



Consorzio per la Gestione del Centro
di Coordinamento delle Attività di Ricerca
inerenti il Sistema Lagunare di Venezia

Palazzo Franchetti S. Marco 2847 30124 Venezia

Tel. +39.041.2402511 Fax +39.041.2402512

Progetto **STUDIO B.6.72 B/9**

**ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL
MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI
DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE
BOCCHIE LAGUNARI**

Contratto Thetis-CORILA n. 132000442

Documento **MACROATTIVITÀ: PRATERIE A FANEROGAME
MODELLAZIONE MATEMATICA IDRO-
MORFODINAMICA DELLE PRATERIE A
FANEROGAME MARINE
RAPPORTO FINALE**

Versione **1.0**

Emissione **1 Luglio 2014**

Redazione

Verifica

Verifica

Verifica

Approvazione

Ing. Luana Stefanon
(ICEA-UNIPD)

Ing. Luca Carniello
(ICEA-UNIPD)

Prof. Andrea
Defina
(ICEA-UNIPD)

Prof.ssa Patrizia Torricelli
Ing. Pierpaolo Campostrini

Indice

1	INTRODUZIONE.....	3
2	LA MODELLAZIONE MATEMATICA.....	4
2.1	Il modello idrodinamico	4
2.1	Schematizzazione del dominio di calcolo	5
3	CAMPAGNE DI MISURA	9
3.1	Campagne di misura condotte alla bocca di Chioggia.....	9
3.2	Campagne di misura condotte alla bocca di Malamocco.....	11
4	CONFRONTO TRA I DATI RACCOLTI NEL CORSO DELLE CAMPAGNE DI MISURA E I RISULTATI DEL MODELLO IDRODINAMICO	13
4.1	Campagna di misure del 13-15 gennaio 2014	13
4.2	Campagna di misure del 28-29 gennaio 2014.....	20
4.3	Campagna di misure del 19-20 marzo 2014.....	26
5	CONFRONTO TRA LE CONFIGURAZIONI PRECEDENTE E SUCCESSIVA ALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE.....	32
6	CONCLUSIONI.....	43
7	BIBLIOGRAFIA.....	45
	APPENDICE: CAMPI DI VELOCITÀ E DISTRIBUZIONI PLANIMETRICHE DEGLI SFORZI TANGENZIALI.....	47

Alla realizzazione del presente rapporto hanno contribuito:

A. Defina (ICEA - UNIPD)

L. Carniello (ICEA - UNIPD)

L. Stefanon (ICEA - UNIPD)

1 INTRODUZIONE

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito delle attività di monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Nell'arco degli ultimi anni è stata osservata una variazione delle popolazioni di epifiti che vivono sulle fanerogame marine situate in prossimità delle bocche di porto. Dalla letteratura esistente in materia si evince che tale variazione potrebbe essere dovuta a molteplici cause, fra le quali una variazione del campo idrodinamico locale. A tale scopo, nell'ambito delle attività riguardanti la realizzazione del Piano di Monitoraggio è stato messo a punto un modello numerico che permetta di analizzare dal punto di vista idromorfodinamico gli effetti degli interventi legati alla realizzazione delle opere fisse del Mo.S.E..

Lo studio, pertanto, si pone l'obiettivo generale di confrontare il comportamento idrodinamico della laguna di Venezia nelle sue configurazioni antecedente e successiva alla costruzione alle bocche delle opere di difesa dalle acque alte. A completamento delle attività svolte nel corso dei due anni precedenti (B.6.72 B/7 e B.6.72 B/8), rivolte allo studio delle bocche di Lido e Malamocco, nel corso del terzo anno di attività le analisi si sono principalmente focalizzate sulla bocca di Chioggia, in corrispondenza della quale sono state condotte due specifiche campagne di misura per la caratterizzazione idrodinamica delle aree a praterie a fanerogame.

In una prima fase, le attività sono consistite nell'ulteriore verifica e messa a punto dei modelli matematici già sviluppati nel corso delle attività degli anni precedenti e, in particolare, hanno riguardato la schematizzazione della configurazione antecedente alla costruzione delle opere alle bocche e la configurazione attuale della laguna, con particolare riferimento alla bocca di Chioggia. Una parte delle attività ha riguardato, inoltre, la bocca di Malamocco, nei pressi della quale è stata svolta un'ulteriore campagna di misure idrodinamiche in aggiunta a quella già svolta nel corso delle attività B.6.72 B/8.

Nello specifico, le capacità predittive del modello per la configurazione attuale della laguna sono state ulteriormente verificate attraverso il confronto con i dati rilevati nel corso delle campagne di misure del 13-15 gennaio 2014 e del 28-29 gennaio 2014 condotte alla bocca di Chioggia e nel corso della campagna del 19-20 marzo 2014 condotta alla bocca di Malamocco, durante le quali sono stati realizzati esclusivamente rilievi correntometrici.

Nella seconda fase, le attività hanno riguardato l'analisi delle differenze nei campi di moto idrodinamici calcolati con il modello per le due configurazioni lagunari *ante e post operam* nelle aree situate in prossimità della bocca di Chioggia. Le analisi sono state condotte nell'ipotesi di considerare due maree astronomiche tipiche per la laguna di Venezia, una rappresentativa di condizioni di sизigia e una di condizioni di quadratura. Le variazioni del campo di moto indotte dalla costruzione delle opere del Mo.S.E., inoltre, sono state analizzate sia in condizioni idrodinamiche controllate dalle sole correnti di marea, sia in condizioni idrodinamiche influenzate dall'effetto combinato della marea e del moto ondoso generato da vento.

2 LA MODELLAZIONE MATEMATICA

2.1 Il modello idrodinamico

La circolazione idrodinamica all'interno dei bacini a marea è, come è noto, efficacemente descritta dalle equazioni delle onde lunghe in acque basse, sulla base delle quali è possibile studiare il comportamento di ambienti il cui campo di moto si sviluppa prevalentemente nel piano orizzontale.

Negli ultimi vent'anni, il Dipartimento ICEA dell'Università di Padova ha sviluppato e messo a punto un modello idrodinamico bidimensionale agli elementi finiti per lo studio dell'idrodinamica lagunare e dei processi a quest'ultima legati, con particolare riferimento a schemi di calcolo che ben si adattano alle caratteristiche della laguna di Venezia. In particolare, il modello proposto risolve le equazioni delle onde lunghe in acque basse opportunamente modificate per essere applicate a domini irregolari, in cui siano eventualmente presenti regioni che, a seconda del livello della marea, risultano alternativamente asciutte o bagnate. La soluzione di tali equazioni è stata affrontata introducendo schemi numerici che sono andati via via perfezionandosi, portando a risultati sempre più accurati.

La strategia alla quale si ispira la modellazione tiene conto della particolare morfologia dei fondali della laguna, dove zone d'acqua bassa particolarmente estese si affiancano a non meno estese superfici di barena, destinate periodicamente ad allagarsi e a prosciugarsi durante l'alternarsi delle maree, e un sistema di potenti canali principali si intreccia con una diffusa, ma non meno importante, rete di piccoli canali.

La necessità di contenere entro tempi scala accettabili la durata delle simulazioni e, quindi, il numero di elementi costituenti la griglia con cui vengono discretizzate le equazioni del moto, mantenendo, al contempo, un'adeguata descrizione dei vari processi fisici, ha portato allo sviluppo di adeguati schemi di sottogriglia in grado di descrivere i fenomeni caratterizzati da una lunghezza-scala inferiore alle dimensioni caratteristiche della griglia di calcolo [e.g. D'Alpaos and Defina, 1993, Defina *et al.*, 1994]. Il modello di sottogriglia sviluppato per descrivere il fenomeno della transizione asciutto/bagnato consente una rappresentazione dei fondali più aderente alla realtà, poiché assume che all'interno di ciascun elemento di calcolo il fondo sia rappresentato non solo dalla sua quota media (o comunque mediante una superficie piana), ma anche dall'ampiezza delle irregolarità topografiche la cui entità è sintetizzata da un parametro avente un ben definito significato statistico [D'Alpaos and Defina, 1993, 1995].

Tale approccio consente di modificare le equazioni delle onde lunghe in acque basse, risolte dal modello idrodinamico, in modo da poter descrivere, in media, gli effetti idrodinamici che le macroirregolarità della batimetria all'interno di un singolo elemento di calcolo producono sui processi di sommersione ed emersione [Defina *et al.*, 1994; D'Alpaos and Defina, 1995; Defina, 2000; D'Alpaos and Defina, 2007].

La necessità di studiare non solo l'idrodinamica ma anche la conseguente evoluzione morfologica di un bacino a marea ha portato allo sviluppo di uno specifico modello di moto ondoso prodotto dal vento, da accoppiare al modello idrodinamico al fine di riprodurre la generazione e la propagazione del moto ondoso nonché l'effetto combinato delle correnti di marea e delle onde da vento che risulta essere di cruciale importanza per descrivere la dinamica dei sedimenti lagunari [Carniello *et al.*, 2005, 2011]. Ai due modelli brevemente descritti è stato, infine, accoppiato un ulteriore modulo in grado di descrivere la risospensione, il trasporto e la deposizione dei sedimenti in laguna per effetto combinato delle correnti di marea e delle onde prodotte dal vento [Carniello *et al.*, 2012, 2014]. Per la descrizione dei sedimenti che costituiscono i fondali lagunari, solitamente caratterizzati dalla contemporanea presenza di sabbia, limo e argilla, il modello

considera una miscela bi-granulare che permette di riprodurre sia il loro eventuale comportamento coesivo sia quello non coesivo. Il modello è altresì in grado di descrivere l'evoluzione del fondo in termini altimetrici e di variazione della composizione granulometrica e, di conseguenza, del grado di coesione del fondale.

Per una descrizione dettagliata delle equazioni utilizzate, delle tecniche numeriche adottate per la loro soluzione e per la taratura del modello si rimanda alla letteratura tecnica [ad esempio: D'Alpaos and Defina, 1995; Defina, 2000; Carniello *et al.*, 2005, 2011, 2012, 2014; D'Alpaos and Defina, 2007] nonché alle attività svolte da ICEA-UNIPD (al tempo Dipartimento IMAGE) nell'ambito dell'aggiornamento del Piano Morfologico della Laguna di Venezia [Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA, 2011].

2.1 Schematizzazione del dominio di calcolo

Come già accennato nella Premessa, lo studio si pone l'obiettivo di analizzare gli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche sull'idrodinamica della laguna di Venezia. A tale scopo è necessario confrontare il campo di moto idrodinamico antecedente alla realizzazione delle opere anzidette con quello attuale, data l'ormai completa realizzazione delle opere stesse. Tale confronto è stato realizzato basandosi sui risultati del calcolo ottenuti con il modello numerico descritto in precedenza utilizzando due distinti reticoli di calcolo che riproducono, rispettivamente, la configurazione della laguna antecedente alle costruzioni delle opere alle bocche (laguna 2003) e la configurazione attuale della laguna (laguna 2012).

Nonostante le attività di monitoraggio siano rivolte a tutte e tre le bocche della laguna di Venezia, l'attività modellistica oggetto del presente anno di attività si è prevalentemente concentrata sulla bocca di Chioggia, ultimando, di fatto, quanto realizzato nei due anni precedenti di attività, nel corso dei quali le analisi avevano riguardato la bocca di Lido e la bocca di Malamocco (Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA, 2012 - Studio B.6.72 B/7 d'ora in avanti indicato come Studio B.6.72 B/7 e Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA, 2013 - Studio B.6.72 B/8 d'ora in avanti indicato come Studio B.6.72 B/8).

Per questo motivo, partendo dai reticoli di calcolo sviluppati nel corso delle precedenti attività (Studio B.6.72 B/7 e Studio B.6.72 B/8), alle quali si rimanda per una descrizione dettagliata dei criteri e dei metodi utilizzati per la produzione delle due griglie, si è proceduto ad infittire le mesh in corrispondenza delle aree vicine alla bocca di Chioggia oggetto delle campagne di misura. I due reticoli sono stati generati utilizzando un numero di elementi confrontabile tra loro, così da evitare qualsiasi differenza nella produzione dei risultati imputabile a schematizzazioni realizzate con un diverso grado di dettaglio (Figura 1 e Figura 2). L'infittimento operato ha l'obiettivo principale di migliorare la descrizione del campo di moto idrodinamico locale e, quindi, di permettere un miglior confronto tra i dati rilevati in campo e i risultati della modellazione matematica.

La quotatura della bocca di Chioggia per la configurazione *ante operam* è stata realizzata utilizzando i rilievi batimetrici condotti tra il 2000 e il 2004 in tutta la laguna di Venezia eseguiti dal Magistrato alle Acque di Venezia. Dal momento che nessun recente rilievo di dettaglio della bocca e delle aree adiacenti è stato reso disponibile, per la configurazione *post operam* si è proceduto ricostruendo la nuova geometria della bocca su fondali equivalenti a quelli del 2003, fatta eccezione per le zone della bocca interessate dalle opere, alle quali sono state assegnate le quote di progetto (Figura 3).

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

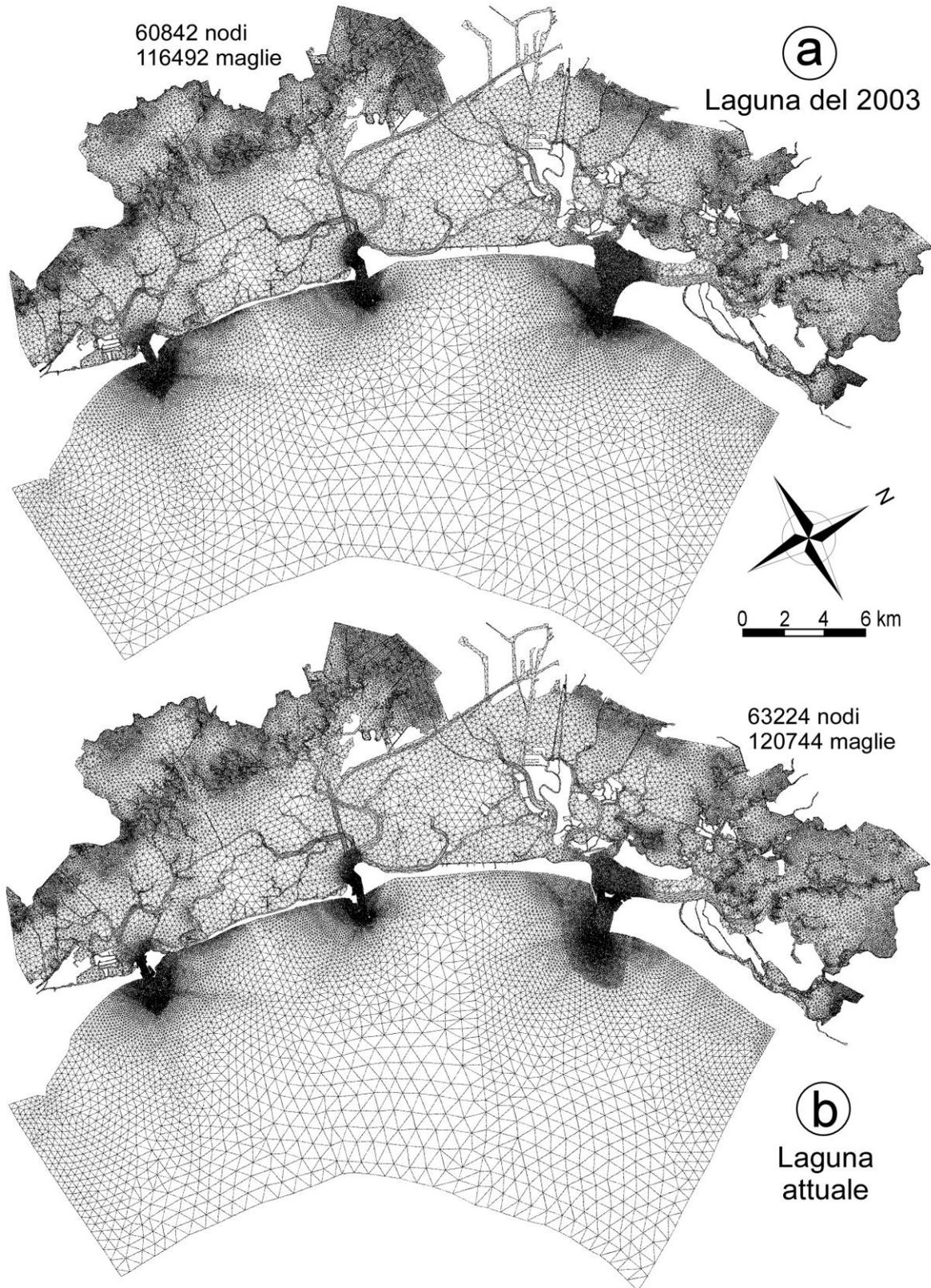


Figura 1 - Reticolo di calcolo rappresentativo della configurazione della laguna di Venezia del 2003 (a) e della configurazione attuale della laguna (b).

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

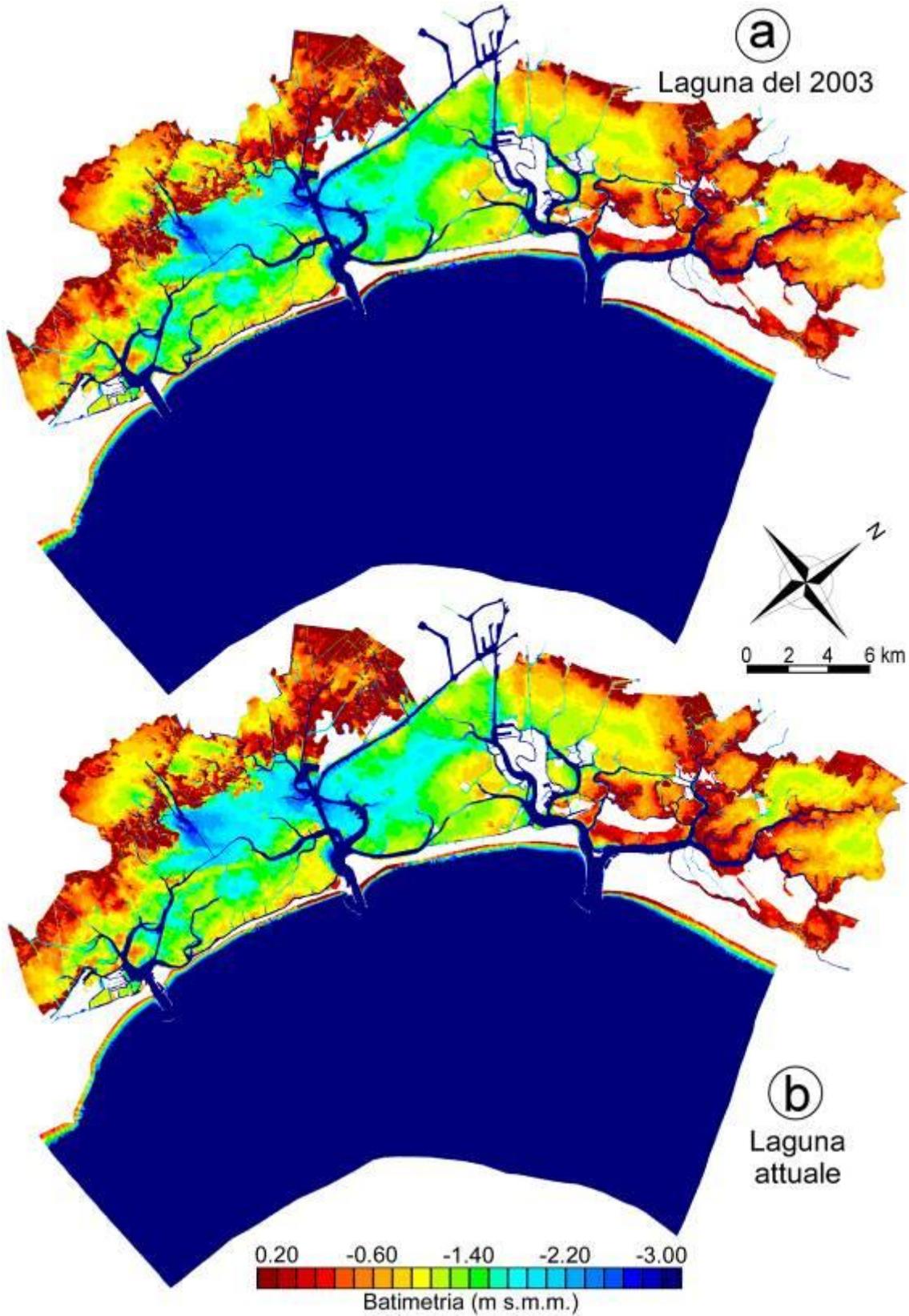


Figura 2 - Rappresentazione a scala di colori delle quote del fondo della configurazione della laguna del 2003 (a) e della sua configurazione attuale (b).

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

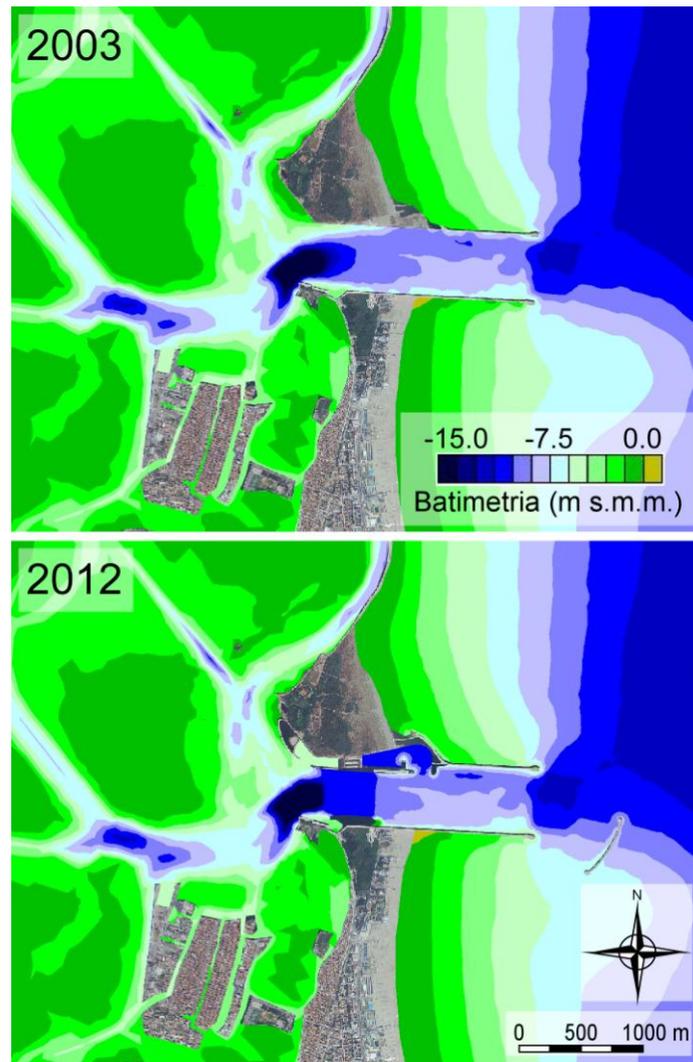


Figura 3 - Confronto tra le configurazioni *ante* (2003) e *post* (2012) *operam* alla bocca di Chioggia.

