause, e si manifesta pertanto come un sistema particolarmente complesso, irregolare e di forma tridimensionale.

Il movimento di un natante in un canale principale (Canale della Giudecca e Bacino di San Marco), genera una corrente di ritorno parallela ed opposta alla sua direzione di spostamento, ed un sistema di onde divergenti la cui direzione di propagazione risulta dipendente dalla velocità del natante e dalla profondità del canale. Le variazioni determinate dall'introduzione di questi sistemi d'onda nei canali afferenti al canale principale, relativamente al campo di corrente di fondo, sono legate alla fase di marea esistente in corrispondenza del passaggio, e possono generare incrementi ma anche tal volta riduzioni dei valori della velocità assiale della corrente. Gradienti positivi nei valori della velocità assiale nel canale secondario si generano quando la direzione della corrente di marea è concorde con quella di propagazione del sistema di onde generato dal natante, mentre riduzioni nei valori della velocità assiale della corrente si verificano quando le due direzioni di propagazione risultano opposte (Figura 5.1).

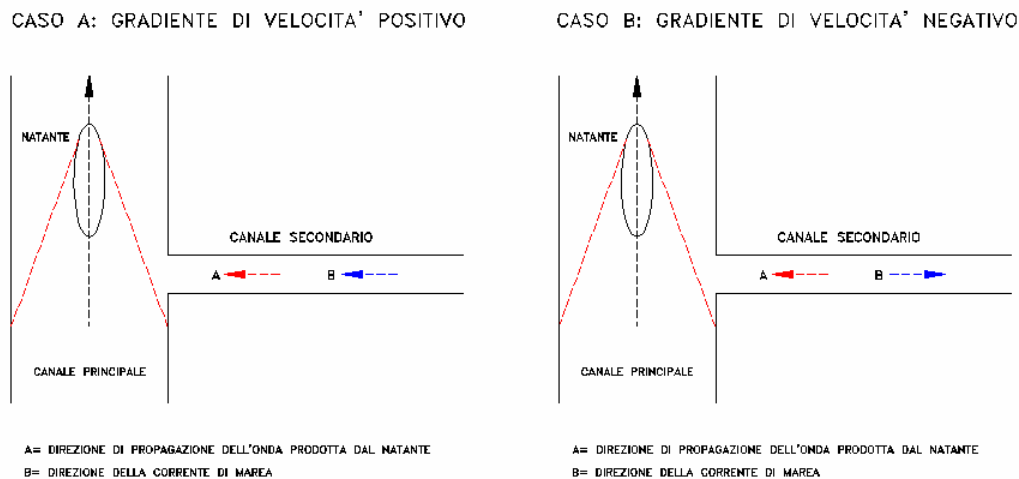


Figura 5.1. Schematizzazione delle possibili direzioni di propagazione dei sistemi di onde nella rete dei canali secondari.

I grafici relativi agli andamenti temporali delle variabili acquisite nei vari siti di indagine in corrispondenza di tutti i passaggi registrati, sono riportati nelle Figure A1 ÷ A590, in Allegato A alla Relazione Finale.

Nei grafici di velocità assiale e in quelli dei livelli idrici acquisiti dai correntometri S4 e dagli ondametri Siap, oltre ai valori puntuali sono riportati anche gli andamenti delle variabili “filtrate”, ossia depurate dalle fluttuazioni indotte dal moto ondoso presente. Tali curve sono state introdotte per poter visualizzare in maniera più definita gli andamenti temporali delle variabili in corrispondenza degli istanti di passaggio delle imbarcazioni.

Come filtro è stata utilizzata una media mobile doppia, ossia applicata 2 volte con percorso di andata e ritorno, e caratterizzata da un intervallo di campionamento di 10 acquisizioni. Questo tipo di filtro è comunemente utilizzato dall’USGS (U.S. Geological Survey) in diversi campi di applicazione.

Nei grafici in cui vengono riportati gli andamenti delle velocità assiali acquisite in corrispondenza dei punti di installazione dei correntometri nei vari siti di indagine, per convenzione le velocità sono state scelte come positive se le loro direzioni sono orientate verso Nord.

Per effetto quindi dell’orientamento pressoché verticale dei 4 canali minori scelti per il monitoraggio, si intendono come positive le velocità assiali se la direzione di spostamento delle masse d’acqua avviene dal Canale della Giudecca verso Nord (quindi verso i canali interni) per il rio di San Basilio, e dal bacino di San Marco verso Nord per il rio di San Martin, mentre per i rii di Ponte Piccolo e di Santa Eufemia se la direzione prevalente è orientata da Sud verso il Canale della Giudecca.

Nella Tabella 5.1 sono riportate le principali informazioni relative alle misure eseguite per ogni nave, nelle varie campagne e nei vari siti di misura. In particolare vengono evidenziati i nomi dei file delle registrazioni, le velocità delle navi e la loro distanza dai siti di misura, il livello e la fase di marea e la direzione di entrata o uscita dal Porto.

NOME NAVE	LUNG (m)	LARG (m)	PESCE (m)	File 1^ Campagna 30 - 31 Agosto 2003								File 2^ Campagna 27 - 28 Settembre 2003								File 3^ Campagna 4 - 5 Ottobre 2003								File 4^ Campagna 11 - 12 Ottobre 2003													
				S.Basilio	Liv	Vel	Dist	S.Eufem.	Liv	Vel	Dist	S. Martin	Liv	Vel	Dist	P.Piccolo	Liv	V	D	S.Basilio	Liv	Vel	Dist	S.Eufem.	Liv	Vel	Dist	S. Martin	Liv	Vel	Dist	P.Piccolo	Liv	Vel	Dist						
ARIADNE PALACE	212,00	25,00	6,04	> ba07	? -24	13,4	108									> ma08	? -20	12,0	139					> ba23	? 67	12,7		> eu20	? 61	14,0	163	> ma47	? 9	11,7		> pp23	? 7	11,7	125		
BLUE HORIZON	181,00	27,00	7,62													> pp01	? -20	12,6	142					< ba30	? 47	12,3		< eu25	? 47	12,7	142	< ma51	? 14	9,7	172	< pp27	? 18	10,3	147		
BLUE SKY	164,00	24,00	7,62	> ba07	? -25	13,1	97									> ma08	? -18	14,1	134					> ba25	? 78	12,3		> eu20	? 77	13,0	195	> ma47	? 6	13,7		> pp23	? 7	13,1	169		
CONSTELLATION	294,00	32,00	8,24													< ma12	? 76	11,4	157					< ba29	? 66	13,1		< eu24	? 66	11,8	145	< ma50	? 68	12,8	173	< pp26	? 70	11,1	100		
																> ma02	? 2	8,6	160					> pp02	? 3	9,0															
COSTA ATLANTICA	292,50	32,20	7,93	> ba11	? 32	10,4	115	> eu10	? 32	11,7	152	> ma11	? 20	11,8	170	> pp09	? 25	10,6	157					> ba28	+ 90	10,7		> eu23	+ 90	13,2	145	> ma49	? 34	12,8	165	> pp25	? 37	10,2	151		
				< ba13	? 25	12,5	138	< eu12	? 25	12,8	117	< ma16	? -25	12,2	154	< pp14	+ -25	11,8	118					< ba34	? 47	12,8		< eu28	? 47	13,3	129	< ma54	+ -28	9,9	174	< pp30	+ -27	12,0	120		
COSTA MARINA	174,20	25,80	7,95																					> ba26	? 82	9,2		> eu21	? 81	9,4	163										
																								< ba33	+ 41	9,6		< eu27	+ 41	9,6	112										
COSTA TROPICALE	204,76	26,45	7,32	> ba01	? -21	13,0	100	> eu01	? -21	13,4	161	> ma02	? 1	12,3	151	> pp02	? 9	10,2	135					> ba18	? 69	9,6		> eu16	? 69	10,2	163	> ma41	? 33	6,4	151	> pp16	? 36	10,7	134		
				< ba06	? 20	12,9	120	< eu06	? 20	12,9	139	< ma07	+ -33	12,3	171	< pp07	+ -32	12,3	135					< ba21	? 65	10,4	112	< eu19	? 65	11,0	158	< ma45	+ -24	10,7	170	< pp21	+ -24	11,3	112		
DALMACIJA	116,80	16,50	5,27	< ba04	? 56	15,0	110	< eu04	? 56	14,0	145	< ma05	? 1	12,4	125	< pp05	? 5	12,0	130					< ba17	+ 71	14,0		< eu15	+ 70	14,0	162										
EUROPEAN VISION	251,00	29,00	7,01	> ba08	+ -25	14,3		> eu07	+ -25			> ma09	? -12	13,5	167	< pp13	? 19	11,6	145					> ba24	? 76	11,3		> eu 20	? 76	11,0	190	> ma48	? 13	12,0	148	> pp24	? 16	11,5	145		
				< ba12	? 62	13,7	90	< eu11	? 62	13,3	182	< ma15	? 13	11,7	188									< ba31	+ 48	15,1		< eu26	+ 48	15,1	150	< ma52	? -6	13,3	168	< pp28	? -4	12,6	125		
FUNCHAL	152,66	16,08	7,01																																						
IKARUS PALACE	200,35	25,80	5,70	< ba03	? 59	10,8	124	< eu03	? 59	10,6	142	< ma04	? 21	12,0	151	> pp01	? -22	12,0	152					> ba15	? 60	13,4	110	> eu14	? 60	13,4	177	> ma40	? 9	11,1	155	> pp15	? 11	13,9	151		
																								< pp04	? 26	13,6	127	< ba19	? 41	12,7	113	< ma43	? 26	12,7	164	< pp18	? 27	12,0	142		
MELODY	204,70	30,15	7,93	< ba12	? 62	11,3	150	< eu11	? 62	12,5	117	< ma15	? 11	10,0	190	< pp13	? 13	11,3					> ba22	? 62	9,4		> eu20	? 61	14,0	119	> ma46	? -2	12,3		> pp22	? 0	14,2				
																								< ba32	? 43	12,3		< eu26	? 43	11,5	180	< ma52	? -8	10,4	178	< pp28	? -6	10,7	118		
OLIMPIA EXPLORER	179,83	25,60	7,05	> ba09	? -13	11,4	101	> eu08	? -15	12,4		> ma10	? 1	11,6	164	> pp08	? 5	11,8	173					> ba27	? 86	9,5		> eu22	? 86	11,0	163	> ma49	? 40	10,6	165	> pp25	? 37	10,8	169		
				< ba14	? 15	12,2	136	< eu13	? 15	13,8	126	< ma16	? -24	11,0	151	< pp14	? -22	11,8	180					< ba35	? 54	10,3		< eu28	? 54	10,1	130	< ma55	+ -28	10,8	205	< pp30	+ -28	9,2	102		
REGATTA	184,00	25,46	5,79																																						
SAGA ROSE	189,00	27,00	8,25																					< ba20	? 61	11,2	122	< eu18	? 61	10,3	143										
THE AZUR	142,00	22,00	6,71	< ba05	? 52	11,9	108	< eu05	? 52	12,2	163																														
Ferry S.NICOLO'	57,60	13,10	2,60	> ba02	? -14	13,8	124	> eu02	? -14	13,8	190	> ma06	? -11	13,6	166	> pp06	? -13	10,8						> ba16	+ 71	12,8	220	> eu15	+ 71	11,4	154					> pp19	? 25	11,4	184		
				> ba09	? -13	12,3	87																	< ba18	? 69	11,5	200														
Ferry METAMAUCO	57,60	13,10	2,60	> ba10	? 1	13,8	96	> eu09	? 1	13,6	192	< ma06	? -13	17,0	208	< pp06	? -9	12,8						< ba16	+ 70	12,8	190	< eu15	+ 70	10,2	110										
												< ma14	? 37	12,8																											