3 CAMPAGNE DI MISURA

In questo capitolo si descrivono brevemente le campagne di misura condotte nel corso dell'ultimo anno in prossimità delle bocche di Chioggia e di Malamocco nell'ambito dell'Attività 2.5: "Campagne di misura per la caratterizzazione delle aree a praterie a fanerogame" (come previsto dal Disciplinare Tecnico dello Studio B.6.72 B/9), alla quale si rimanda per una descrizione dettagliata dei rilievi condotti e della strumentazione utilizzata nel corso delle campagne di misura.

3.1 Campagne di misura condotte alla bocca di Chioggia

Nel mese di gennaio 2014 sono state condotte due campagne di misura alla bocca di Chioggia: la prima nei giorni 13 e 15 gennaio e la seconda nei giorni 28 e 29 gennaio. Entrambe le campagne di misura hanno interessato l'area compresa tra il forte S. Felice e Caroman, nonché la zona di bassofondo adiacente ai canali della Perognola e Caroman (Figura 4).

Nel corso di entrambe le campagne sono stati condotti esclusivamente rilievi correntometrici con due tecniche diverse, una stanziale (correntometri S4) e l'altra itinerante (ADCP).

In particolare, in corrispondenza del bassofondo sono stati installati alcuni correntometri S4, in grado di registrare in continuo il modulo e la direzione della velocità locale (punti C2, C2/1, C2/2, C2/3, C5, C5/1, C5/2 e C5/3 indicati in Figura 4).

I rilievi correntometrici ADCP hanno interessato, invece, tre sezioni significative poste in adiacenza al bassofondo, relative al canale di bocca, al canale di Caroman e al canale della Perognola (rispettivamente sezioni BC, CD e AB in Figura 4). Tali misure consentono di determinare la distribuzione delle velocità all'interno della sezione stessa e, da questa, la portata fluente. I rilievi sono stati ripetuti frequentemente nel corso dell'intera fase di riflusso della marea, allo scopo di ricostruire la portata fluente durante tutta la fase di marea calante e verificare in modo più efficace la bontà della modellazione matematica proposta.

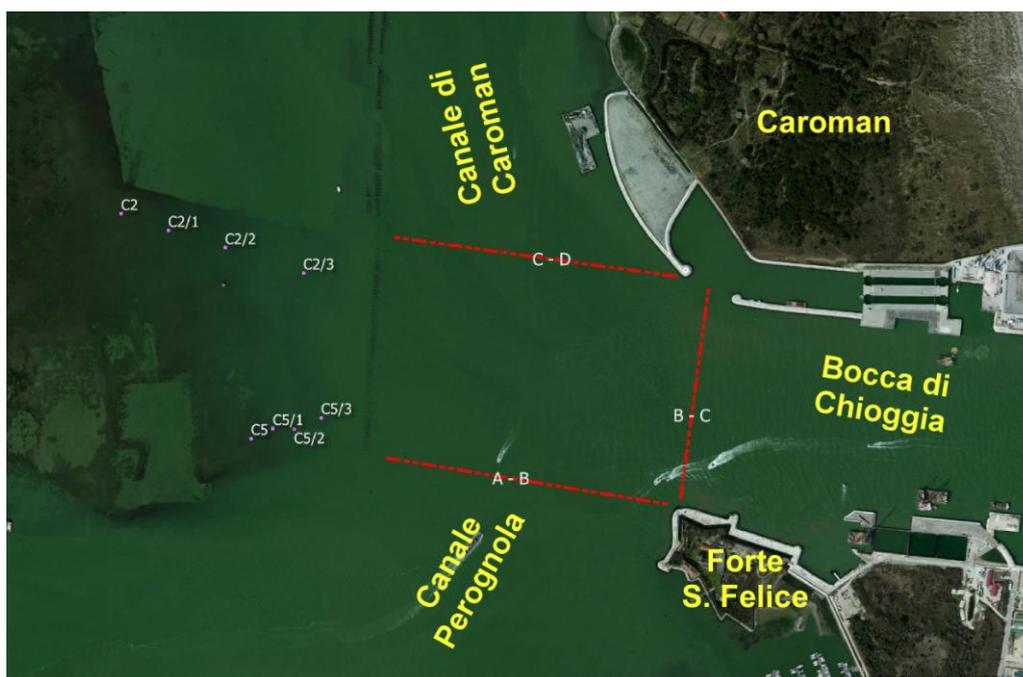


Figura 4 - Rilievi condotti in prossimità della bocca di Chioggia nel corso delle campagne di misura di gennaio 2014.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Nel corso della prima campagna di misure (13-15 gennaio 2014) i rilievi sono stati condotti durante le fasi di riflusso della marea in condizioni meteorologiche piuttosto buone, caratterizzate da cielo sereno e sostanziale assenza di vento (Figura 5).

Durante questa campagna, avendo a disposizione quattro correntometri S4, i rilievi correntometrici sul bassofondo sono stati suddivisi nelle due giornate. In particolare, il 13 gennaio i correntometri sono stati installati nei punti C2, C2/1, C2/2 e C2/3, mentre il 15 gennaio le velocità sono state rilevate nei punti C5, C5/1, C5/2 e C5/3 (Figura 4).

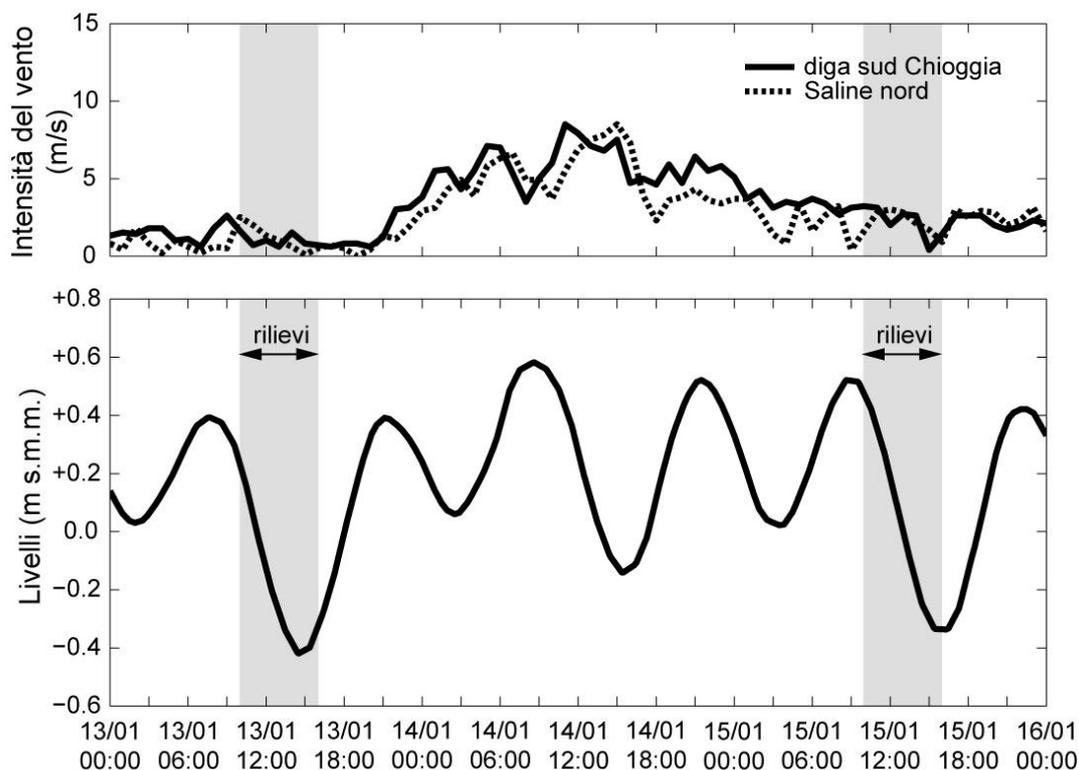


Figura 5 - Intensità del vento e livelli di marea registrati alla Piattaforma CNR nei giorni 13-15 gennaio 2014. I livelli sono riferiti al medio mare Genova 1942.

Nel corso della seconda campagna di misure (28-29 gennaio 2014) le attività di rilievo sono state condotte in condizioni meteorologiche caratterizzate da presenza di vento di intensità non trascurabile (Figura 6).

I rilievi ADCP nelle tre sezioni AB, BC e CD (Figura 4) hanno interessato la fase di marea calante (Figura 6), in analogia alla procedura seguita durante la campagna di misure di metà gennaio.

I rilievi correntometrici condotti sul bassofondo mediante S4 sono stati suddivisi nelle due giornate dedicate alle attività di rilievo. In particolare, il 28 gennaio quattro correntometri S4 sono stati installati nei punti C5, C5/1, C5/2 e C5/3 (Figura 4) e sono stati lasciati acquisire dati per circa ventiquattr'ore. Il giorno seguente, invece, gli S4 sono stati installati nei punti C2, C2/1, C2/2 e C2/3, e hanno rilevato le velocità solo durante la fase di marea calante.

CORILA
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

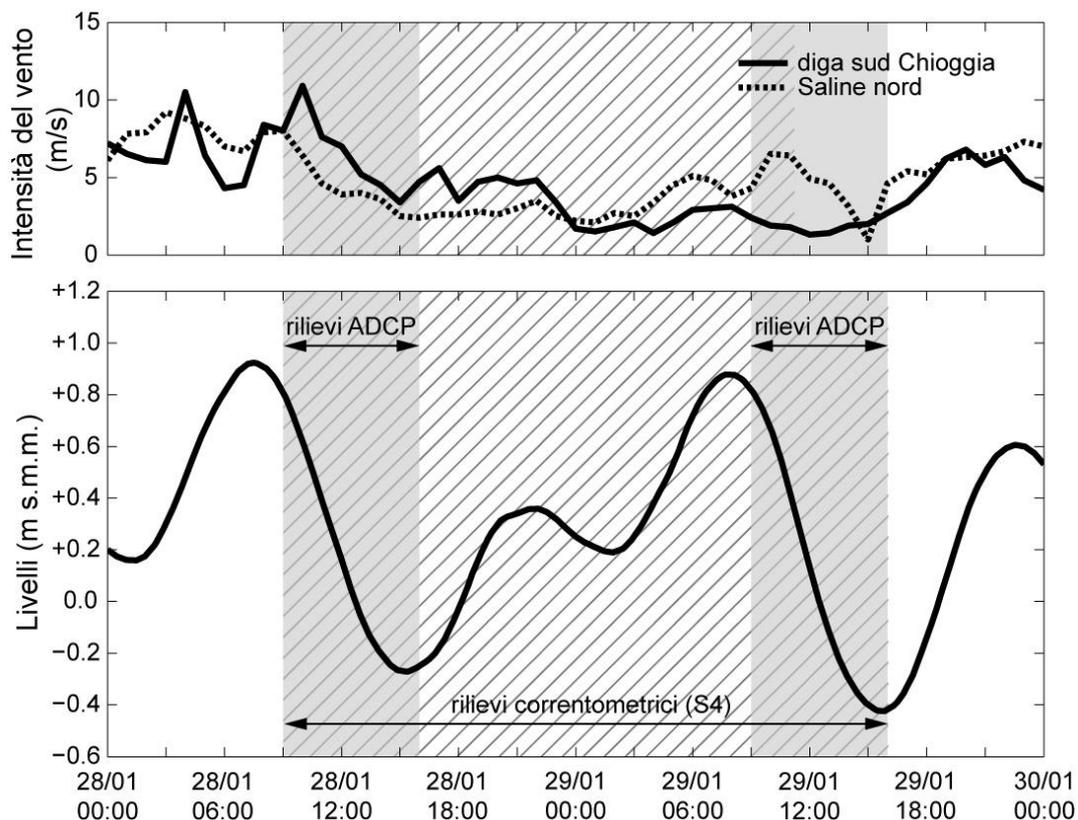


Figura 6 - Intensità del vento e livelli di marea registrati alla Piattaforma CNR nei giorni 28 e 29 gennaio 2014. I livelli sono riferiti al medio mare Genova 1942.

3.2 Campagne di misura condotte alla bocca di Malamocco

Nei giorni 19 e 20 marzo 2014 è stata condotta una nuova campagna di misura alla bocca di Malamocco. I rilievi sono stati condotti durante la fase di marea calante, in condizioni meteorologiche piuttosto stabili e caratterizzate da sostanziale assenza di vento (Figura 7), completando, di fatto, le campagne di misura condotte nell'ambito dello Studio B.6.72 B/8 che avevano considerato solo condizioni meteorologiche caratterizzate da venti piuttosto intensi.

Nel corso di questa campagna di misure, in modo analogo a come si è proceduto alla bocca di Chioggia, sono stati condotti esclusivamente rilievi correntometrici.

In particolare, sono state rilevate mediante correntometri ADCP cinque sezioni, di cui tre collocate in prossimità del canale di bocca e due collocate lungo il canale S. Pietro, grazie alle quali è stato possibile ricostruire la portata totale fluente attraverso la bocca (sezioni BC e CD in Figura 8) e la portata fluente all'interno del canale di S. Pietro (sezione AB, EF e GH in Figura 8).

Durante questa campagna di misure sono stati condotti, inoltre, alcuni rilievi correntometrici sulla zona di basso fondale adiacente al canale di S. Pietro (Figura 8). In particolare, in quest'area sono stati posizionati quattro correntometri S4, allo scopo di registrare in continuo il modulo e la direzione delle velocità locali nei punti M3, ME/1, M3/2 e M3/3 indicati in Figura 8.

CORILA
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

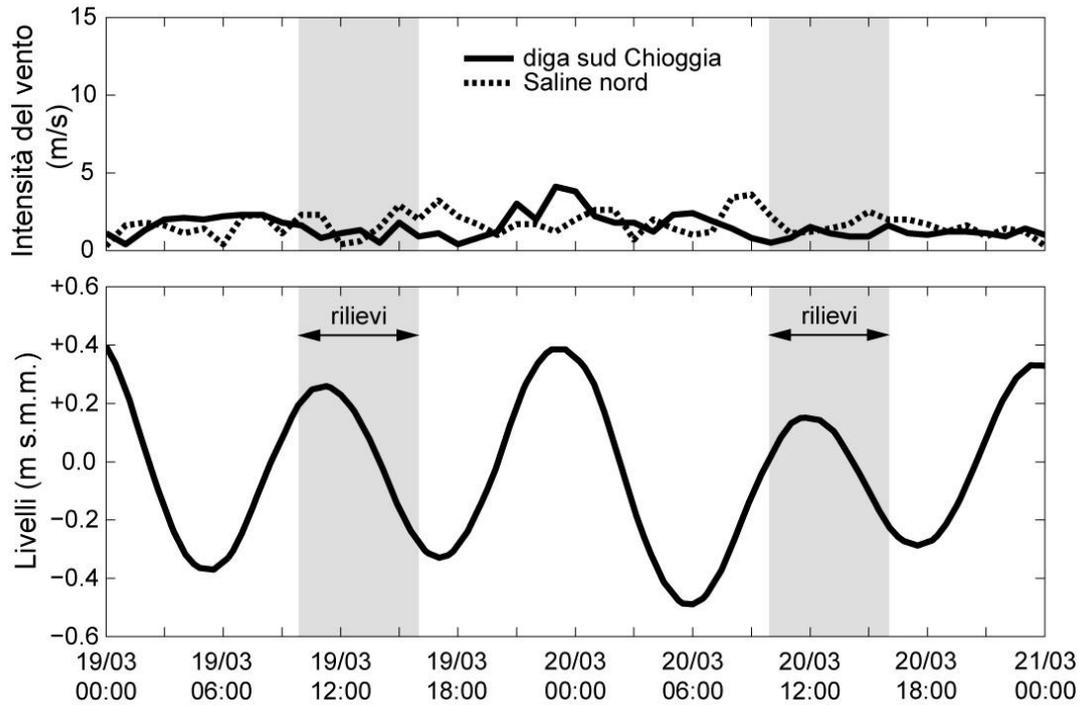


Figura 7 - Intensità del vento e livelli di marea registrati alla Piattaforma CNR nei giorni 19 e 20 marzo 2014. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.



Figura 8 - Rilievi condotti in prossimità della bocca di Malamocco nel corso della campagna di misura di marzo 2014.

4 CONFRONTO TRA I DATI RACCOLTI NEL CORSO DELLE CAMPAGNE DI MISURA E I RISULTATI DEL MODELLO IDRODINAMICO

In questo capitolo, i dati raccolti in campo sono stati posti a confronto con i risultati numerici forniti dal modello al fine di verificare ulteriormente la capacità del modello stesso di riprodurre in modo attendibile l'idrodinamica lagunare. Tali confronti di fatto estendono e completano le attività di test del modello svolte negli anni precedenti che, come già accennato, avevano preso in considerazione la bocca di Lido e quella di Malamocco (Studio B.6.72 B/7 e Studio B.6.72 B/8).

4.1 Campagna di misure del 13-15 gennaio 2014

Le condizioni meteorologiche piuttosto stabili e il tempo decisamente sereno che hanno caratterizzato la campagna di misura svoltasi nei giorni 13 e 15 gennaio 2014 hanno permesso di escludere qualsiasi effetto dovuto al vento sulla propagazione della marea. Per questo motivo, le simulazioni sono state condotte imponendo come sole condizioni al contorno i livelli di marea registrati in mare alla Piattaforma CNR nei giorni delle misure (Figura 9). Tali livelli sono stati imposti su tutti i nodi che costituiscono il limite a mare del dominio di calcolo.

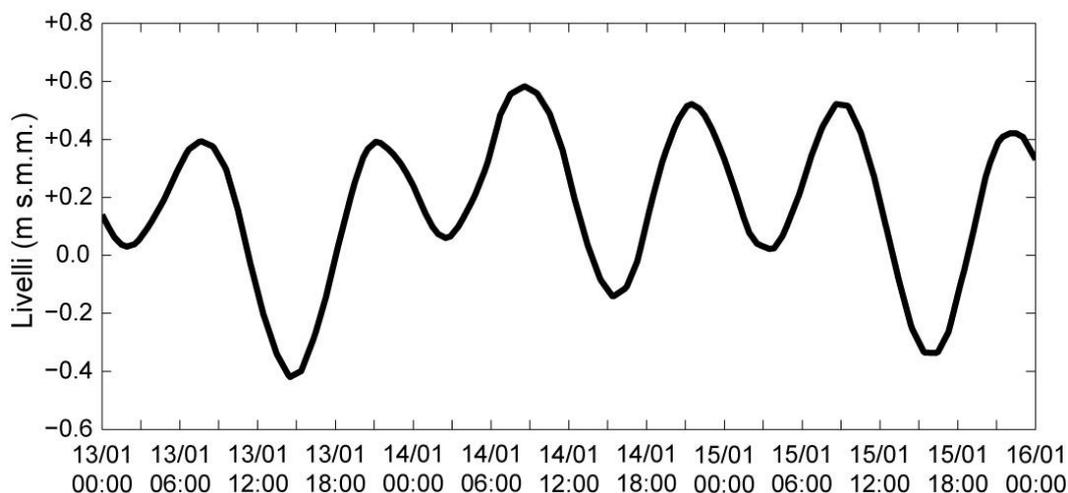


Figura 9 - Andamento dei livelli di marea registrati alla Piattaforma CNR nei giorni della campagna di misure del 13-15 gennaio 2014 e imposti come condizione al contorno al modello idrodinamico. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

Allo scopo di confrontare i livelli calcolati con il modello e quelli misurati in laguna nei giorni dei rilievi sono state considerate le registrazioni mareografiche di alcune stazioni collocate all'interno della laguna di Venezia (Figura 10). Tutte le stazioni mareografiche considerate sono gestite dall'I.C.P.S.M. (Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia), fatta eccezione per la stazione di Petta di Bo', gestita da I.S.P.R.A. Venezia (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)*.

* All'atto della trasmissione dei dati, ISPRA ha espressamente richiesto di precisare che gli stessi non sono ancora stati oggetto di validazione.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

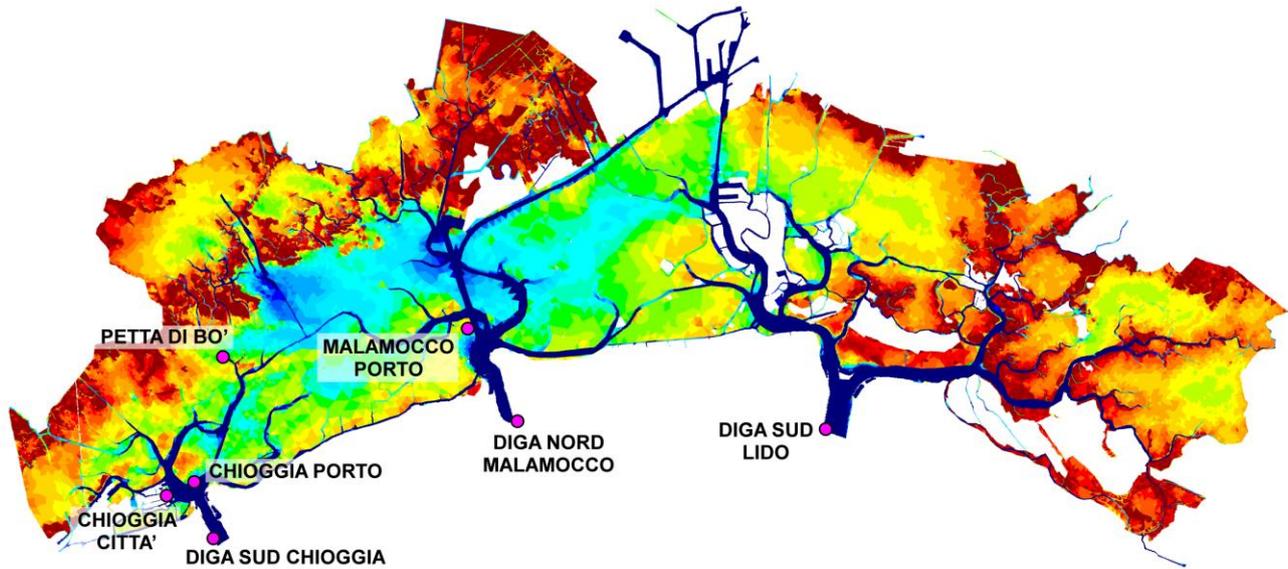


Figura 10 - Posizioni delle stazioni mareografiche in corrispondenza delle quali sono stati realizzati i confronti dei livelli per tutte le campagne di misura considerate nella presente attività.