Liv.= Livello marea in cm su Imm > = nave entrante ? = marea crescente  
 Vel = Velocità della nave in km/h < = nave uscente ? = marea calante  
 Dist = Distanza della nave dalla riva in m. + = max / min marea

Tabella 5.1.

## 5.1. COSTA ATLANTICA – Transito del 31 Agosto 2003

A titolo di esempio, vengono descritti due casi significativi riscontrati nel corso della prima campagna di misure eseguita, rilevati in corrispondenza del sito di San Basilio e relativi alla nave da crociera Costa Atlantica. Ciò consente di analizzare alcune tipologie di effetti indotti nei rii interni al passaggio delle navi di maggiore stazza.

In particolare vengono esaminati gli effetti provocati dal passaggio della nave, in entrata ed uscita, durante il giorno 31 Agosto 2003. Questi due casi sono stati scelti perché rappresentano entrambe le condizioni evidenziate in Figura 5.1, con formazione di onde negative prodotte dal transito della Costa Atlantica con senso opposto alla direzione della corrente di marea (passaggio in entrata, caso B di Figura 5.1) e con senso concorde (passaggio in uscita, caso A di Figura 5.1).

Il livello di marea registrato in corrispondenza dei due passaggi è riportato nella Figura 5.2.

Il primo passaggio si è verificato in corrispondenza della fase centrale del crescente di marea, con un livello di +32 cm rispetto al livello di Punta Salute, mentre il secondo passaggio si è verificato verso la fine del calante con un livello di marea leggermente inferiore al precedente, pari rispettivamente a +25 cm.

Nonostante i valori di marea siano molto vicini, le caratteristiche idrodinamiche del rio di San Basilio, in corrispondenza dei due passaggi, sono risultate diverse a causa della diversa fase di marea, che nel caso del primo passaggio generava un campo di corrente positivo (con direzione prevalente verso Nord, diretta quindi dal Canale della Giudecca verso il canale interno), mentre nel caso del secondo passaggio generava un campo di corrente negativo (diretto quindi dal rio di San Basilio verso il Canale della Giudecca).

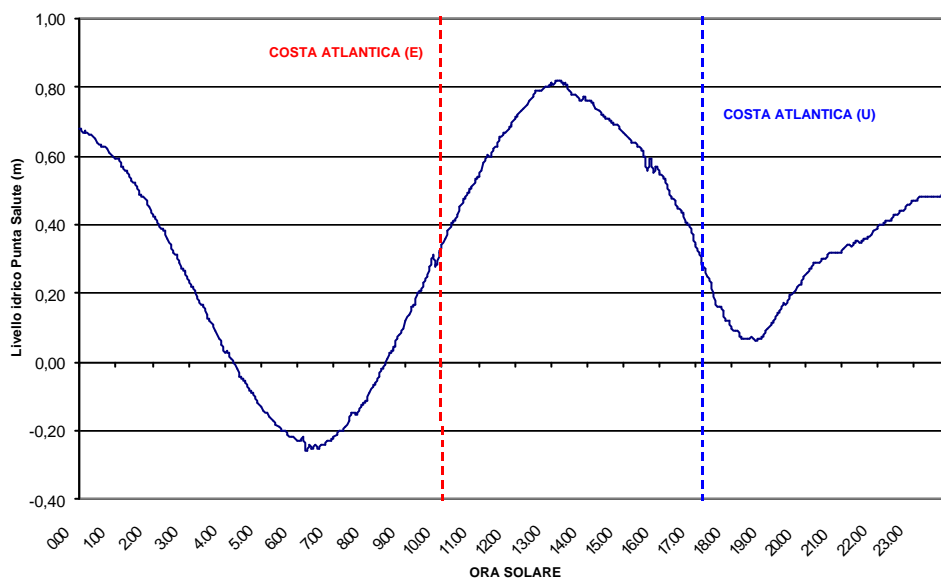


Figura 5.2. Livello di marea registrato a Punta Salute il giorno 31 Agosto 2003.  
File di riferimento: ba11 e ba13.

### COSTA ATLANTICA IN ENTRATA – PRIMO PASSAGGIO (file ba11)

La velocità della nave in corrispondenza del passaggio nei pressi della stazione di San Basilio è risultata essere di 10.4 km/h, mentre la sua distanza dalla riva è risultata pari a 115 m.

In corrispondenza del transito della nave di fronte al sito di misura, avvenuto dalle ore 10.57.00 alle ore 10.58.41, si può osservare un abbassamento del pelo libero di circa 8 cm (Figura 5.3), e un decremento della velocità assiale della corrente di marea di circa 15 cm/s (Figura 5.4). L'altezza

d'onda significativa media è risultata pari a 9 cm. Negli istanti di passaggio dell'imbarcazione i valori di torbidità acquisiti a circa 1 m dal fondo, risultano stabilizzati nell'intorno dei 18 FTU.

La velocità della corrente di marea negli istanti precedenti al passaggio della nave è di circa 18 cm/s, ed è diretta verso l'interno del canale di San Basilio. L'onda provocata dal passaggio, evidenziata dalla diminuzione del livello idrico, determina la formazione di un'onda negativa (con direzione opposta alla corrente di marea, e quindi diretta verso il Canale della Giudecca) che si sovrappone al campo di corrente esistente determinandone la riduzione fino a valori di velocità prossimi allo zero (Figura 5.4).

Il fenomeno è transitorio e si verifica in corrispondenza della fase centrale del passaggio della nave; quando il livello, dopo aver raggiunto i valori minimi tende nuovamente a crescere, l'onda negativa tende a ridursi progressivamente ed il campo di corrente tende a riportarsi sui valori precedenti al passaggio (Figura 5.4).

A causa dell'incremento della velocità di corrente, anche i valori di torbidità tendono a crescere dopo il passaggio della nave, attestandosi definitivamente nell'intorno dei 25 FTU.

In sintesi, le variazioni dei parametri ritenuti più significativi per individuare gli effetti indotti al moto ondosso di fondo dal passaggio della nave sono riportati nella Tabella 5.2.

Velocità di fondo del canale (cm/s)	18,0
Abbassamento massimo del pelo libero (cm)	8,0
Variazione della velocità assiale della corrente (cm/s)	-15,0
Altezza d'onda significativa media (cm)	5,0
Periodo di picco relativo all'intervallo di registrazione (s)	2,0
Variazione dei valori di torbidità (FTU)	0,0

Tabella 5.2. Sintesi delle principali variabili acquisite.

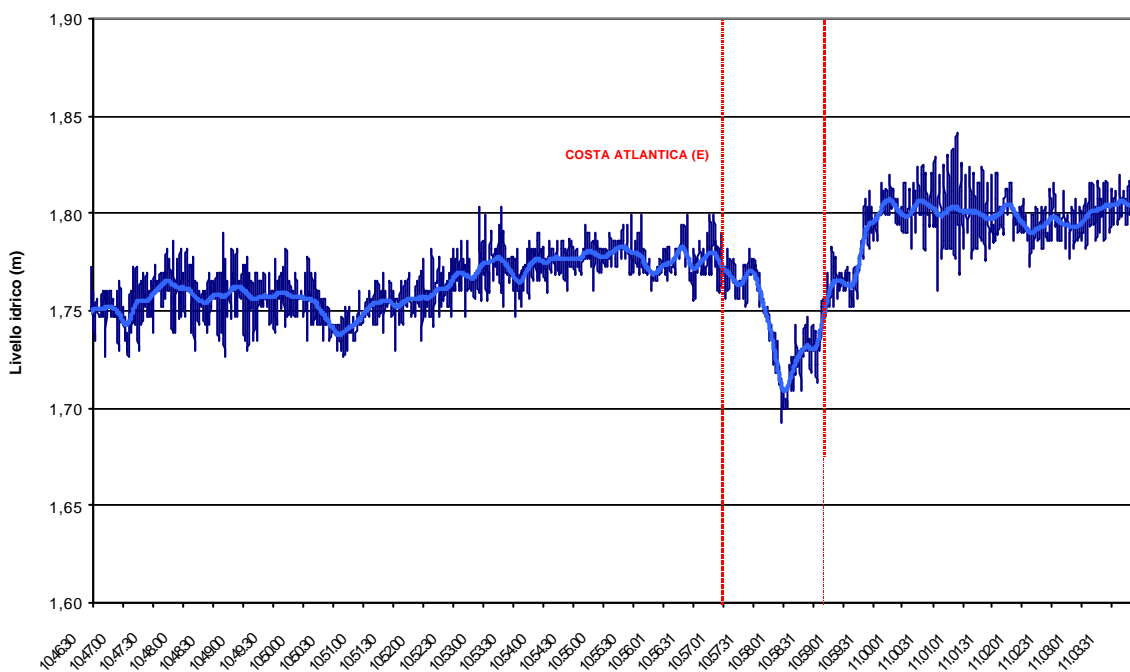


Figura 5.3. 31 Agosto 2003 - Andamento temporale del livello idrico nella sezione di misura del rio di San Basilio.