La prima verifica ha riguardato la capacità del modello di riprodurre correttamente la marea in prossimità delle tre bocche di porto (Figura 11). Successivamente, il confronto dei livelli è stato esteso alle tre stazioni situate nel bacino dominato dalla bocca di Chioggia e collocate a varie distanze dalla bocca stessa, per le quali erano disponibili le registrazioni mareografiche nei giorni 13 e 15 gennaio 2014 (Figura 10). Tali stazioni sono quelle di Chioggia città, Chioggia porto e Petta di Bo' (Figura 12). Come risulta evidente dalla Figura 11 e dalla Figura 12, il modello è in grado di riprodurre correttamente i livelli sia in corrispondenza delle bocche di porto sia all'interno del bacino. Il confronto in corrispondenza della stazione di Chioggia porto è stato possibile solo per il giorno 13 gennaio a causa di un malfunzionamento dello strumento di misura, che ha interrotto la registrazione dei livelli a partire dalla mezzanotte del 14 gennaio.

Come già descritto al Cap. 3, nel corso della campagna di misure sono stati realizzati dei rilievi correntometrici mediante ADCP lungo tre sezioni collocate in prossimità del forte S. Felice (Figura 4), le quali hanno permesso di ricostruire la portata fluente attraverso il canale di bocca (sezione BC), il canale della Perognola (sezione AB) e il canale di Caroman (sezione CD) in vari istanti della fase di riflusso della marea. In particolare, i rilievi condotti hanno permesso di ricostruire per entrambi i giorni della campagna di misure le portate massime uscenti dalla bocca.

Nella Figura 13 è illustrato il confronto tra le portate calcolate con il modello e le portate misurate nelle tre sezioni considerate. Ricordando che il confronto sulle portate è sicuramente un test più impegnativo e significativo rispetto al confronto sui livelli, osservando i grafici si può notare come l'accordo sia, nel complesso, molto buono.

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

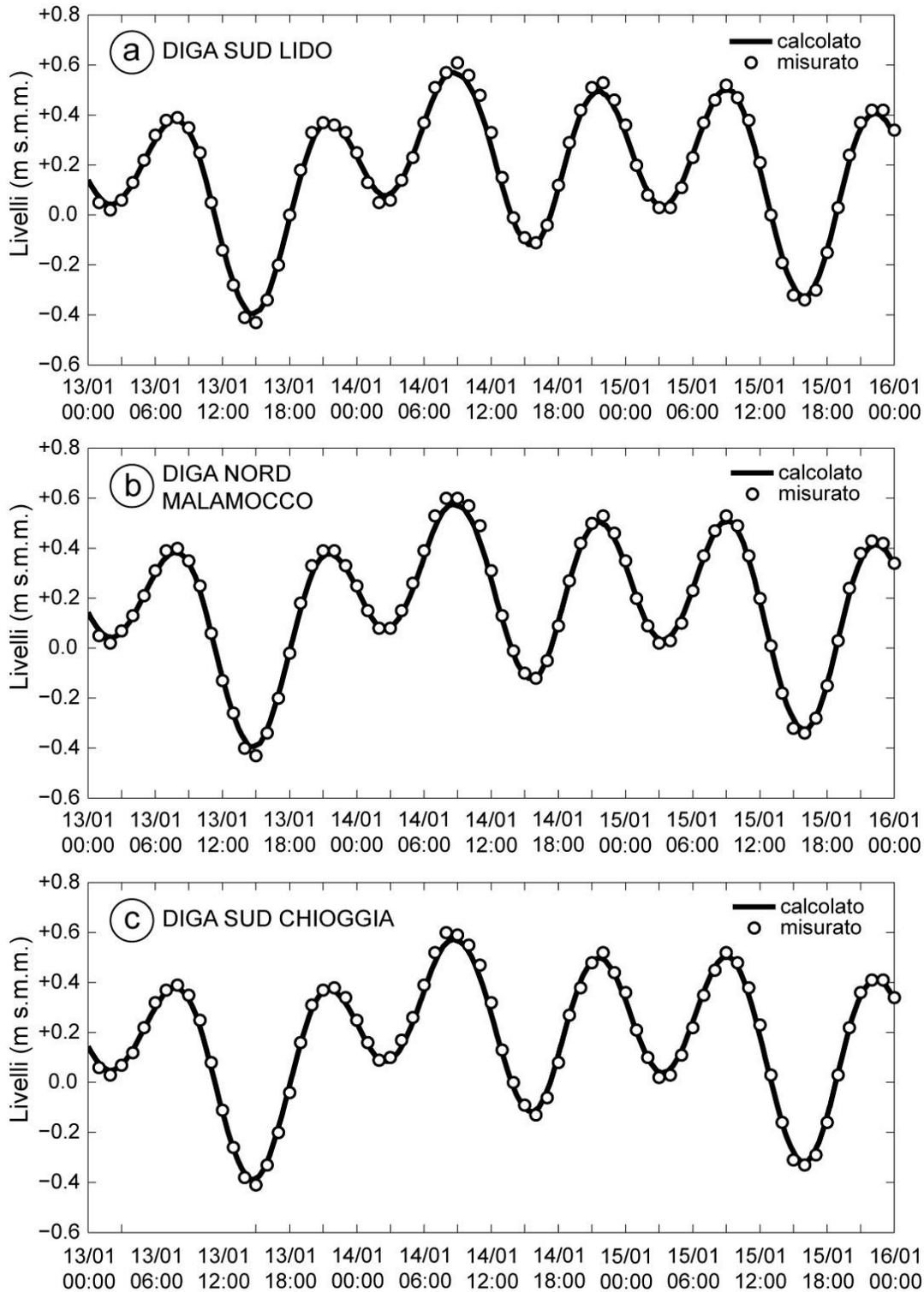


Figura 11 - Confronto tra i livelli di marea registrati alle stazioni mareografiche collocate (a) sulla diga sud della bocca di Lido, (b) sulla diga nord della bocca di Malamocco e (c) sulla diga sud della bocca di Chioggia a cavallo dei giorni della campagna di misure del 13-15 gennaio 2014. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

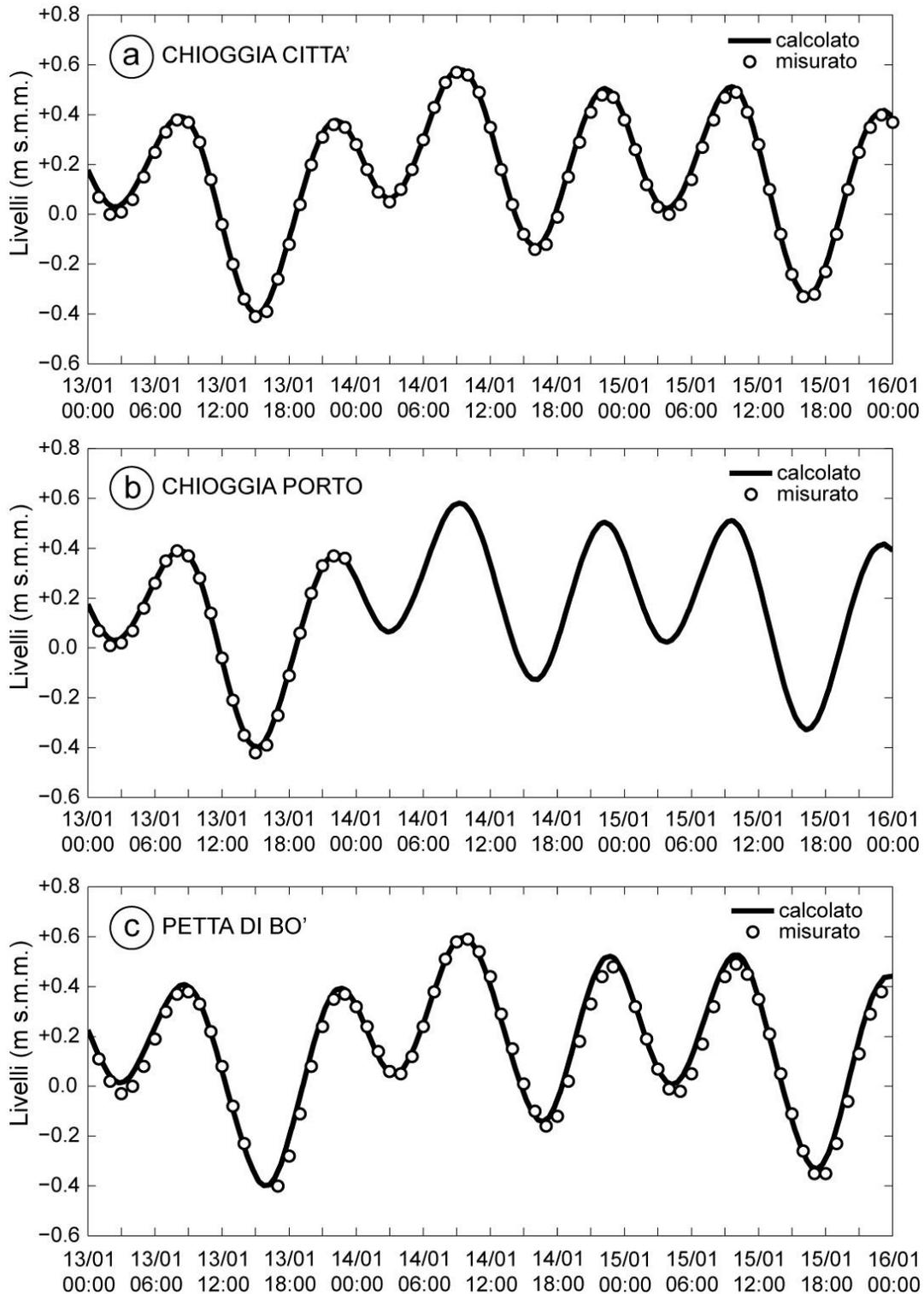


Figura 12 - Confronto tra i livelli di marea registrati alle stazioni mareografiche di (a) Chioggia Città, (b) Chioggia Porto e (c) Petta di Bo' a cavallo dei giorni della campagna di misure del 13-15 gennaio 2014. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

CORILA
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

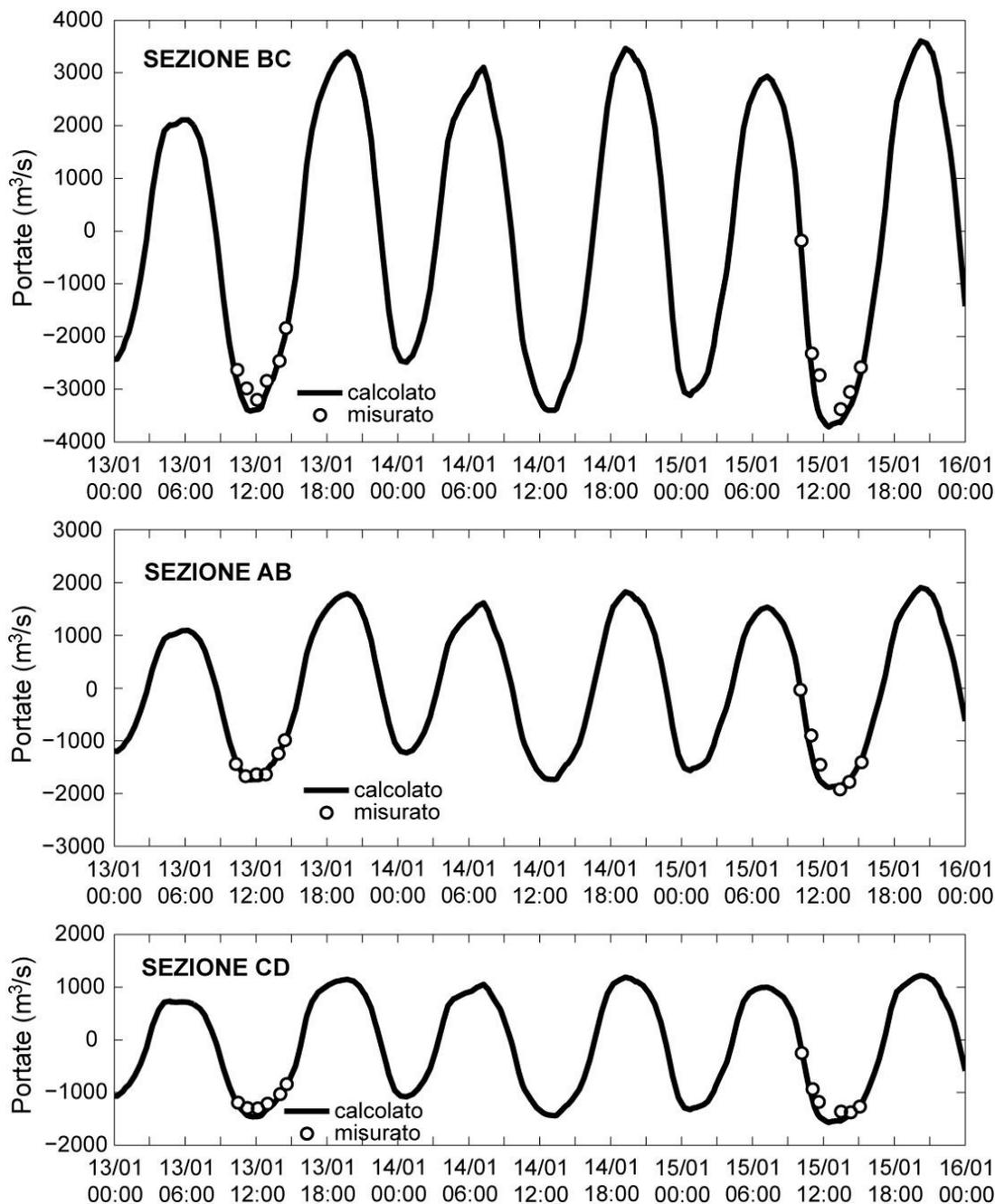


Figura 13 - Confronto tra le portate misurate nel corso della campagna di misure del 13-15 gennaio 2014 e le portate calcolate con il modello in corrispondenza delle sezioni AB, BC e CD indicate in Figura 4. Le portate positive sono da intendersi come entranti dalla bocca, mentre quelle negative sono uscenti attraverso la bocca.

Considerando le misure di velocità eseguite mediante i correntometri S4, si può notare come le velocità massime sul bassofondo durante i rilievi siano dell'ordine dei 5 cm/s o addirittura inferiori (Figura 14 e Figura 15). Quando le velocità rilevate sono molto piccole, l'accordo tra le velocità misurate e le velocità calcolate con il modello risulta poco soddisfacente, denotando una generale tendenza del modello a sovrastimare i valori misurati nel caso analizzato. Le discrepanze evidenziate potrebbero in parte essere imputate alla tipologia di modello utilizzato per le indagini, il quale non permette di simulare in modo specifico gli effetti sul campo di moto idrodinamico dovuti alla presenza della vegetazione, che possono risultare tutt'altro che trascurabili nell'area di

bassofondo oggetto di indagine. Il modello bidimensionale, infatti, calcola la velocità media sulla verticale, mentre in campo le velocità sono misurate in corrispondenza di un punto specifico posto ad una certa distanza dal fondo e potrebbero non essere rappresentative del valore medio della velocità, soprattutto in presenza di folta vegetazione e di tiranti variabili dovuti all'oscillazione della marea. D'altra parte, lo strumento utilizzato per misurare le velocità, per le sue dimensioni, risulta essere piuttosto invasivo e la sua presenza potrebbe produrre delle perturbazioni nel campo di moto in cui è inserito, rendendolo a maggior ragione poco adatto a misurare velocità di piccola entità, soprattutto quando il tirante è confrontabile con le dimensioni dello strumento stesso (vedi, ad esempio, punti C5 e C5/1 in Figura 15).

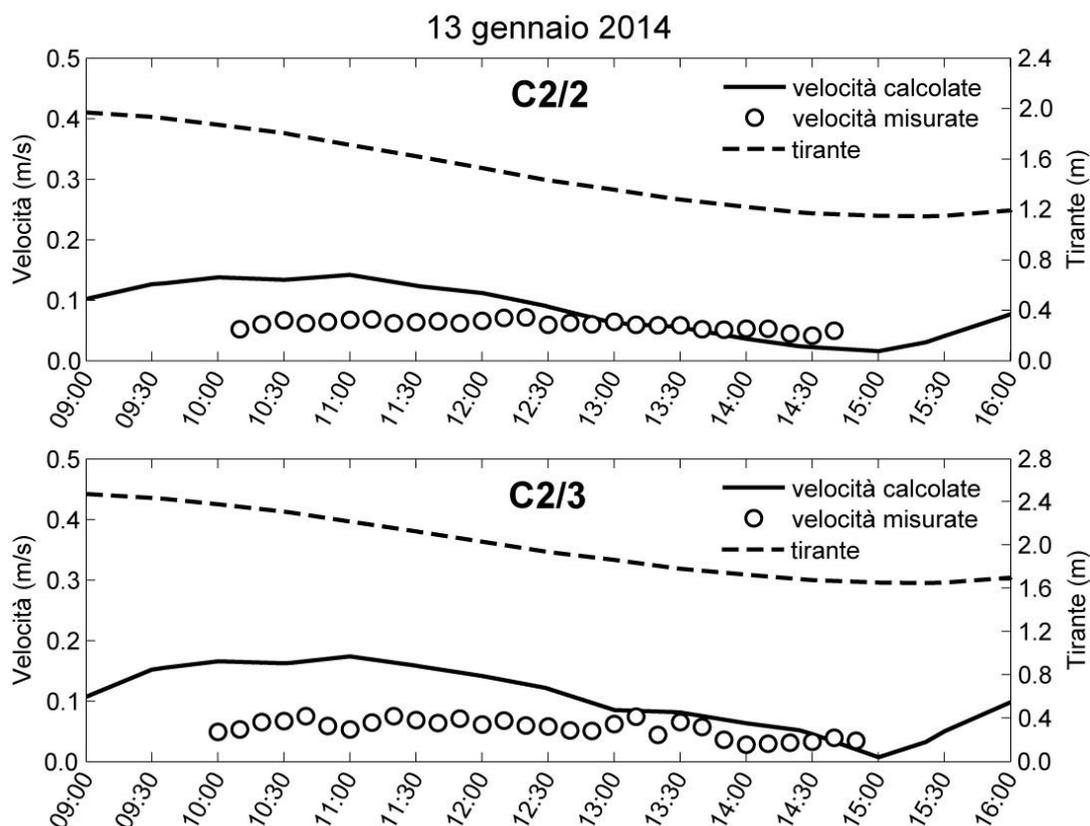


Figura 14 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 13-15 gennaio 2014 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza dei punti C2/2 e C2/3 indicati in Figura 4.

CORILA
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

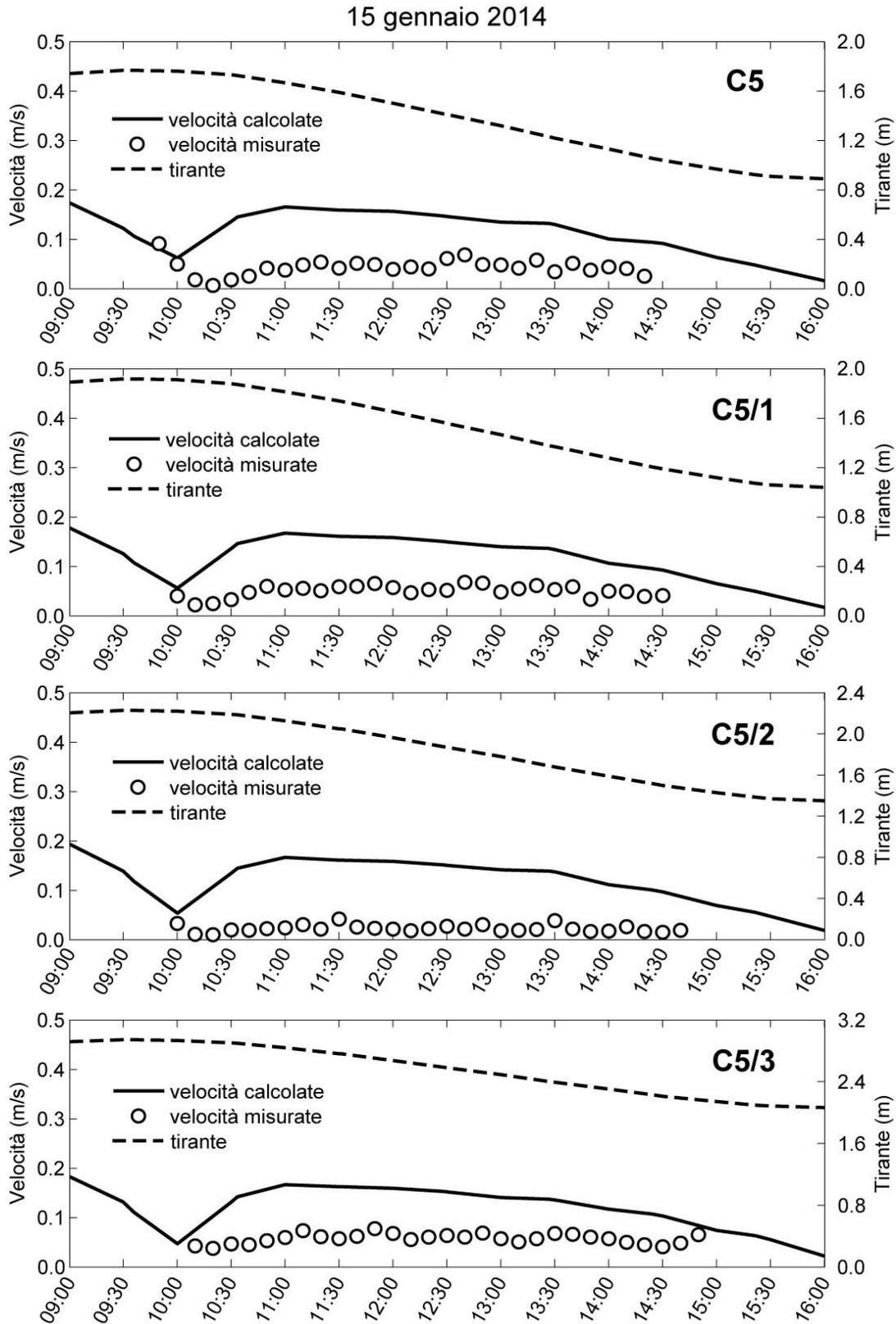


Figura 15 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 13-15 gennaio 2014 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza dei punti C5, C5/1, C5/2 e C5/3 indicati in Figura 4.