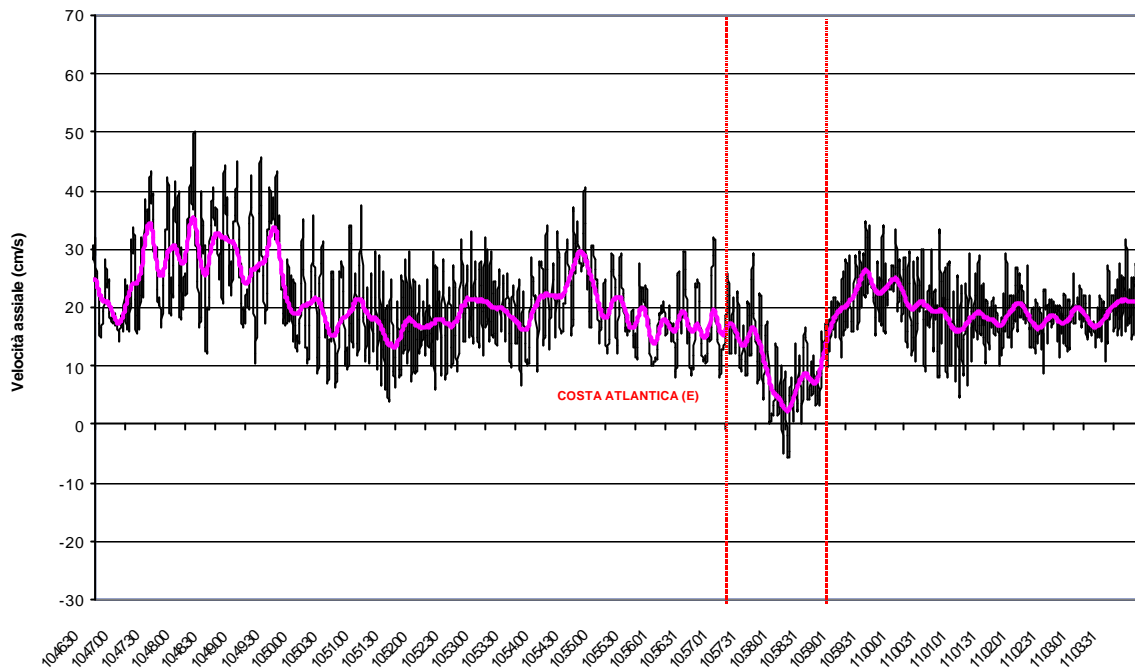


Figura 5.4. 31 Agosto 2003 - Andamento temporale della velocità assiale della corrente in corrispondenza del passaggio in entrata della nave.

**COSTA ATLANTICA IN USCITA – SECONDO PASSAGGIO (file ba13)**

La velocità della nave in corrispondenza del passaggio nei pressi della stazione di San Basilio è risultata essere leggermente superiore al caso precedente e pari a 12.5 km/h, mentre la sua distanza dalla riva è risultata di 138 m.

Rispetto al caso precedente, l'onda negativa prodotta dal passaggio della nave si sovrappone al campo di corrente esistente, generando un incremento nella velocità pari a circa 25 cm/s (Figura 5.5).

In questo caso infatti, la corrente di marea tende a far defluire le acque verso il Canale della Giudecca (valori di velocità negativi), per cui l'onda negativa provocata dal passaggio della nave impone un gradiente di velocità (con direzione dal rio di San Basilio verso il Canale della Giudecca) che si sovrappone concordemente al campo di corrente "di fondo" esistente prima del passaggio dell'imbarcazione. L'incremento della velocità registrato è dello stesso ordine di grandezza del valore della velocità di fondo, ossia della velocità media nel canale prima del passaggio, pari a circa 30 cm/s.

In corrispondenza del passaggio del natante, avvenuto dalle ore 18.20.21 alle ore 18.21.45, la depressione del pelo libero è risultata essere di circa 12 cm (Figura 5.6), quindi leggermente superiore a quella verificatasi nel caso precedente. Tale incremento è spiegabile nella maggiore velocità dell'imbarcazione (12,5 km/h), che in questo secondo caso è risultata essere superiore di 2.1 km/h rispetto al valore relativo al transito iniziale, e nel valore più basso del livello di marea. L'altezza d'onda significativa media è risultata pari a 10 cm.

L'incremento del campo di corrente generato dal passaggio del natante, determina in questo caso un evidente incremento della torbidità (Figura 5.7) che passa da circa 12 FTU negli istanti precedenti il passaggio, a circa 24 FTU nell'istante in cui la velocità raggiunge i valori massimi, per effetto delle elevate sollecitazioni tangenziali prodotte al fondo dall'elevato valore del campo di corrente, che in corrispondenza della massima depressione del pelo libero assume valori prossimi ai 60 cm/s.

Negli istanti seguenti il passaggio, l'effetto transitorio dell'onda tende a ridursi progressivamente fino ad annullarsi dopo circa 2,5 minuti dal transito della poppa della nave.