4.2 Campagna di misure del 28-29 gennaio 2014.

Come già descritto al Cap. 3, la campagna di misure del 28 e 29 gennaio 2014 condotta alla bocca di Chioggia si è svolta in condizioni meteorologiche caratterizzate dalla presenza di bora di intensità variabile nell'intervallo 5-10 m/s. Data la non trascurabilità degli effetti indotti dalla presenza del vento sulla circolazione delle correnti di marea, si è reso necessario imporre come condizioni al contorno le oscillazioni dei livelli di marea registrate alle tre bocche di porto nei giorni dei rilievi (Figura 16) e il vento registrato alle stazioni di diga sud Chioggia e Saline nord (Figura 6) al fine di poter ricostruire la distribuzione spaziale del campo di vento all'interno della laguna.

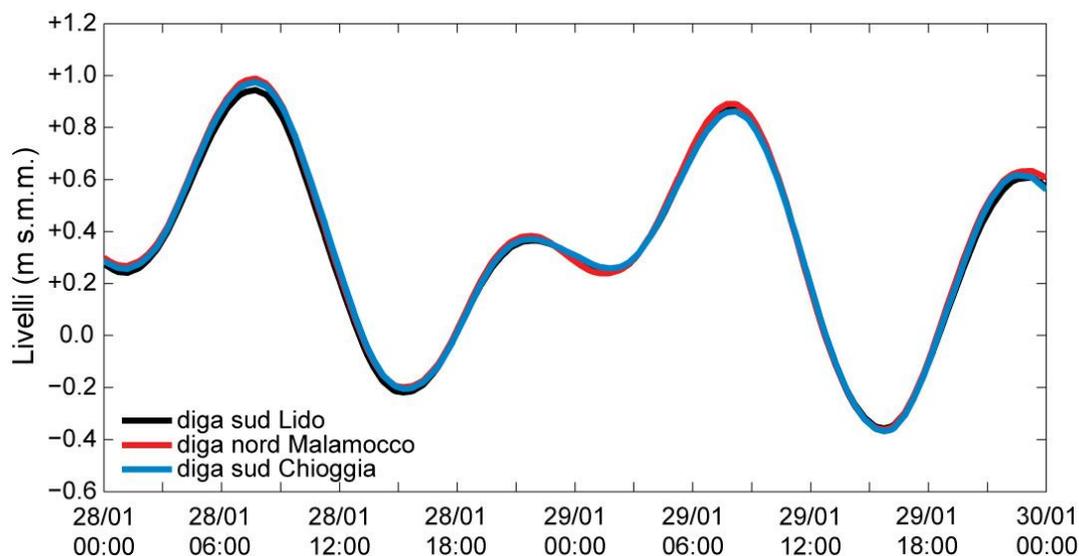


Figura 16 - Andamento dei livelli di marea registrati a diga sud Lido, diga nord Malamocco e diga sud Chioggia nei giorni della campagna di misure del 28-29 gennaio 2014 e imposti come condizioni al contorno al modello idrodinamico. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

I confronti relativi ai livelli sono stati condotti in corrispondenza delle stazioni mareografiche già considerate per i confronti relativi alla campagna di misure di metà gennaio, ovvero Chioggia Città, Chioggia Porto e Petta di Bo' (Figura 10). Come si può osservare dai grafici in Figura 17, il confronto tra i livelli di marea registrati e i livelli calcolati con il modello risulta molto buono.

In Figura 18 sono illustrati i confronti tra le portate misurate nel corso della campagna di misure e le portate calcolate con il modello in corrispondenza delle medesime sezioni considerate nella campagna di misure precedente (Figura 4). Il confronto sembra evidenziare una leggera sovrastima da parte del modello dei valori misurati, soprattutto per quanto riguarda la sezione BC (canale di bocca). Tali differenze, tuttavia, possono essere imputate alle traiettorie molto diverse effettivamente seguite in campo dal vascello durante i rilievi ADCP di una stessa sezione (Figura 19), probabilmente a causa dell'intensità del vento che ha caratterizzato la campagna di misure. Per questa ragione, ogni valore di portata misurato risulta, di fatto, imputabile a sezioni diverse. Nel valutare le portate calcolate riportate nei grafici di Figura 18 sono state considerate tre sezioni rettilinee che si è verificato rappresentare complessivamente al meglio i transetti effettivamente percorsi dall'imbarcazione (Figura 19). A causa di queste incertezze nel tracciamento delle sezioni, il confronto tra le portate calcolate e misurate è da considerarsi nel complesso più che soddisfacente.

Nelle Figure 21 e 22 sono poste a confronto le velocità calcolate con il modello idrodinamico e le velocità misurate mediante correntometri S4 in corrispondenza del bassofondo il 28 e il 29 gennaio.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

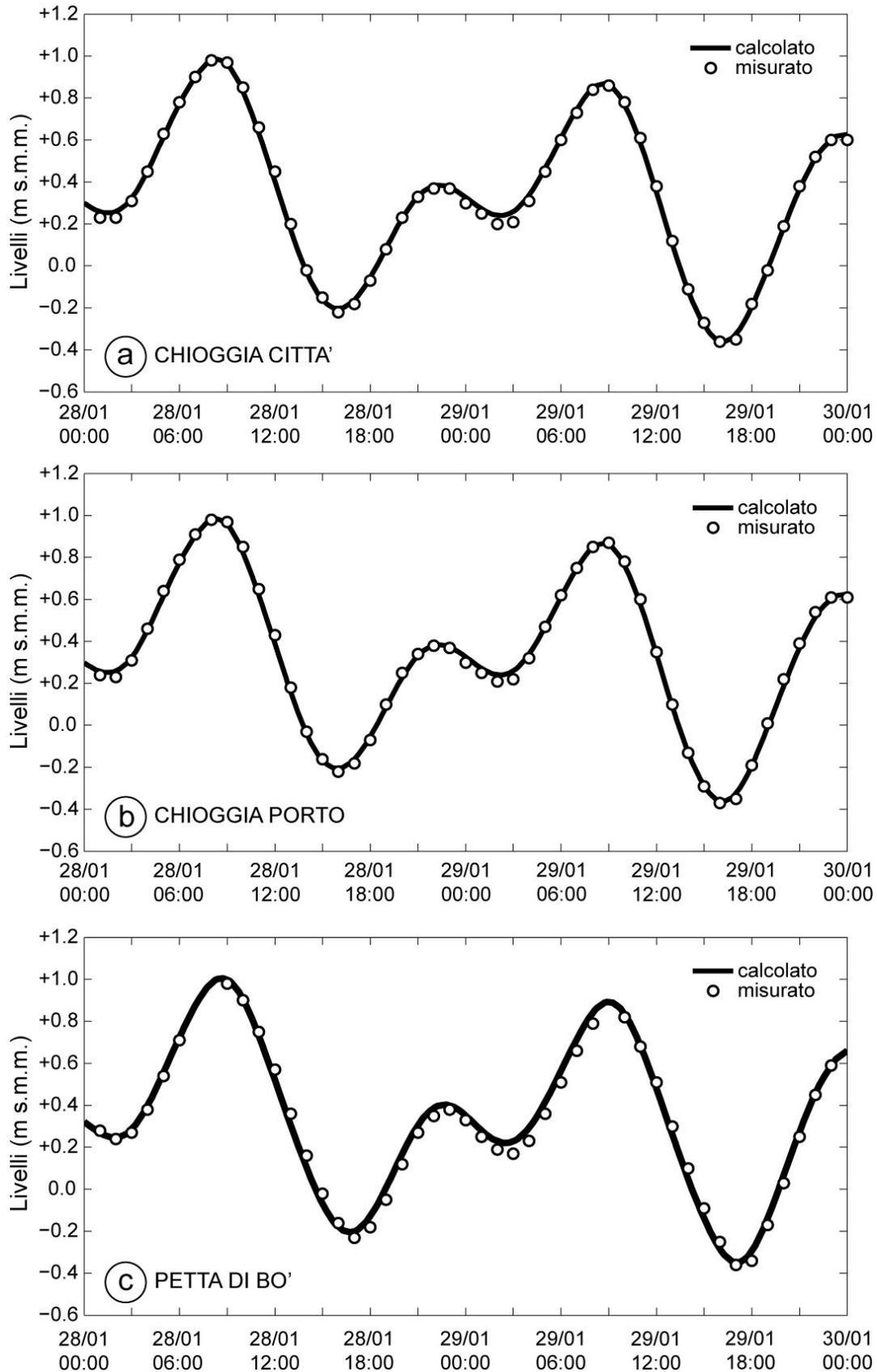


Figura 17 - Confronto tra i livelli di marea registrati alle stazioni mareografiche di (a) Chioggia Città, (b) Chioggia Porto e (c) Petta di Bo' a cavallo dei giorni della campagna di misure del 28-29 gennaio 2014. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

CORILA
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

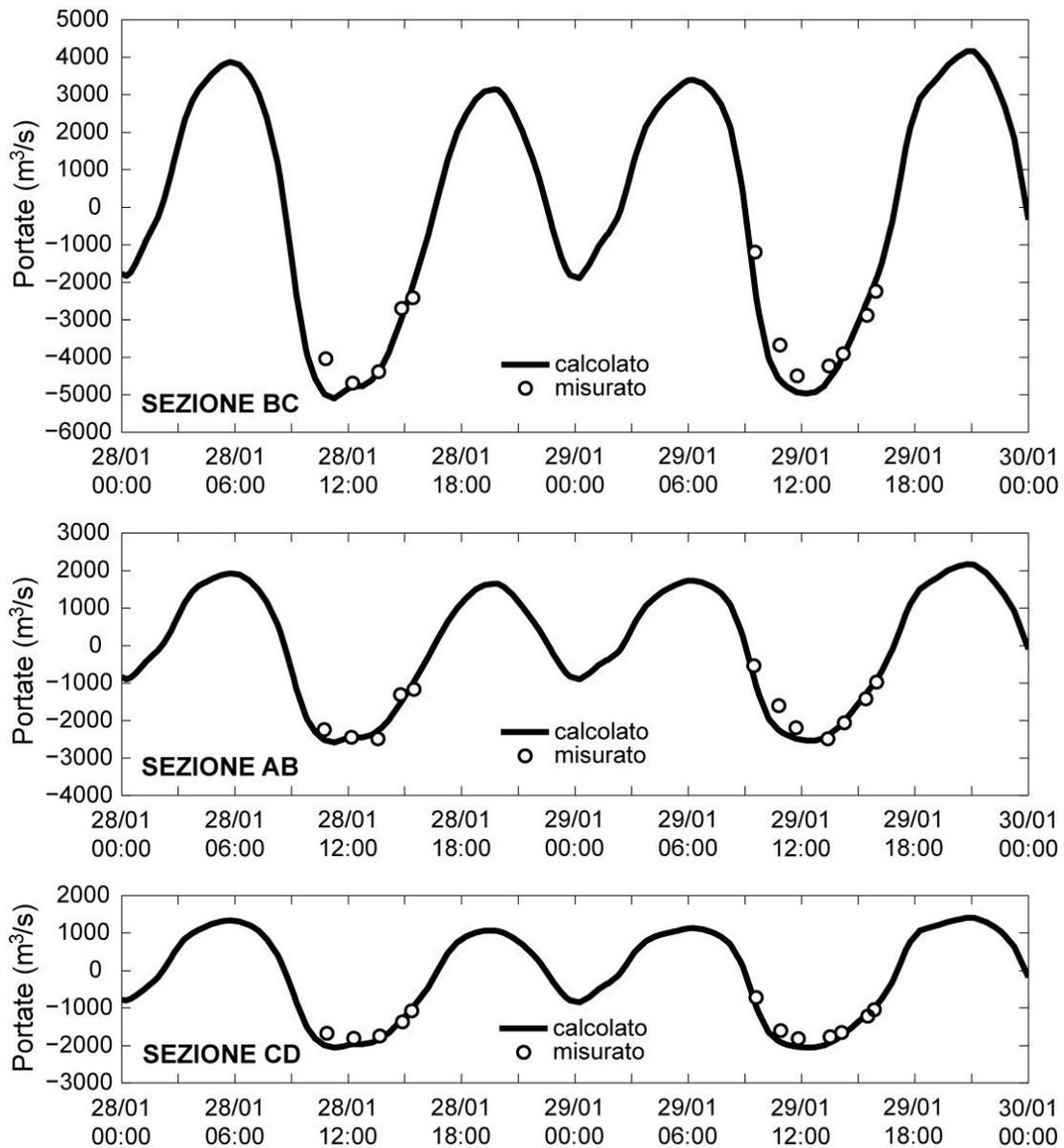


Figura 18 - Confronto tra le portate misurate nel corso della campagna di misure del 28-29 gennaio 2014 e le portate calcolate con il modello in corrispondenza delle sezioni AB, BC e CD indicate in Figura 4. Le portate positive sono da intendersi come entranti dalla bocca, mentre quelle negative sono da intendersi come uscenti attraverso la bocca.

Come già accennato al Cap. 3.2, il 28 gennaio i correntometri S4 hanno acquisito dati per circa ventiquattr'ore, consentendo così la ricostruzione delle velocità per due interi cicli di marea e un migliore confronto tra i risultati del modello e le velocità effettivamente misurate in corrispondenza del bassofondo. È interessante osservare innanzitutto come, nell'arco delle ventiquattro ore di registrazione e in particolare durante le fasi di flusso della marea, siano stati misurati valori di velocità che frequentemente superano i 25 cm/s (Figura 20), ovvero sensibilmente superiori a quelli che hanno caratterizzato la precedente campagna di misure, durante la quale le velocità misurate non superavano i 10 cm/s. Il confronto, illustrato in Figura 20, tra i dati misurati e le velocità calcolate evidenzia un accordo decisamente più soddisfacente rispetto alla campagna di misura del 13-15 gennaio, denotando, in particolare, una corrispondenza migliore per quanto concerne le velocità nelle fasi di flusso rispetto alle fasi di riflusso della marea. Tale considerazione è confermata anche dai confronti illustrati in Figura 21, in cui i rilievi sono

stati condotti considerando la sola fase di marea calante. Come già osservato nel precedente paragrafo, le discrepanze che caratterizzano il confronto relativo alla fase di riflusso possono essere ricondotte da un lato al confronto di fatto non omogeneo tra la velocità media calcolata dal modello e quella puntuale misurata in campo e dall'altro all'effettiva capacità dello strumento di misurare velocità piuttosto basse in un campo di moto caratterizzato da tiranti dello stesso ordine di grandezza delle dimensioni dello strumento stesso.

In definitiva, considerando anche la presenza del vento che ha caratterizzato questa seconda campagna di misura, si ritiene che i confronti fin qui realizzati tra i dati raccolti nel corso delle campagne di misura e i risultati derivanti dalla modellazione matematica siano nel complesso più che soddisfacenti e possano costituire una conferma del fatto che il modello matematico è in grado di riprodurre in modo adeguato il campo di moto idrodinamico che si sviluppa nel bacino controllato dalla bocca di Chioggia e, in particolare, in prossimità della bocca stessa.

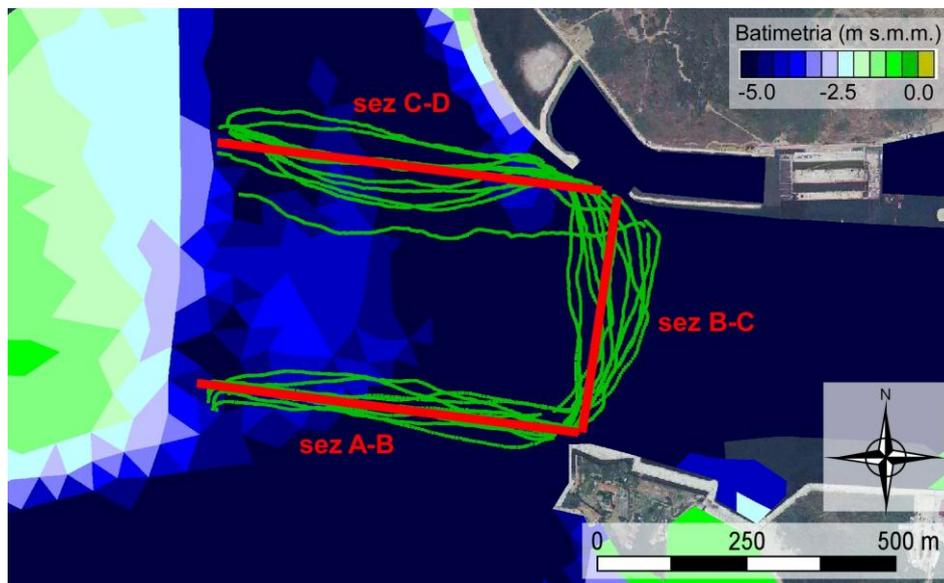


Figura 19 - Confronto tra i percorsi effettivamente seguiti in campo durante i rilievi ADCP (in verde) e le sezioni considerate nel modello per il calcolo delle portate (in rosso).

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

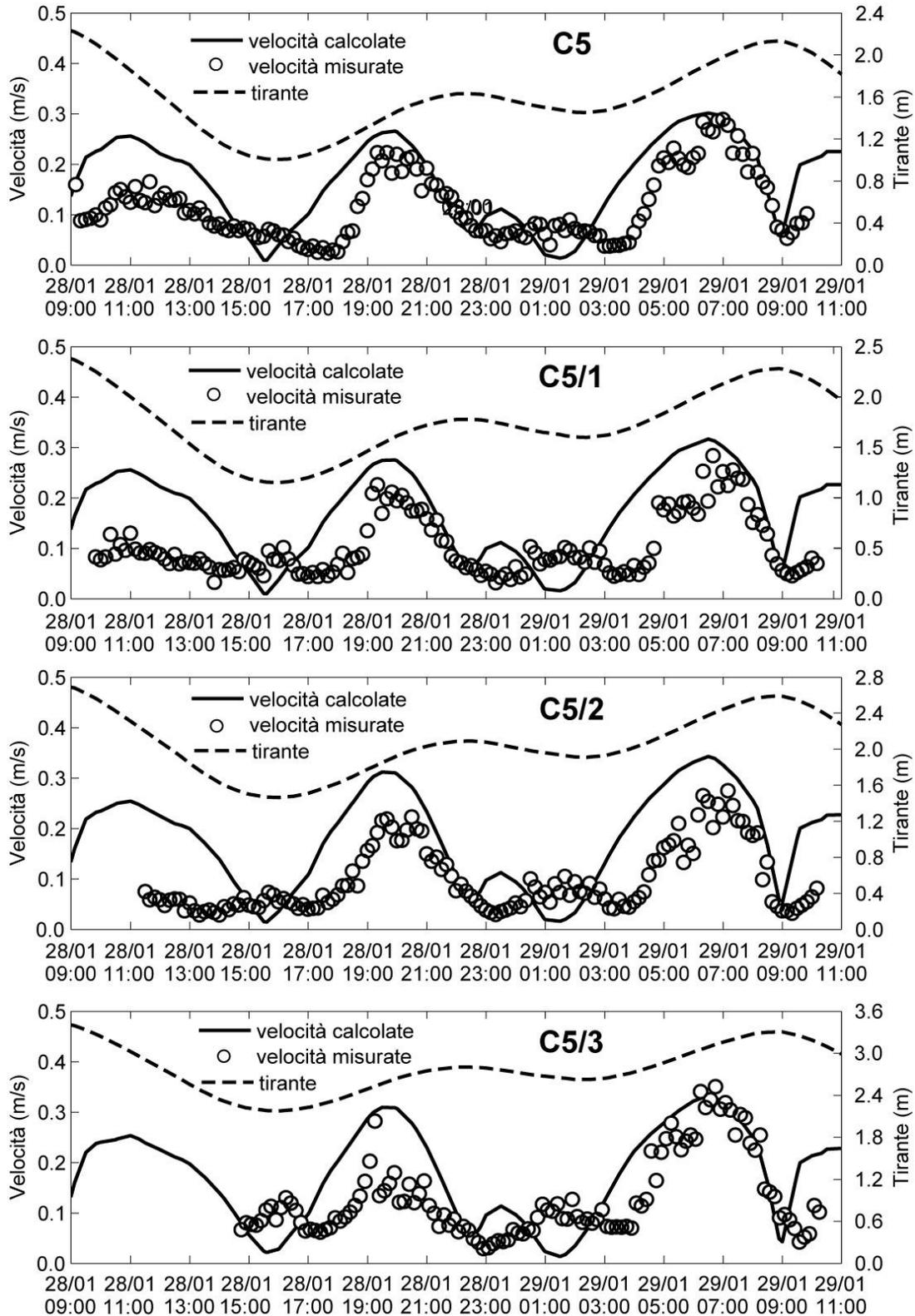


Figura 20 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 28-29 gennaio 2014 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza dei punti C5, C5/1, C5/2 e C5/3 indicati in Figura 4.