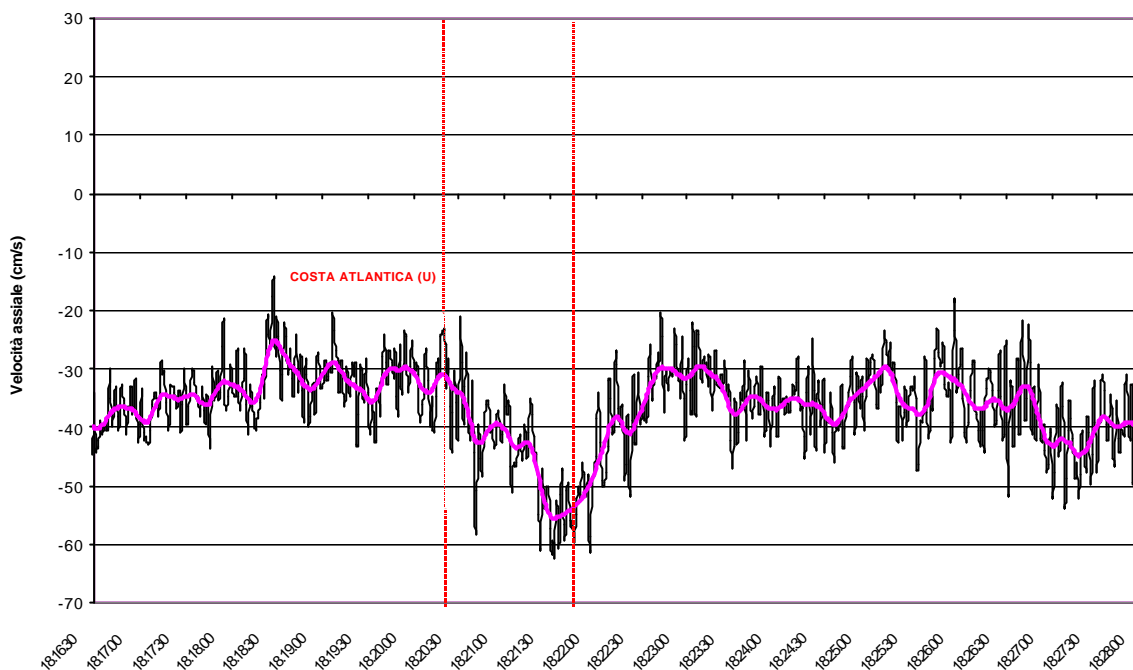


Figura 5.5. 31 Agosto 2003 - Andamento temporale della velocità assiale della corrente in corrispondenza del passaggio in uscita della nave Costa Atlantica.

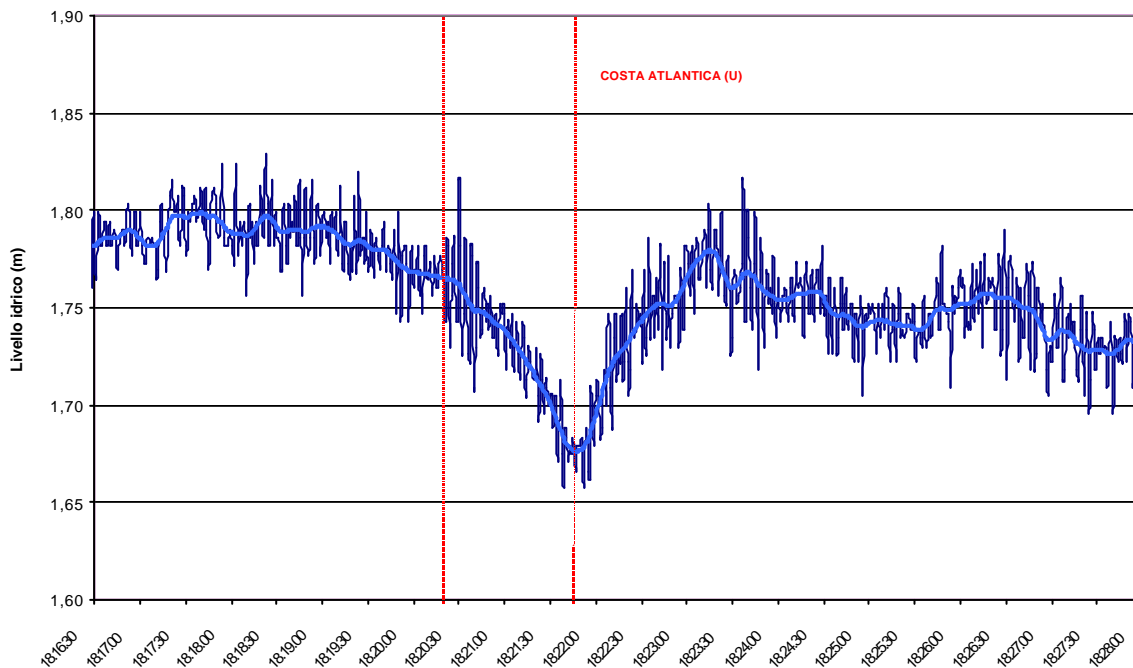


Figura 5.6. 31 Agosto 2003 - Andamento temporale del livello idrico nella sezione di misura del rio di San Basilio.

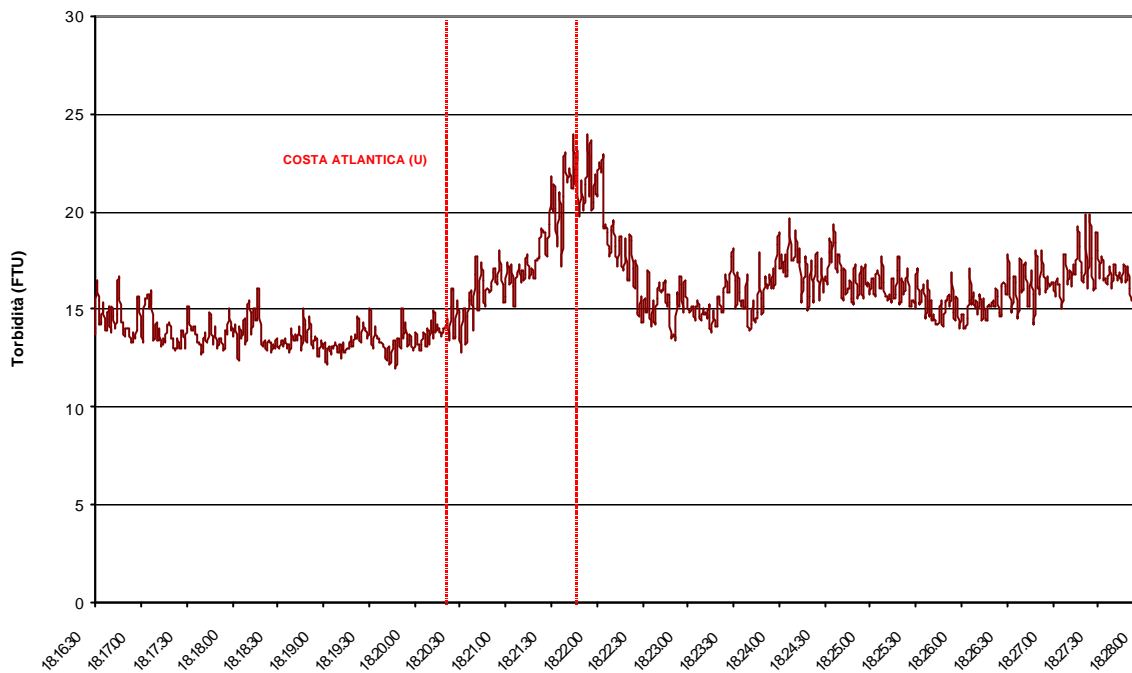


Figura 5.7. 31 Agosto 2003 - Andamento temporale della torbidità registrata dal sensore OBS.

Le variazioni dei parametri ritenuti più significativi sono riportati nella Tabella 5.3.

Velocità di fondo del canale (cm/s)	-30.0
Abbassamento massimo del pelo libero (cm)	12.0
Variazione della velocità assiale della corrente (cm/s)	25.0
Altezza d'onda significativa media (cm)	8.0
Periodo di picco relativo all'intervallo di registrazione (s)	1.9
Variazione dei valori di torbidità (FTU)	12.0

Tabella 5.3. Sintesi delle principali variabili acquisite.

In questo secondo caso quindi, gli effetti provocati dalla nave sono risultati sicuramente più evidenti rispetto a quelli riscontrati in corrispondenza del primo passaggio, sia in termini di risospensione che in termini di incremento del campo di corrente. Ciò a dimostrazione che “l’intensità” delle perturbazioni indotte nei rii interni, non dipendono solamente dalle dimensioni del natante, ma anche dalla sua velocità, dalla distanza di passaggio dalla riva, e dal livello e fase di marea nell’istante del passaggio.

## 6. Conclusioni

L’analisi dei dati sperimentali acquisiti in corrispondenza del passaggio dei natanti ha permesso di evidenziare gli effetti dell’abbassamento del pelo libero dell’acqua nei canali individuati per lo studio.

Come sopra evidenziato, la fase di marea riveste un ruolo importante nel determinare l’incremento della velocità dell’acqua rispetto alla velocità mareale di fondo durante il transitorio, in corrispondenza della massima depressione del piano d’acqua. La direzione prevalente della velocità di fondo della corrente infatti, viene imposta dalla fase di marea e può essere concorde (se lo spostamento delle masse d’acqua avviene verso il Canale della Giudecca e verso il Bacino di San



Marco – generalmente in fase di marea calante), o discorde (direzioni inverse alle precedenti) rispetto all'incremento di velocità provocato dalla depressione del pelo libero generato dal passaggio della nave.

Pertanto, i fattori determinanti per l'alterazione dei parametri idrodinamici di fondo nei canali minori, in corrispondenza del passaggio delle navi, sono:

- la dimensione e le caratteristiche geometriche della nave,
- la sua velocità di spostamento,
- la distanza dalle rive in corrispondenza del transito,
- le condizioni mareali (livello e fase di marea).

Le velocità delle navi registrate nel corso delle 4 campagne di misura sono risultate tutte prossime e talvolta anche leggermente superiori al limite massimo consentito dalle ordinanze n° 9/2002 e n° 42/2002 emanate dal Commissario di Governo Delegato al Traffico Acqueo nella laguna di Venezia. Tali ordinanze indicano i limiti di velocità e i criteri generali riguardanti la navigazione nella laguna di Venezia, e consentono nel Canale della Giudecca e in Bacino San Marco una velocità massima di 11 km/h per le imbarcazioni da diporto e per le navi traghetto e da crociera.

La velocità più bassa misurata è risultata quella relativa all'unico passaggio della nave Constellation registrato nel corso della seconda campagna, con un valore prossimo ai 9 km/h, mentre la più alta (circa 17 km/h) si è registrata in corrispondenza di un passaggio del Ferry Boat Metamauco.