CORILA
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

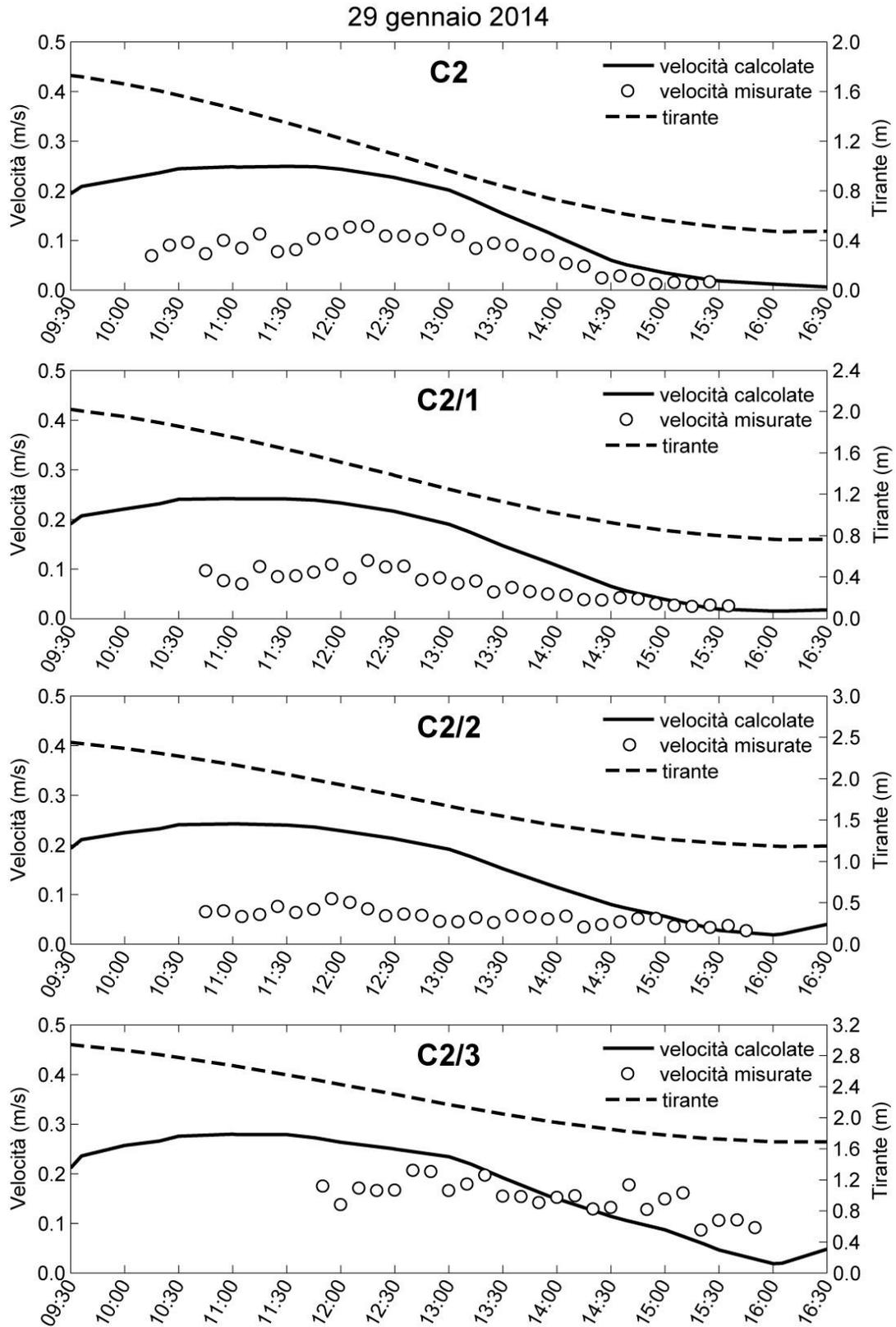


Figura 21 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 29 gennaio 2014 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza dei punti C2, C2/1, C2/2 e C2/3 indicati in Figura 4.

4.3 Campagna di misure del 19-20 marzo 2014.

Le condizioni metereologiche caratterizzate da cielo sereno e sostanziale assenza di vento in cui è stata svolta la campagna di misure del 19-20 marzo 2014 alla bocca di Malamocco hanno permesso di escludere qualsiasi effetto dovuto al vento sulla propagazione della marea. Per questo motivo, le simulazioni sono state condotte imponendo come sole condizioni al contorno i livelli di marea registrati in mare alla Piattaforma CNR nei giorni delle misure (Figura 22). Tali livelli sono stati imposti su tutti i nodi che costituiscono il limite a mare del dominio di calcolo.

Nel corso delle precedenti attività (Studio B.6.72 B/8), l'efficacia della modellazione matematica per la bocca di Malamocco era stata verificata per confronto con i dati raccolti durante la campagna di misure del 14-15 novembre 2012, che si era distinta per la presenza di vento di intensità non trascurabile. In questa attività, pertanto, si è proceduto ad un'ulteriore verifica della modellazione matematica proposta attraverso il confronto con i dati rilevati il 19 e 20 marzo 2014, rappresentativi di una condizione in cui gli effetti del vento possono considerarsi trascurabili.

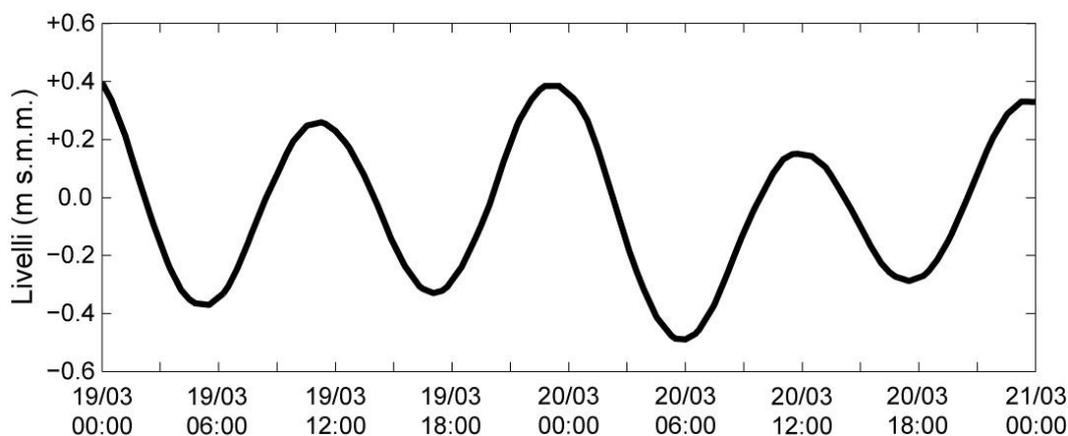


Figura 22 - Andamento dei livelli di marea registrati alla piattaforma CNR nei giorni della campagna di misure di marzo 2014 e imposti come condizioni al contorno al modello idrodinamico. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

I confronti tra i livelli calcolati e misurati sono stati condotti in corrispondenza delle stazioni mareografiche situate in prossimità delle tre bocche di porto e alla stazione di Malamocco porto (Figura 10). Si osservi che, in questo caso, il confronto dei livelli all'interno del bacino controllato dalla bocca di Malamocco è stato condotto solo in corrispondenza della stazione di Malamocco porto, avendo già verificato la capacità del modello matematico di riprodurre correttamente i livelli nelle stazioni di Poveglia, Valgrande e Settemorti per un evento ben più gravoso nel corso delle precedenti attività (Studio B.6.72 B/8). I confronti tra i livelli registrati e i livelli calcolati con il modello, illustrati in Figura 23, risultano più che soddisfacenti.

Anche i confronti tra le portate rilevate nelle sezioni BC e CD (Figura 8), ovvero lungo il canale di bocca, e le portate calcolate con il modello nelle medesime sezioni evidenziano una corrispondenza molto buona (Figura 24).

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

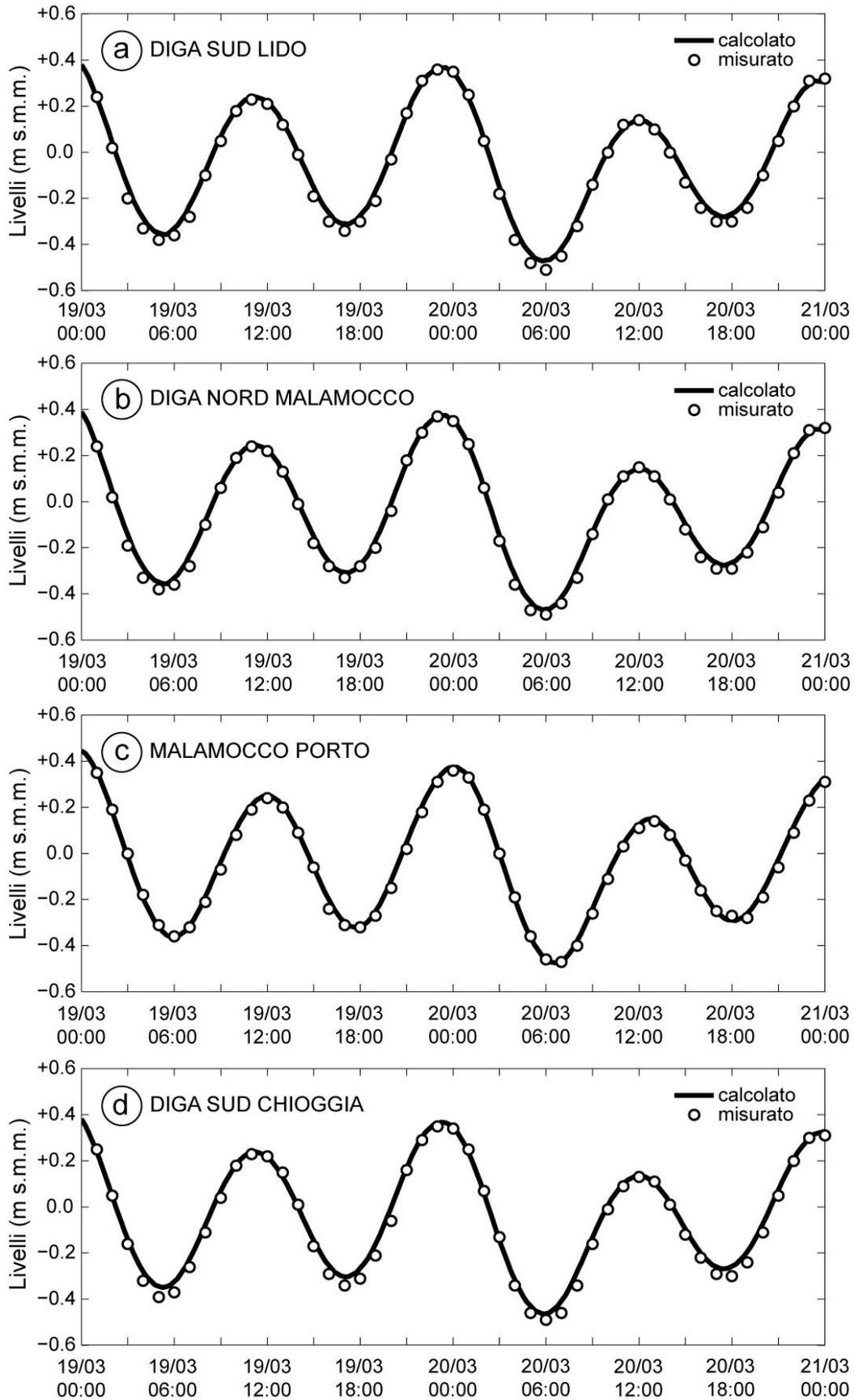


Figura 23 - Confronto tra i livelli di marea registrati alle stazioni mareografiche di (a) diga sud Lido, (b) diga nord Malamocco, (c) Malamocco porto e (d) diga sud Chioggia a cavallo dei giorni della campagna di misure di marzo 2014. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

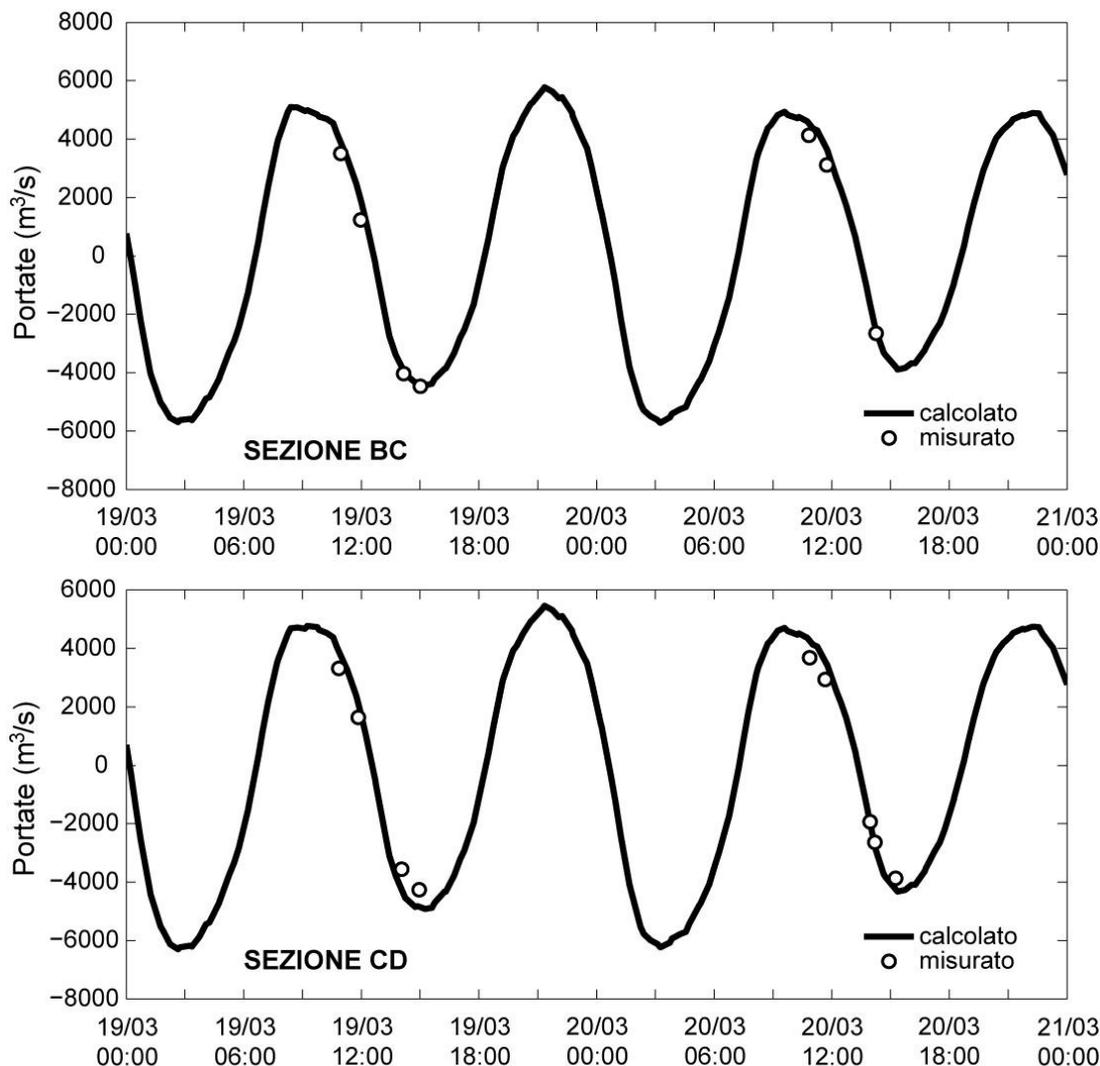


Figura 24 - Confronto tra le portate misurate nel corso della campagna di misure di marzo 2014 e le portate calcolate con il modello in corrispondenza delle sezioni BC e CD indicate in Figura 8. Le portate positive sono da intendersi come entranti dalla bocca, mentre quelle negative sono da intendersi come uscenti attraverso la bocca.

In Figura 25 sono illustrati i confronti tra le portate rilevate e le portate calcolate lungo il canale di S. Pietro. I confronti possono ritenersi nel complesso molto buoni, nonostante sia presente qualche discrepanza tra i valori misurati e calcolati per la sezione AB. Si osservi, infatti, che la sezione AB (Figura 8) si dispone per un tratto in senso longitudinale alla direzione della corrente, lungo il quale piccole differenze tra il campo di moto idrodinamico effettivamente presente e quello simulato con il modello possono comportare errori non trascurabili nella valutazione delle portate, soprattutto quando la fase di marea si inverte e le portate sono di piccola entità. Tale considerazione, peraltro, è confermata anche dall'ottimo accordo evidenziato per le sezioni EF e GH, che sono disposte in senso trasversale alla direzione della corrente e permettono di condurre una stima più attendibile della portata effettivamente fluente lungo il canale di S. Pietro, nonché un confronto più efficace tra portate calcolate e misurate.

CORILA
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

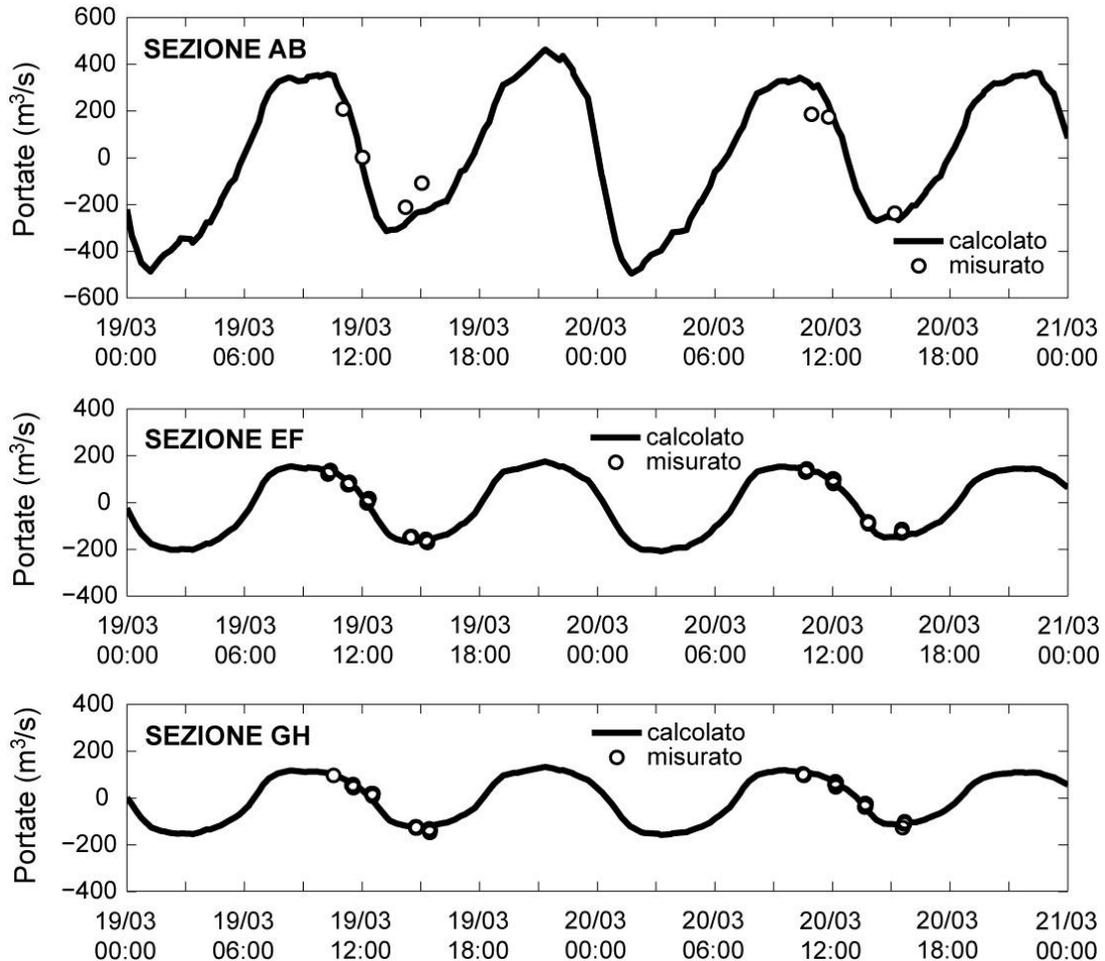


Figura 25 - Confronto tra le portate misurate nel corso della campagna di misure di marzo 2014 e le portate calcolate con il modello in corrispondenza delle sezioni AB, EF e GH indicate in Figura 8. Le portate positive sono da intendersi come entranti dalla bocca, mentre quelle negative sono da intendersi come uscenti attraverso la bocca.

In Figura 26 e in Figura 27 sono illustrati i confronti tra le velocità misurate mediante correntometri S4 e le velocità calcolate con il modello per le due giornate dedicate ai rilievi. Come si può osservare dai grafici, per i punti situati più vicino alla sponda del canale (punti M3 e M3/3 in Figura 8) la corrispondenza tra i valori calcolati e quelli misurati durante la fase di flusso è piuttosto buona, mentre durante la fase di riflusso, quando lo strumento misura velocità inferiori ai 5 cm/s, l'accordo risulta meno soddisfacente, riproponendo quanto già evidenziato relativamente ai confronti condotti per la bocca di Chioggia. Per i punti collocati più lontano dal canale (M3/2 e ME/1 in Figura 8), invece, dove lo strumento misura velocità dell'ordine di 1-2 cm/s, la corrispondenza tra velocità misurate e calcolate risulta poco soddisfacente. A tal proposito restano valide le considerazioni già espresse per le campagne di misura condotte alla bocca di Chioggia e, in particolare, si ritiene opportuno sottolineare la non completa adeguatezza dello strumento a misurare velocità così piccole in un campo di moto perturbato dalla presenza dello strumento stesso, in quanto caratterizzato da un tirante d'acqua di entità confrontabile con le dimensioni del dispositivo di misura.

Alla luce dei risultati esposti e di quelli già illustrati nell'ambito delle precedenti attività (Studio B.6.72 B/8) si può concludere che il modello matematico è in grado di riprodurre correttamente il campo di moto idrodinamico in corrispondenza della bocca di Malamocco.

CORILA
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

19 marzo 2014

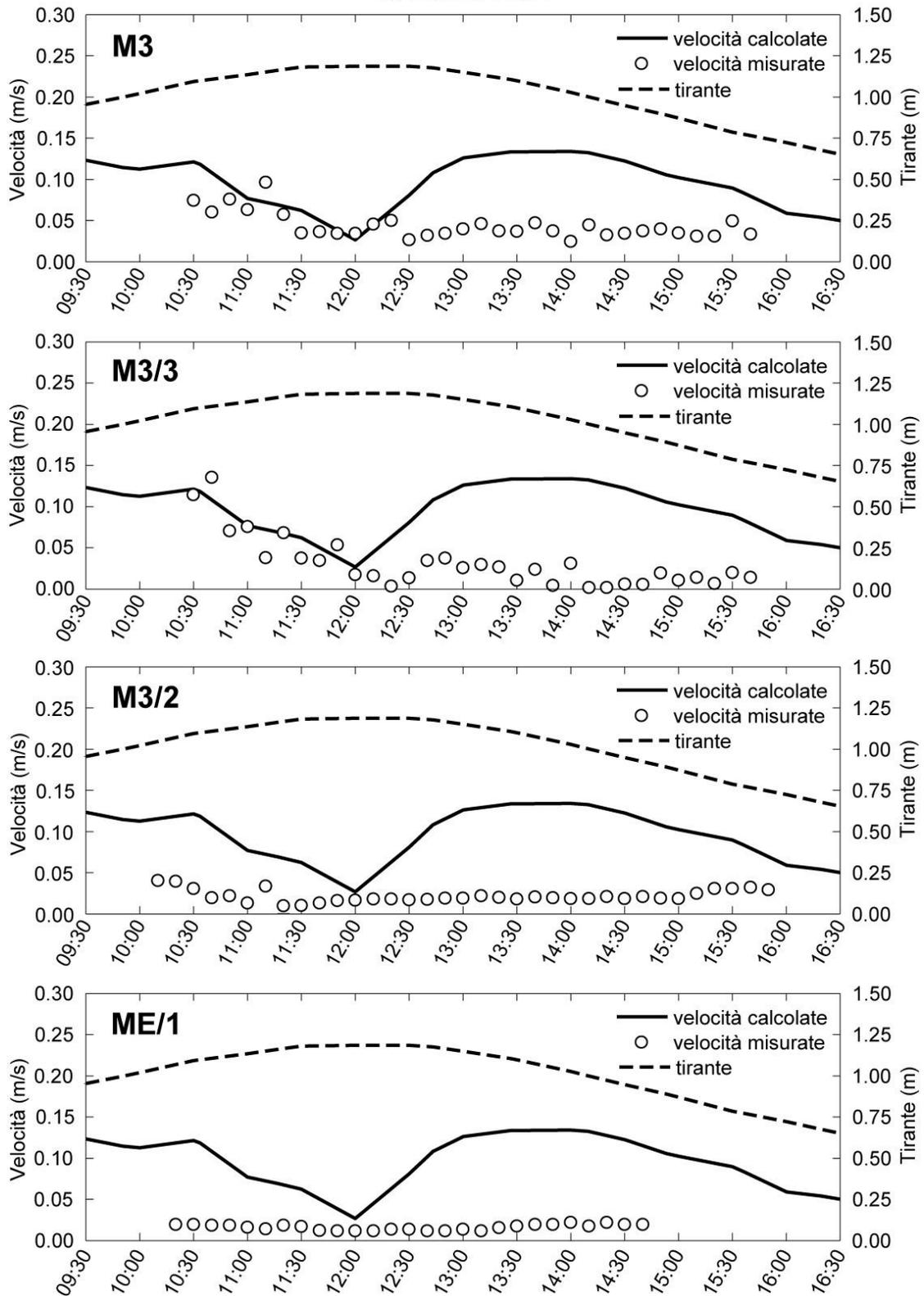


Figura 26 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 19 marzo 2014 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza dei punti M3, ME/1, M3/2 e M3/3 indicati in Figura 8.

CORILA
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

20 marzo 2014

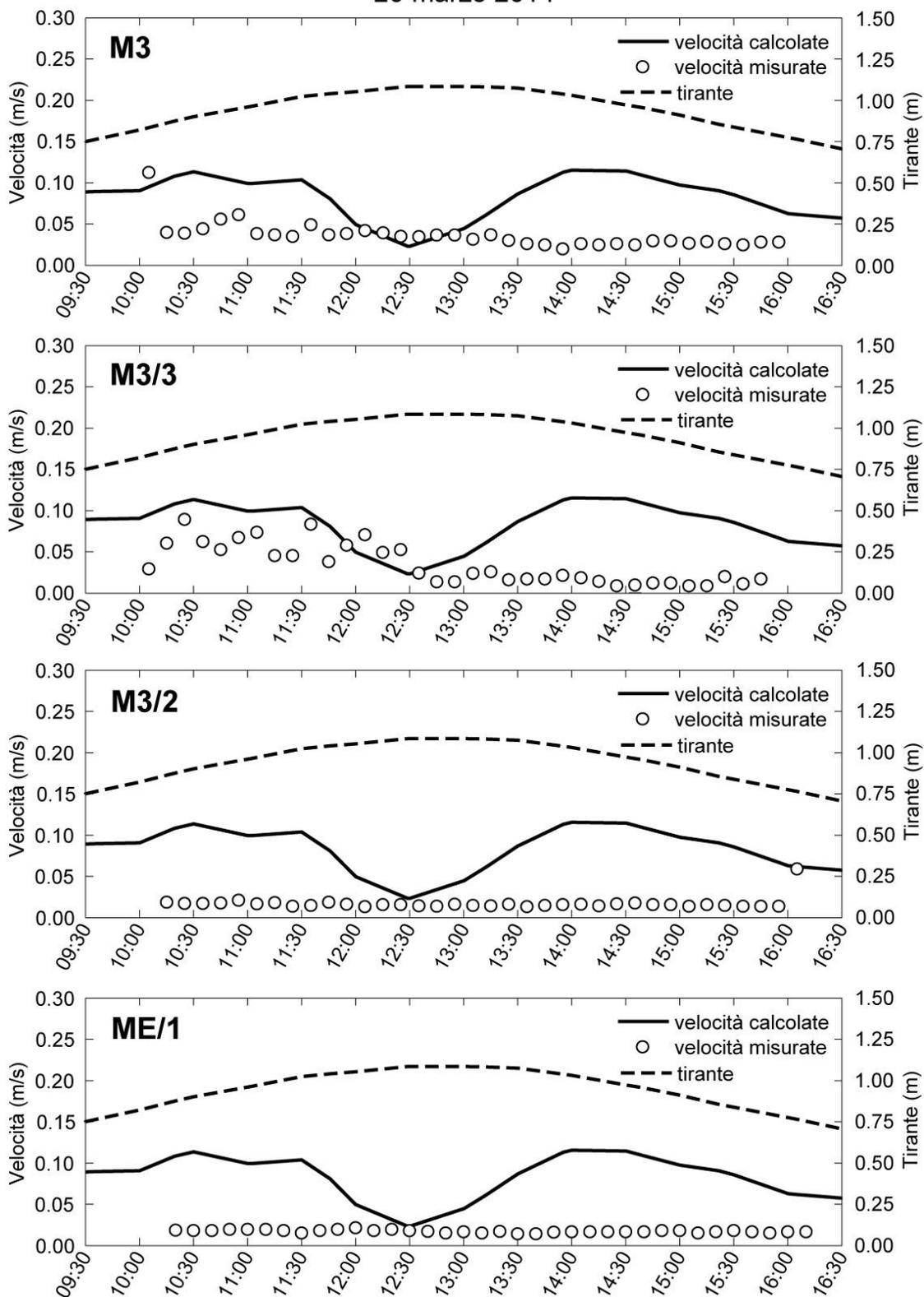


Figura 27 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 20 marzo 2014 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza dei punti M3, ME/1, M3/2 e M3/3 indicati in Figura 8.

5 CONFRONTO TRA LE CONFIGURAZIONI PRECEDENTE E SUCCESSIVA ALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE

In analogia alla procedura seguita nello Studio B.6.72 B/8 per le bocche di Lido e Malamocco, allo scopo di attribuire un carattere più generale alle attività modellistiche fin qui svolte, il confronto tra il campo di moto idrodinamico rappresentativo delle configurazioni *ante operam* (laguna 2003) e *post operam* (laguna 2012) è stato realizzato considerando due cicli di marea astronomica caratteristici della laguna di Venezia, rappresentativi della fase di sizigia e della fase di quadratura (Figura 28).

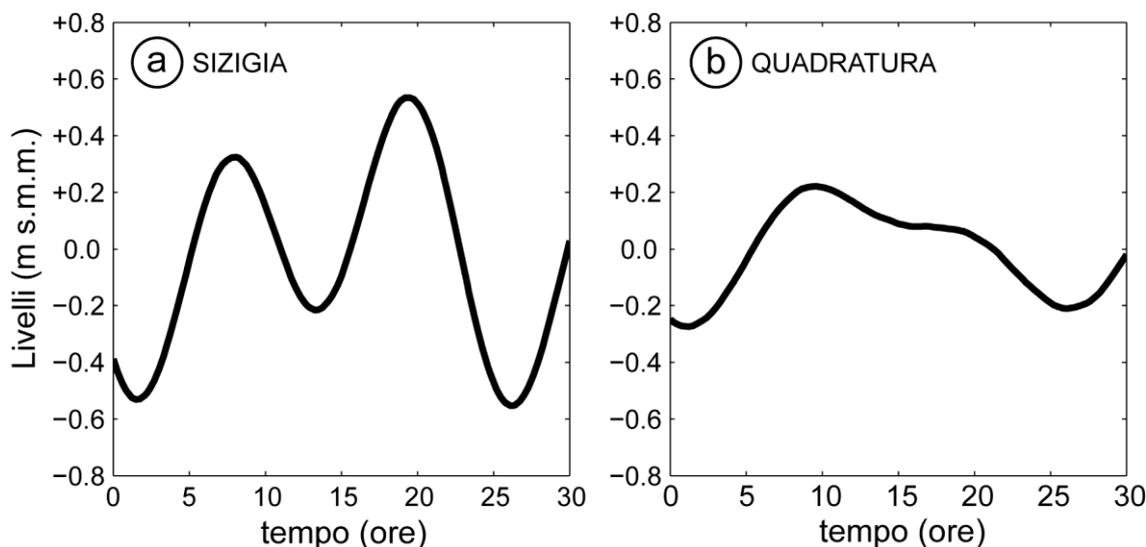


Figura 28 - Condizioni al contorno imposte al modello bidimensionale per il confronto tra il campo di moto idrodinamico rappresentativo delle configurazioni *ante e post operam*.

In un primo momento è stato analizzato il comportamento idrodinamico della laguna prodotto dalle sole correnti di marea e, quindi, in assenza di vento.

In Figura 29 e in Figura 31 sono rappresentati i confronti tra i livelli calcolati con il modello idrodinamico per le configurazioni antecedente e successiva alla costruzione delle opere alle bocche nelle due ipotesi di marea caratteristica adottate. I confronti, realizzati considerando quattro stazioni situate all'interno del bacino controllato dalla bocca di Chioggia (Figura 30), non evidenziano differenze di rilievo tra le configurazioni *ante e post operam*.

Il confronto condotto sulle portate scambiate tra la laguna e il mare attraverso la bocca di Chioggia non evidenzia sostanziali differenze per le due configurazioni analizzate, sia che si consideri una marea di sizigia (Figura 32) sia che si consideri una marea di quadratura (Figura 33), contrariamente a quanto accade per le bocche di Lido e Malamocco (Studio B.6.72 B/8).

In Figura 34 e in Figura 35 sono illustrate le differenze (delta) tra gli involucri delle velocità massime e degli sforzi tangenziali massimi durante un intero ciclo di marea alla bocca di Chioggia calcolati con il modello bidimensionale nell'ipotesi di considerare una tipica marea di sizigia. Nelle figure relative ai delta, da qui in avanti, la scala cromatica del rosso e del blu identificano rispettivamente un incremento e una riduzione di velocità rispetto alla configurazione *ante operam*. Per favorire una migliore leggibilità dei risultati, i confronti tra gli involucri delle velocità massime e degli sforzi tangenziali massimi, nonché le variazioni di velocità calcolate singolarmente per la fase di flusso e di riflusso sono stati inseriti in Appendice.

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

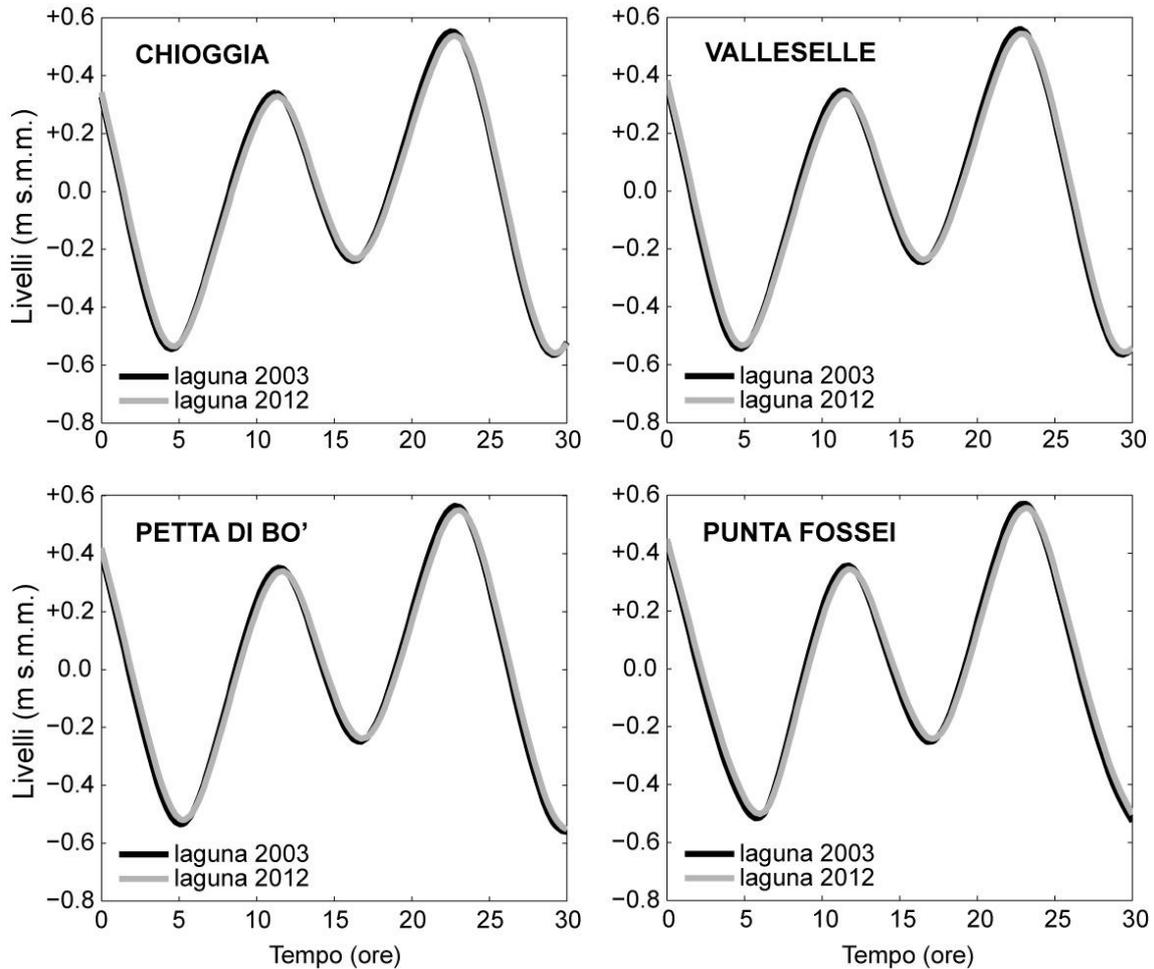


Figura 29 – Marea di sizigia. Confronto tra i livelli calcolati con il modello in diversi punti del bacino controllato dalla bocca di Chioggia per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere alle bocche. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

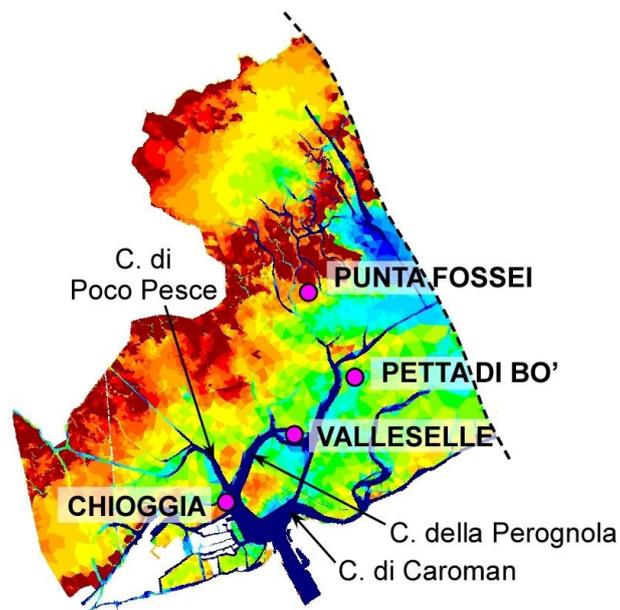


Figura 30 – Stazioni considerate per il confronto dei livelli tra le configurazioni *ante e post operam*.

CORILA
 ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

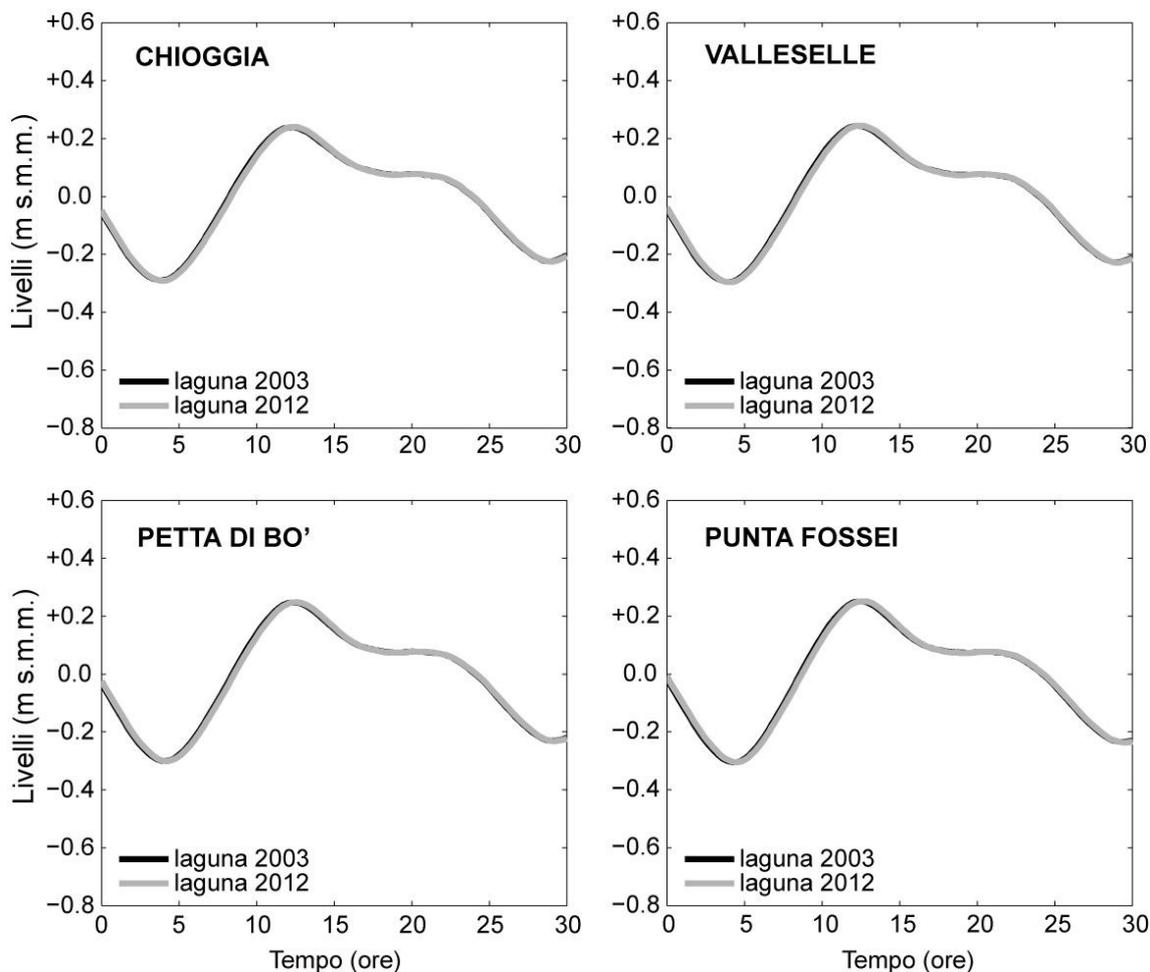


Figura 31 - Marea di quadratura. Confronto tra i livelli calcolati con il modello in diversi punti del bacino controllato dalla bocca di Chioggia per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere alle bocche. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

Le variazioni di velocità più consistenti si osservano nel primo tratto del canale di Caroman, dove le velocità sono incrementate complessivamente di circa 5 cm/s, raggiungendo solo localmente valori di 10 cm/s. Lungo questo tratto del canale, l'incremento di velocità arriva a lambire i margini della prateria situata a ovest della via d'acqua, lungo i quali le variazioni raggiungono valori di 2-3 cm/s, con variazioni massime locali di circa 5 cm/s. In corrispondenza della prateria di più modesta estensione situata a est del canale di Caroman, si osserva, invece, una riduzione generalizzata di velocità compresa tra i 2 e gli 8 cm/s.

Altre variazioni si osservano su un'ampia area della prateria situata proprio davanti alla bocca (rappresentata con i toni dell'azzurro in Figura 34), nella quale la riduzione di velocità è modesta e stimabile attorno ai 2-4 cm/s con variazioni massime locali di circa 5 cm/s. Si osservano, inoltre, incrementi (in giallo) e riduzioni (in azzurro) dell'ordine dei 2-3 cm/s lungo i margini delle praterie situate a est e a ovest del canale Perognola.

Fatta eccezione per le aree appena descritte, in cui le variazioni di velocità sono tutto sommato piuttosto contenute, non si osservano riduzioni o incrementi di velocità apprezzabili nelle altre zone prossime alla bocca interessate dalle praterie a fanerogame.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

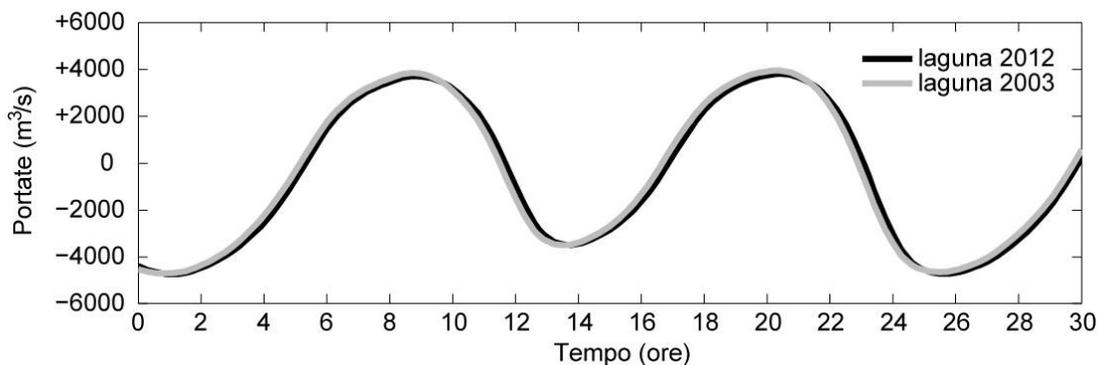


Figura 32 – Marea di sizigia. Confronto tra le portate calcolate con il modello alla bocca di Chioggia per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte. Le portate positive sono entranti, mentre quelle negative sono uscenti.

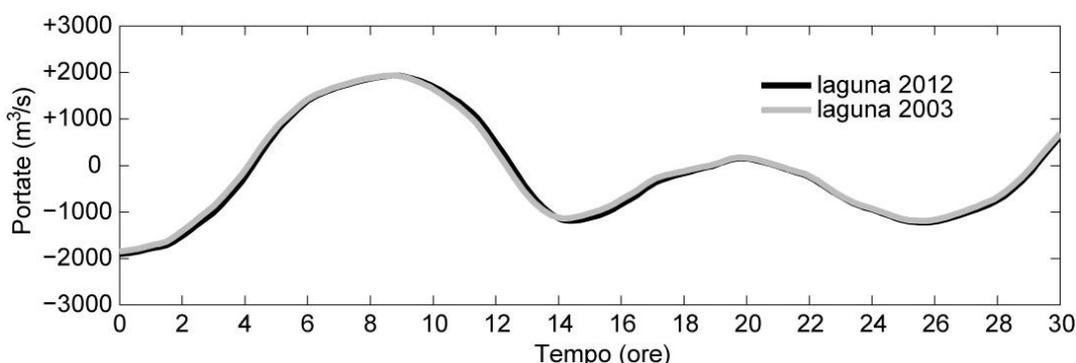


Figura 33 - Marea di quadratura. Confronto tra le portate calcolate con il modello alla bocca di Chioggia per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte. Le portate positive sono entranti, mentre quelle negative sono uscenti.