Le distanze di passaggio dalle rive dei natanti sono risultate variabili da 87 a 208 m, con un valore medio in corrispondenza dei 4 siti di misura di circa 147 m.

Gli effetti più evidenti di alterazione idrodinamica nei canali minori si sono riscontrati in corrispondenza del passaggio delle navi da crociera, ed in particolare della Costa Atlantica, che assieme alla Constellation rappresenta la nave di maggiore stazza tra quelle considerate.

L'abbassamento massimo del piano d'acqua registrato per la Costa Atlantica è risultato di 18 cm, mentre i valori medi riscontrati nel corso dei vari passaggi della nave, sono risultati variabili tra gli 8 e i 14 cm. Le variazioni di velocità della corrente registrate nelle varie stazioni di misura sono risultate variabili tra i 20 e i 50 cm/s, a seconda del livello di marea e delle condizioni di passaggio (velocità e distanza dalle rive).

Gli effetti indotti dalla Constellation (TSN 53.239 t) nell'unico passaggio rilevato, sono risultati invece meno significativi, a causa principalmente della velocità ridotta della nave (circa 9 km/h) e alle condizioni di marea non particolarmente bassa (fase centrale del crescente di marea, con un livello prossimo allo zero di Punta Salute). In queste condizioni, il massimo abbassamento del pelo libero è risultato di 4 cm con una variazione di velocità di circa 24 cm/s, e quindi dello stesso ordine di grandezza del valore della velocità di fondo della corrente di marea. Si ritiene che in condizioni di bassa marea e di velocità più elevata della nave, gli effetti da essa prodotti, in corrispondenza dei canali minori, possano risultare molto maggiori rispetto a quelli evidenziati in corrispondenza dell'unico passaggio registrato.

La nave da crociera European Vision (TSN 33.222 t) ha prodotto effetti analoghi a quelli riscontrati per la Costa Atlantica (TSN 52.000 t), con un abbassamento massimo del piano d'acqua, rilevato nel rio di Santa Eufemia, di 19 cm e un incremento della velocità assiale di circa 40 cm/s, che ha determinato una corrente complessiva durante il transitorio di circa 70 cm/s, e un evidente incremento della torbidità causato dalla risospensione dei sedimenti di fondo. La velocità elevata di transito della nave, superiore ai 15 km/h, appare in questo caso determinante nella formazione di effetti così rilevanti, comparabili a quelli riscontrati per la Costa Atlantica, che è una nave di dimensioni e stazza maggiori.

Le altre navi da crociera hanno provocato effetti meno significativi, con abbassamenti del pelo libero variabili tra 3 e 12 cm, e variazioni di velocità assiale della corrente comprese tra 4 e 35 cm/s.

Tra le navi traghetto, l'unica ad aver prodotto effetti di una qualche rilevanza, relativamente alla variazione dei parametri idrodinamici misurati, è stata l'Ariadne Palace (TSN 9.356 t), che ha generato un abbassamento massimo del livello di 7 cm e un incremento di velocità nel rio di San

Basilio di circa 25 cm/s, mentre le altre navi traghetto e i due Ferry Boat registrati non hanno prodotto effetti particolarmente rilevanti.

Dall'esame di tutti i dati acquisiti, si ritiene pertanto che gli effetti indotti dal passaggio delle navi di maggiore stazza possono provocare evidenti alterazioni idrodinamiche nei canali minori afferenti al canale principale di transito. Gli intervalli di tempo in cui tali fenomeni si manifestano, corrispondono alla durata dei transitori che vengono generati dalla formazione di onde positive che si propagano al cessare della depressione del piano d'acqua, e possono durare anche diversi minuti e non sono quindi da sottovalutare.

Si ritiene pertanto che una riduzione della velocità di transito delle navi, in particolare di quelle di stazza netta superiore alle 35.000 tonnellate, possa provocare riduzioni evidenti relativamente agli effetti idrodinamici indotti nei canali minori in corrispondenza dei vari passaggi. La riduzione della velocità, ad esempio da 11 km/h a 7-8 km/h, ove possibile, potrebbe essere sufficiente per ridurre gli effetti del passaggio delle navi anche in condizioni di maree particolarmente basse. Anche la traiettoria del passaggio risulta determinante, e sarebbe consigliabile, quando possibile, il mantenimento della rotta sull'asse centrale del Canale della Giudecca.

Per quanto riguarda il livello di marea, che non viene utilizzato come parametro discriminante nella scelta degli orari di transito e nella definizione dei calendari di passaggio delle navi, potrebbe essere maggiormente considerato al fine di evitare il transito dei natanti con condizioni di marea inferiori ai -20 cm rispetto al riferimento del mareografo di Punta Salute.

Si ritiene infatti che al di sotto di tale valore di marea, ed in corrispondenza della sovrapposizione concorde delle direzioni della velocità di fondo della corrente mareale e del gradiente di velocità indotto dalle massime depressioni del piano d'acqua, i valori complessivi di velocità assiale potrebbero superare anche i valori di 1 m/s, risultando quindi di intensità di molto superiore a quella di una normale velocità di marea (che mediamente si aggira come valori massimi nell'intorno dei 25 - 30 cm/s), e determinando fenomeni di risospensione locale di una certa rilevanza.