Anche per quanto riguarda le differenze nella distribuzione degli sforzi tangenziali nell'ipotesi di considerare una marea di sizigia non si osservano variazioni di qualche rilievo per le due configurazioni analizzate. In analogia con quanto osservato per i campi di velocità, le variazioni più consistenti si osservano lungo il primo tratto del canale di Caroman, dove gli incrementi sono compresi tra 0.3 e 0.5 Pa e raggiungono massimi locali di 0.8 Pa. Lungo i margini delle praterie situate a est e a ovest di questo tratto di canale gli incrementi (in giallo) e le riduzioni (in azzurro) delle velocità sono di modesta entità, ovvero dell'ordine dei 0.2-0.3 Pa. Una riduzione di 0.2-0.3 Pa si osserva anche in corrispondenza di un'ampia area della prateria situata proprio davanti alla bocca (in azzurro in Figura 35).

I confronti tra i campi di velocità massimi che si sviluppano nell'ipotesi di considerare una marea di quadratura (Figura 36) non evidenziano variazioni apprezzabili in prossimità delle praterie a fanerogame. Una modesta riduzione di velocità, dell'ordine dei 2-3 cm/s, si osserva solamente lungo il margine della prateria collocato proprio davanti alla bocca e, per un tratto di modesta estensione, lungo il margine della stessa prateria situato a ovest del canale di Caroman (in azzurro sulla mappa).

Le differenze tra gli involucri degli sforzi tangenziali al fondo massimi calcolati considerando una marea di quadratura (Figura 37) confermano, nella sostanza, quanto già espresso per l'analisi delle differenze tra gli involucri delle velocità massime. L'unica variazione di entità apprezzabile, infatti, si osserva lungo il margine della prateria situato davanti alla bocca, in cui la riduzione degli sforzi tangenziali è dell'ordine dei 0.2-0.3 Pa.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

In un secondo momento sono state indagate le differenze riscontrabili nei fenomeni di risospensione dei sedimenti generati dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le due configurazioni lagunari considerate. A tale scopo sono stati analizzati due eventi meteorologici sintetici, caratterizzati dalla marea di sizigia e dalla marea di quadratura considerate per le simulazioni precedenti (Figura 28) e da un vento di bora (45°N) di intensità costante (15 m/s) per tutta la durata delle simulazioni.

I risultati delle simulazioni sono illustrati nelle Figure 38-41, in cui sono poste a confronto le concentrazioni massime di sedimenti in sospensione per la configurazione del 2003 e per la configurazione attuale della laguna.

Le differenze più importanti nella concentrazione massima di sedimenti in sospensione per la bocca di Chioggia si osservano durante la fase di flusso nell'ipotesi di considerare una marea di sizigia (Figura 38). In particolare, si osserva un incremento di 30-40 mg/l lungo il margine della prateria situato davanti alla bocca, caratterizzato da una quantità di sedimenti in sospensione maggiore per la configurazione *post operam* (100-140 mg/l, colorazione verde-giallo in figura) rispetto a quella *ante operam* (60-100 mg/l, colorazione azzurro-verde). Un lieve incremento nella concentrazione massima di sedimenti in sospensione dell'ordine dei 10 mg/l si osserva sulla prateria di fanerogame situata a ovest della città di Chioggia, lungo il margine che segue il canale di Poco Pesce. Altre differenze di modesta entità (circa 10 mg/l) si osservano all'interno dei canali della Perognola e di Poco Pesce.

La fase di riflusso della marea di sizigia non evidenzia differenze apprezzabili nella concentrazione massima di sedimenti in sospensione per le aree interessate dalle praterie a fanerogame (Figura 39). Più precisamente, si osserva una riduzione di modesta entità (circa 10 mg/l) solamente sull'area orientale della prateria collocata tra il canale della Perognola e il canale di Caroman. Dello stesso ordine di grandezza è l'incremento che si osserva lungo i canali della Perognola e di Poco Pesce.

Nell'ipotesi di considerare una marea di quadratura, invece, non si osservano differenze di qualche rilievo tra le configurazioni *ante* e *post operam* né durante la fase di massimo flusso (Figura 40), né durante la fase di massimo riflusso (Figura 41).

Nonostante i risultati dei modelli matematici segnalino lievi incrementi per quanto riguarda gli aspetti della torbidità in prossimità della bocca di porto di Chioggia, i dati del monitoraggio relativi alle sonde fisse dello studio B.6.72 B/9 [MAG. ACQUE - CORILA, 2014b] non indicano variazioni marcate per questo parametro per il periodo 2013-2014. Inoltre, durante i tre controlli stagionali del presente studio (maggio, agosto e novembre), in nessuna stazione della bocca di Chioggia (e anche di Lido e Malamocco) sono stati rilevati tassi anomali di **sedimentazione** di particellato sulle lamine, tali da ostacolare lo sviluppo di ciuffi fogliari e/o portare ad incrementi dei fenomeni di necrosi [MAG. ACQUE - CORILA, 2014a].

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

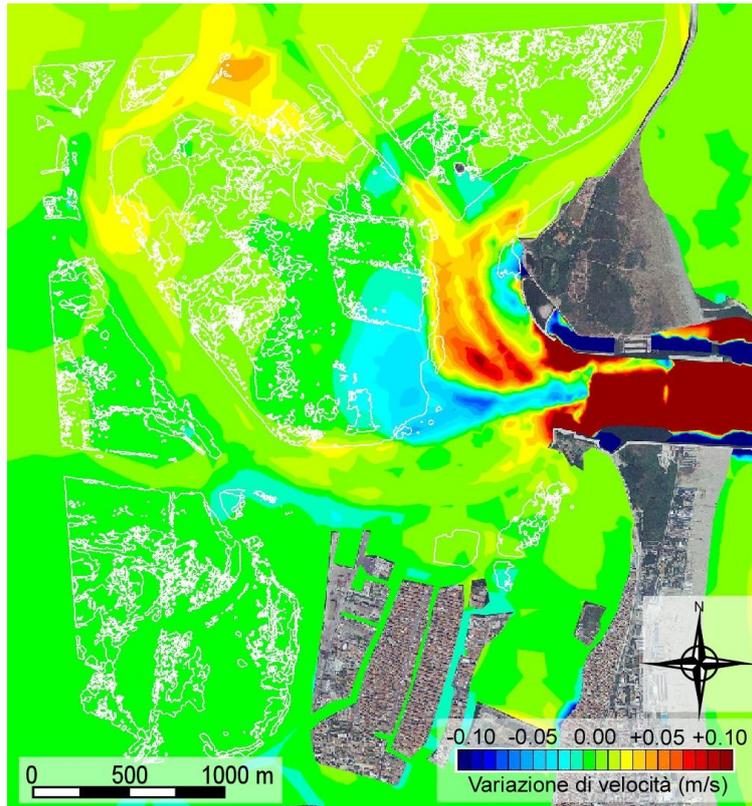


Figura 34 - Marea di sizigia. Variazione complessiva in due cicli di sizigia delle velocità massime alla bocca di Chioggia calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

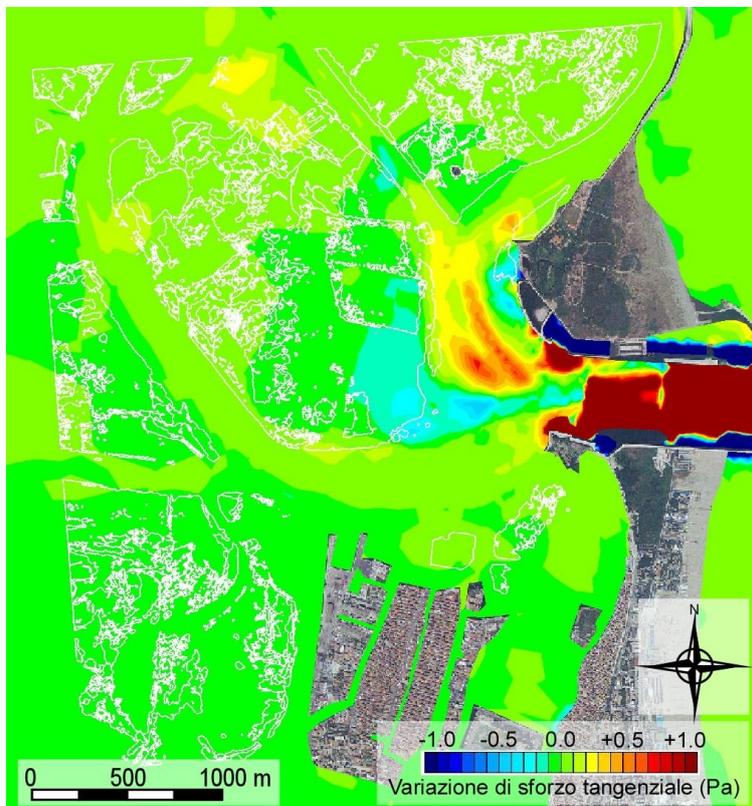


Figura 35 - Marea di sizigia. Variazione complessiva in due cicli di sizigia degli sforzi tangenziali al fondo massimi alla bocca di Chioggia calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

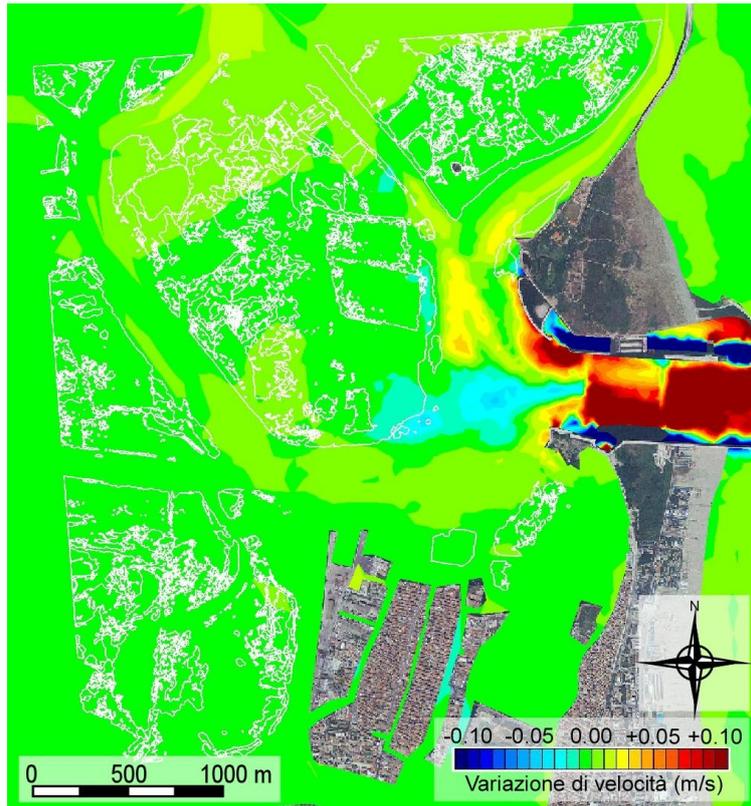


Figura 36 - Marea di quadratura. Variazione complessiva in due cicli di quadratura delle velocità massime alla bocca di Chioggia calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

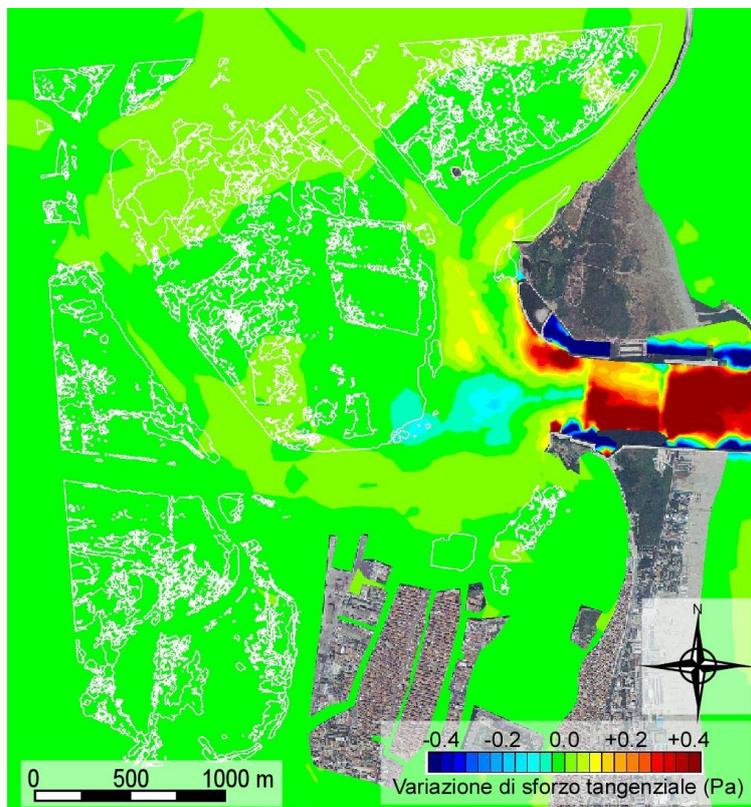


Figura 37 - Marea di quadratura. Variazione complessiva in due cicli di quadratura degli sforzi tangenziali al fondo massimi alla bocca di Chioggia calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

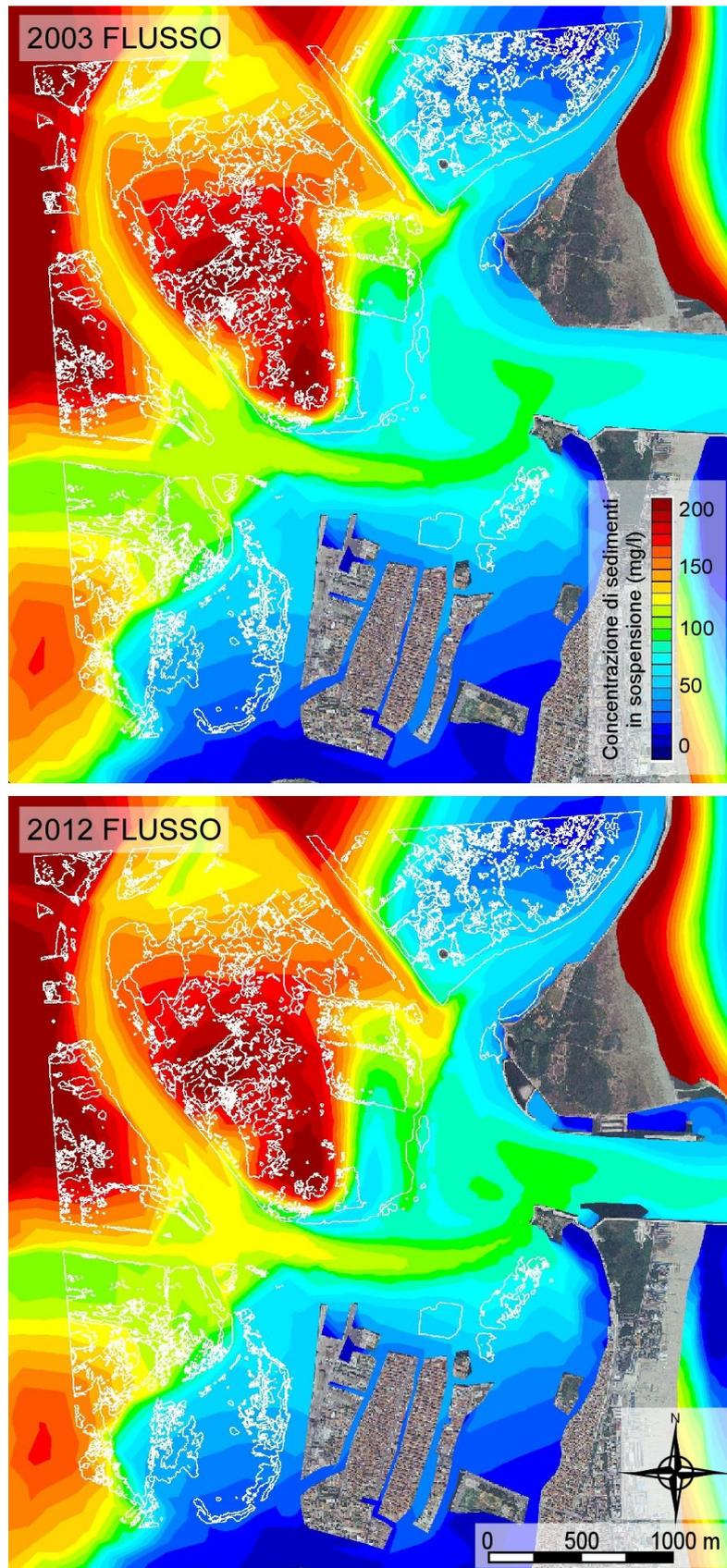


Figura 38 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di flusso alla bocca di Chioggia indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

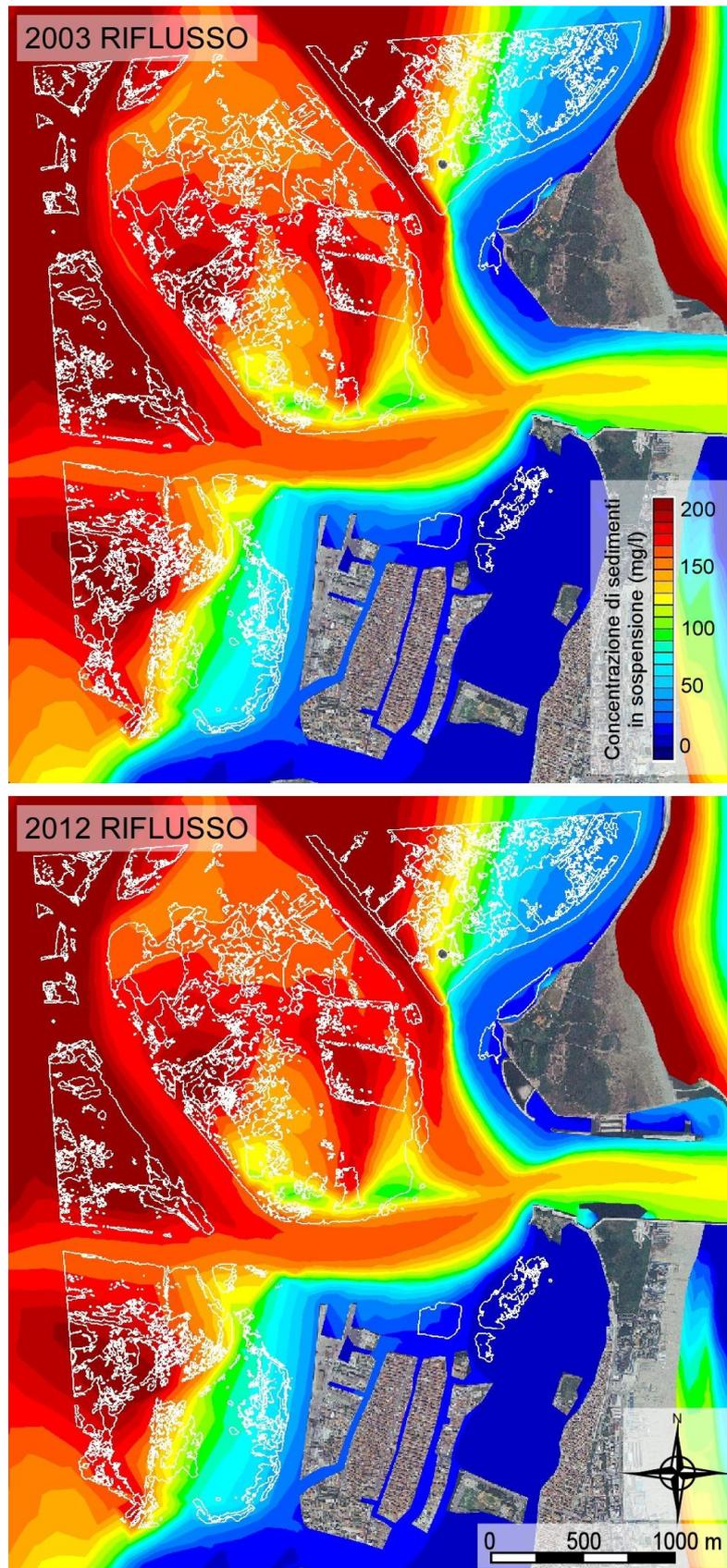


Figura 39 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involupei delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di riflusso alla bocca di Chioggia indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

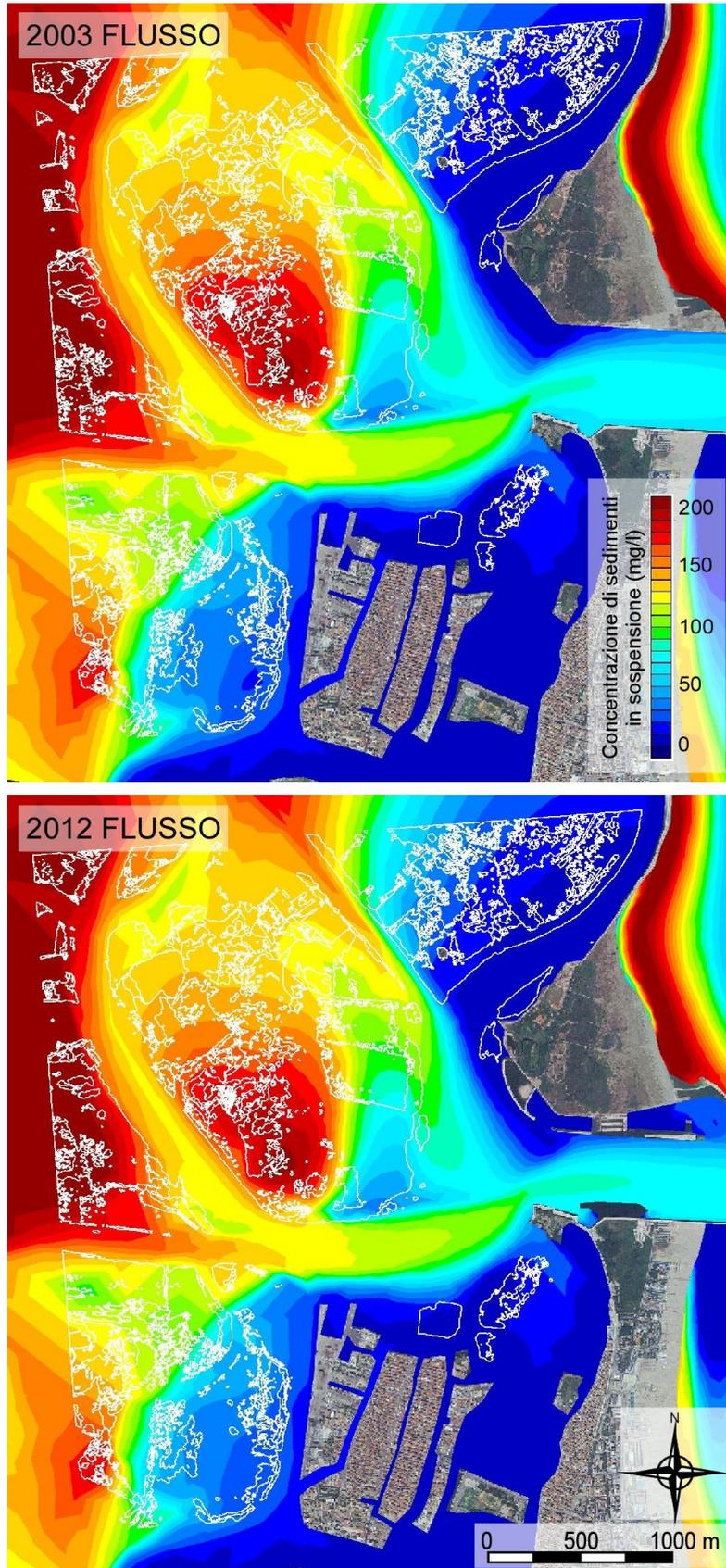


Figura 40 - Marea di quadratura. Confronto tra gli inviluppi delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di flusso alla bocca di Chioggia indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

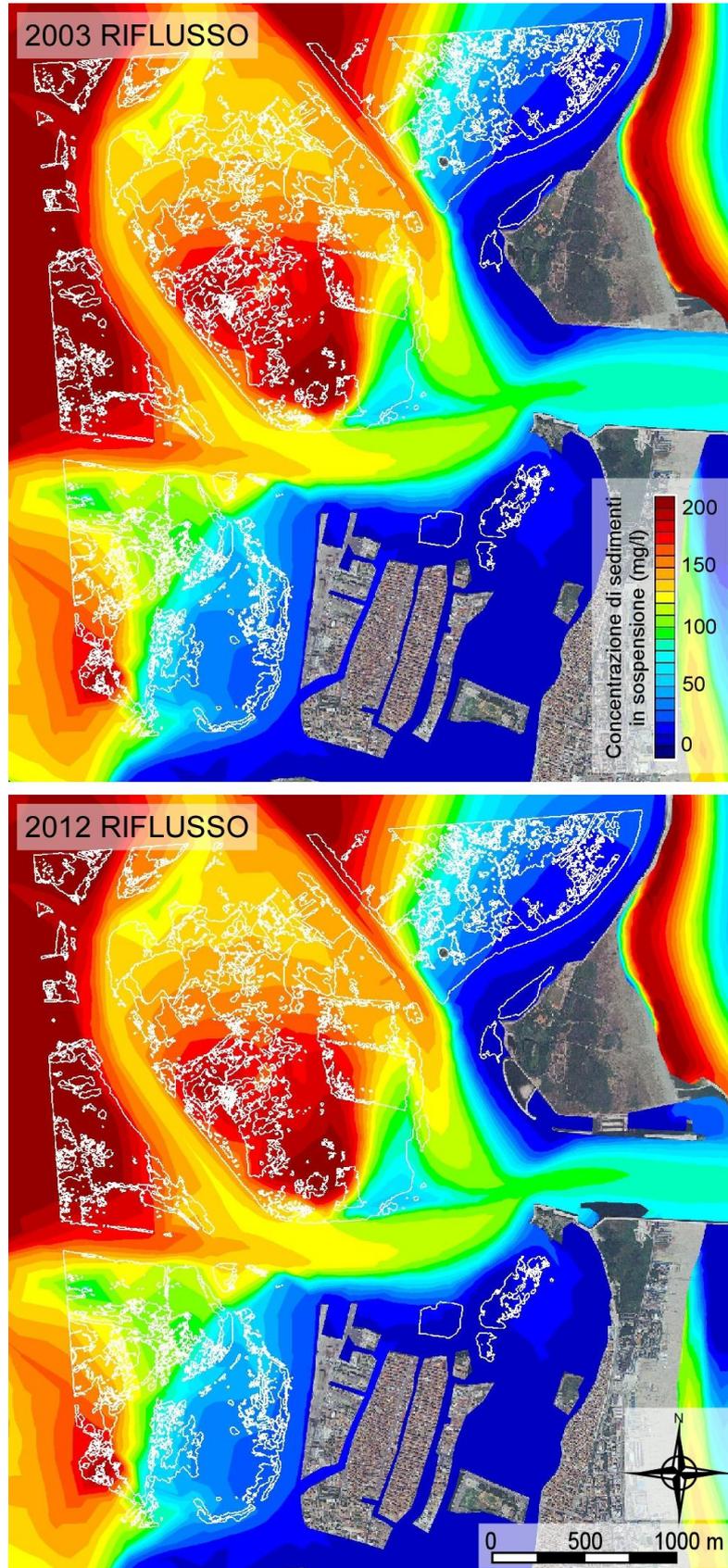


Figura 41 - Marea di quadratura. Confronto tra gli inviluppi delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di riflusso alla bocca di Chioggia indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

6 CONCLUSIONI

Mediante l'impiego del modello idrodinamico bidimensionale agli elementi finiti sviluppato dal Dipartimento ICEA dell'Università di Padova è stato realizzato un confronto tra il comportamento idrodinamico delle configurazioni precedente (2003) e successiva (2012) alla costruzione delle opere alle bocche della laguna di Venezia.

In una prima fase del lavoro è stata condotta una ulteriore verifica sulla capacità del modello di riprodurre correttamente il campo di moto idrodinamico per la configurazione attuale della laguna attraverso il confronto con i dati rilevati nel corso delle campagne di misure condotte nel corso dell'ultimo anno alle bocche di Chioggia e Malamocco (Attività 2.5: "Campagne di misura per la caratterizzazione delle aree a praterie a fanerogame", Disciplina Tecnico dello Studio B.6.72 B/9).

Per quanto riguarda la bocca di Chioggia, i confronti relativi alle portate lungo tre sezioni poste in prossimità del canale di bocca e all'oscillazione dei livelli in punti diversi del bacino controllato dalla bocca risultano molto soddisfacenti. Alcune discrepanze emergono, invece, dai confronti tra le velocità puntuali calcolate e misurate in alcuni punti sui bassifondi presenti in prossimità della bocca, in particolare durante la fase di marea calante, solo quando lo strumento misura velocità inferiori ai 5 cm/s.

Si giunge alle medesime conclusioni anche analizzando i confronti tra i dati raccolti in campo e i risultati del modello matematico in prossimità della bocca di Malamocco. In particolare, i confronti relativi ai livelli e alle portate possono considerarsi più che soddisfacenti, mentre i confronti relativi alle velocità in corrispondenza dei bassifondi presentano qualche discrepanza, come già descritto per la bocca di Chioggia. I confronti condotti con riferimento alla campagna di misure di marzo 2014 confermano, in buona sostanza, la bontà della modellazione matematica proposta nell'ambito delle precedenti attività (Studio B.6.72 B/8) e, pertanto, l'analisi delle variazioni nel campo di moto tra le configurazioni *ante* e *post operam* illustrati nello Studio B.6.72 B/8 sono da ritenersi ancora valide.

In definitiva, alla luce dei risultati ottenuti, si può concludere che il modello è in grado di riprodurre correttamente il campo di moto idrodinamico per la configurazione attuale della laguna, sia per la bocca di Malamocco che per la bocca di Chioggia.

È stato realizzato, quindi, il confronto tra il comportamento idrodinamico della laguna nella sua configurazione attuale rispetto a quello della laguna del 2003. A tale scopo, sono state considerate due maree astronomiche tipiche per la laguna di Venezia, una in condizioni di sizigia e l'altra in condizioni di quadratura, ipotizzando inoltre, in una prima fase di confronto, totale assenza di vento.

I risultati della modellazione matematica non evidenziano differenze apprezzabili dei livelli all'interno del bacino dominato dalla bocca di Chioggia nelle due configurazioni *ante* e *post operam*, sia in fase di sizigia sia in fase di quadratura. Inoltre, anche il confronto tra le portate calcolate con il modello alla bocca di Chioggia per entrambe le fasi di marea considerate non evidenzia differenze apprezzabili tra le due configurazioni analizzate.

Per entrambe le ipotesi di marea considerate, le variazioni nei campi di velocità e nelle distribuzioni degli sforzi tangenziali si concentrano in poche aree di limitata estensione situate in prossimità della bocca. Tali variazioni, inoltre, sono caratterizzate da valori di piccola entità.

In particolare, in condizioni di sizigia le variazioni di velocità più consistenti si osservano lungo il primo tratto del canale di Caroman, dove l'incremento medio assume valori di circa 5 cm/s, con massimi locali di 10 cm/s. In questo tratto del canale gli sforzi tangenziali evidenziano un

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

incremento che non supera i 0.5 Pa. Lungo i margini delle praterie a fanerogame situati più vicino alla bocca, invece, si osservano variazioni di velocità più modeste (2-3 cm/s), che raggiungono valori di 5 cm/s solo localmente. In queste zone le variazioni degli sforzi tangenziali sono molto esigue e possono considerarsi trascurabili.

Nell'ipotesi di considerare una marea di quadratura, le differenze tra i campi di velocità e gli sforzi tangenziali sono ancora più modeste. Le zone interessate dalle variazioni presentano un'estensione ancora più contenuta e le differenze osservate sono dell'ordine di 2-3 cm/s per le velocità e di 0.2-0.3 Pa per gli sforzi tangenziali.

In un secondo momento sono stati considerati i fenomeni di risospensione dei sedimenti generati dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso. A tale scopo sono state condotte le simulazioni nell'ipotesi di considerare un vento di bora costante di intensità pari a 15 m/s.

Dal confronto condotto con riferimento alla marea di sizigia emerge un incremento apprezzabile delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione (circa 40 mg/l) lungo il margine della prateria situato davanti alla bocca per la configurazione *post operam*. Tale variazione, tuttavia, si osserva solo se si considera la fase di flusso, poiché le analisi condotte per la fase di riflusso non evidenziano differenze apprezzabili in corrispondenza delle aree interessate dalle praterie a fanerogame. Incrementi di lieve entità (circa 10 mg/l) si osservano, invece, lungo i canali della Perognola e di Poco Pesce sia per la fase di flusso sia per la fase di riflusso.

Le analisi condotte nell'ipotesi di considerare una marea di quadratura non evidenziano differenze di rilievo tra le configurazioni ante e post operam, né per la fase di flusso né per la fase di riflusso.

7 BIBLIOGRAFIA

- Carniello, L., Defina, A., Fagherazzi, S. and L. D'Alpaos. A combined wind wave-tidal model for the Venice lagoon, Italy. *Journal of Geophysical Research*, 110, 2005. doi:10.1029/2004JF000232.
- Carniello, L., Defina, A. and L. D'Alpaos. Morphological evolution of the Venice lagoon: Evidence from the past and trend for the future. *J. Geophys. Res.*, 114(F04002), 2009. doi:10.1029/2008JF001157.
- Carniello, L., D'Alpaos, A. and A. Defina. Modeling wind waves and tidal flows in shallow microtidal basins. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2011. doi:10.1016/j.ecss.2011.01.001.
- Carniello, L., A. Defina and L. D'Alpaos. Modeling sand-mud transport induced by tidal currents and wind waves in shallow microtidal basins: Application to the Venice Lagoon (Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2012. doi:10.1016/j.ecss.2012.03.016.
- Carniello, L., S. Silvestri, M. Marani, A. D'Alpaos, V. Volpe, and A. Defina. Sediment dynamics in shallow tidal basins: In situ observations, satellite retrievals, and numerical modeling in the Venice Lagoon. *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 119, 2014. doi:10.1002/2013JF003015.
- D'Alpaos, L. and A. Defina. Venice lagoon hydrodynamics simulation by coupling 2D and 1D finite element models. In *Proceedings of the 8th Conference on Finite Elements in Fluids. New Trends and Applications*, pages 917-926, Barcelona, 20-24 September 1993.
- D'Alpaos, L. and A. Defina. Modellazione matematica del comportamento idrodinamico delle zone di barena solcate da una rete di canali minori. Istituto Veneto di SS.LL.AA., 1995.
- D'Alpaos, L. and A. Defina. Mathematical modelling of tidal hydrodynamics in shallow lagoons: A review of open issues and applications to the Venice lagoon. *Computers and Geosciences*, 33(4):476-496, 2007. ISSN: 0098-3004, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2006.07.009>.
- Defina, A.. Two dimensional shallow flow equations for partially dry areas. *Water Resource Research*, 36(11):3251-3264, 2000.
- Defina, A., D'Alpaos, L. and B. Matticchio. A new set of equations for very shallow water and partially dry areas suitable to 2d numerical models. In *Proceedings of the Specialty Conference on "Modelling of Flood Propagation Over Initially Dry Areas"*, edited by P. Molinaro and L. Natale, pages 72-81, Milan, 29 June-1 July 1994.
- Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. Studio B.6.72 B/7 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Modellazione matematica idro-morfodinamica delle praterie a fanerogame marine. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova, 2012.
- Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. Studio B.6.72 B/8 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Modellazione matematica idro-morfodinamica delle praterie a fanerogame marine. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova, 2013.
- Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. Aggiornamento del piano morfologico della laguna di Venezia. Rapporto finale. Prodotto dal concessionario Consorzio Venezia Nuova, 2011.
- Consorzio Venezia Nuova-Technital. Studio C.2.10/III: Attività di aggiornamento del piano degli interventi per il recupero morfologico in applicazione della delibera del Consiglio dei Ministri del

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

15.03.01, Studi di base, linee guida e proposte di intervento del piano morfologico: Parte A-Analisi del Sistema. Magistrato alle Acque di Venezia, 2004.

APPENDICE:

CAMPI DI VELOCITÀ E DISTRIBUZIONI PLANIMETRICHE DEGLI SFORZI TANGENZIALI

Nel seguito sono posti a confronto i campi di velocità e le distribuzioni planimetriche degli sforzi tangenziali al fondo in prossimità della bocca di Chioggia nelle condizioni di massimo flusso e riflusso per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere alle bocche per la difesa dalle acque alte.

I campi di velocità e gli sforzi tangenziali qui illustrati sono riferiti alle simulazioni idrodinamiche condotte in assenza di vento e imponendo in mare, lungo la frontiera esterna della griglia computazionale, una tipica marea di sizigia e una tipica marea di quadratura per la laguna di Venezia (Figura 28).

Ogni confronto *ante* e *post operam* sui campi di velocità e sugli sforzi tangenziali illustrato in questa appendice è, inoltre, corredato da una mappa a colori delle differenze (delta) 2012-2003, calcolate analizzando separatamente le fasi di flusso e di riflusso della marea. In particolare, la scala cromatica del rosso identifica un incremento della grandezza considerata (velocità o sforzo tangenziale) rispetto alla configurazione *ante operam*, mentre la scala del blu identifica una riduzione rispetto alla configurazione *ante operam*.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

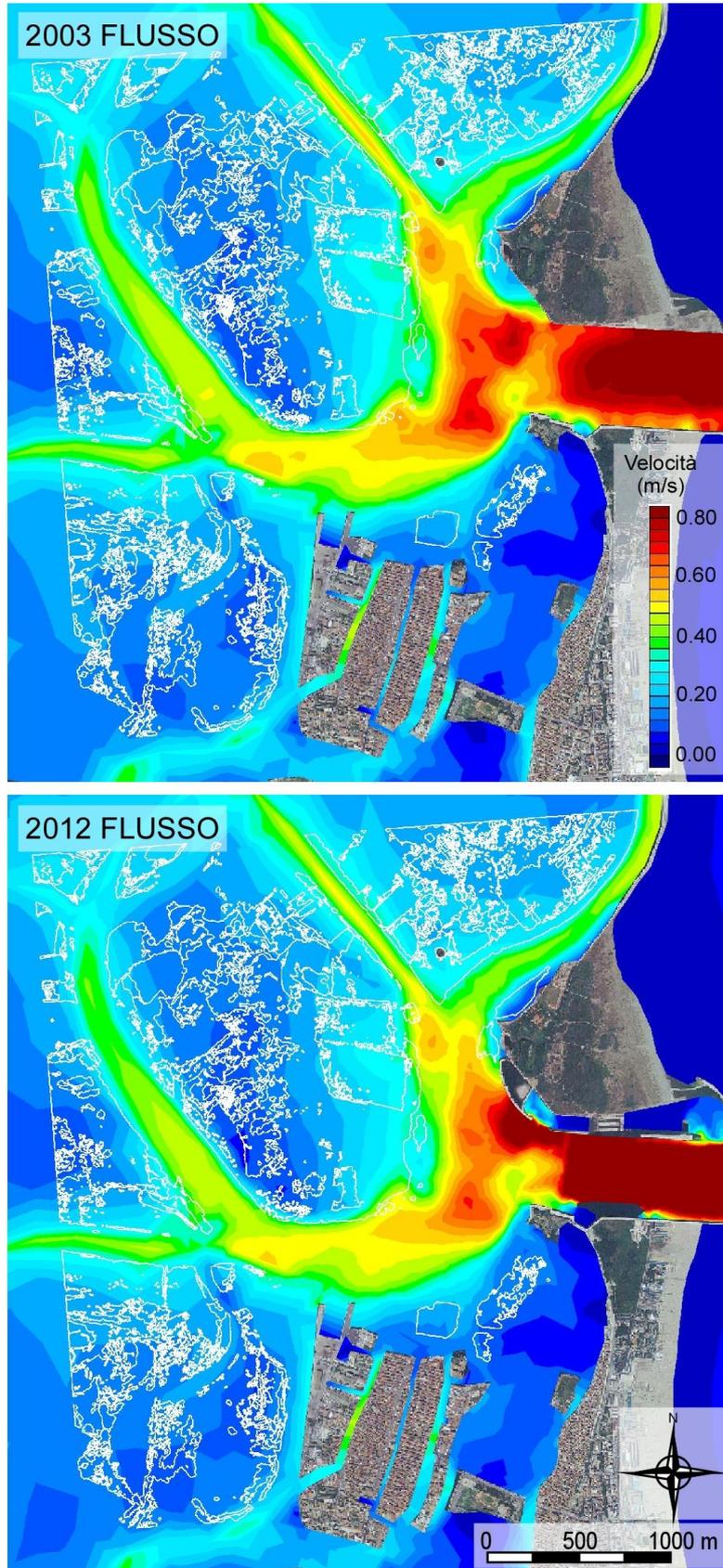


Figura 42 – Marea di sizigia. Confronto tra gli involucri delle velocità massime in fase di flusso alla bocca di Chioggia calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

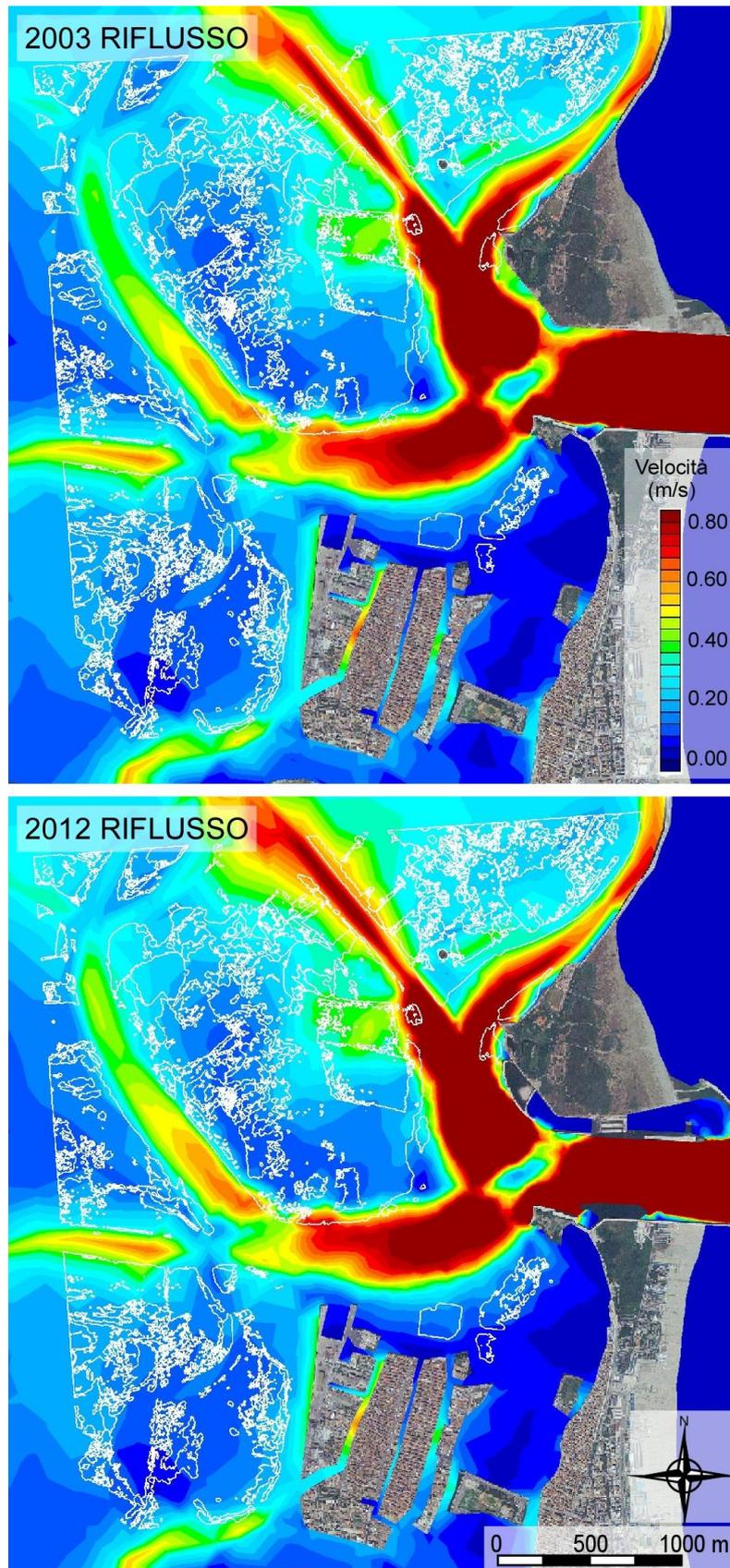


Figura 43 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi delle velocità massime in fase di riflusso alla bocca di Chioggia calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

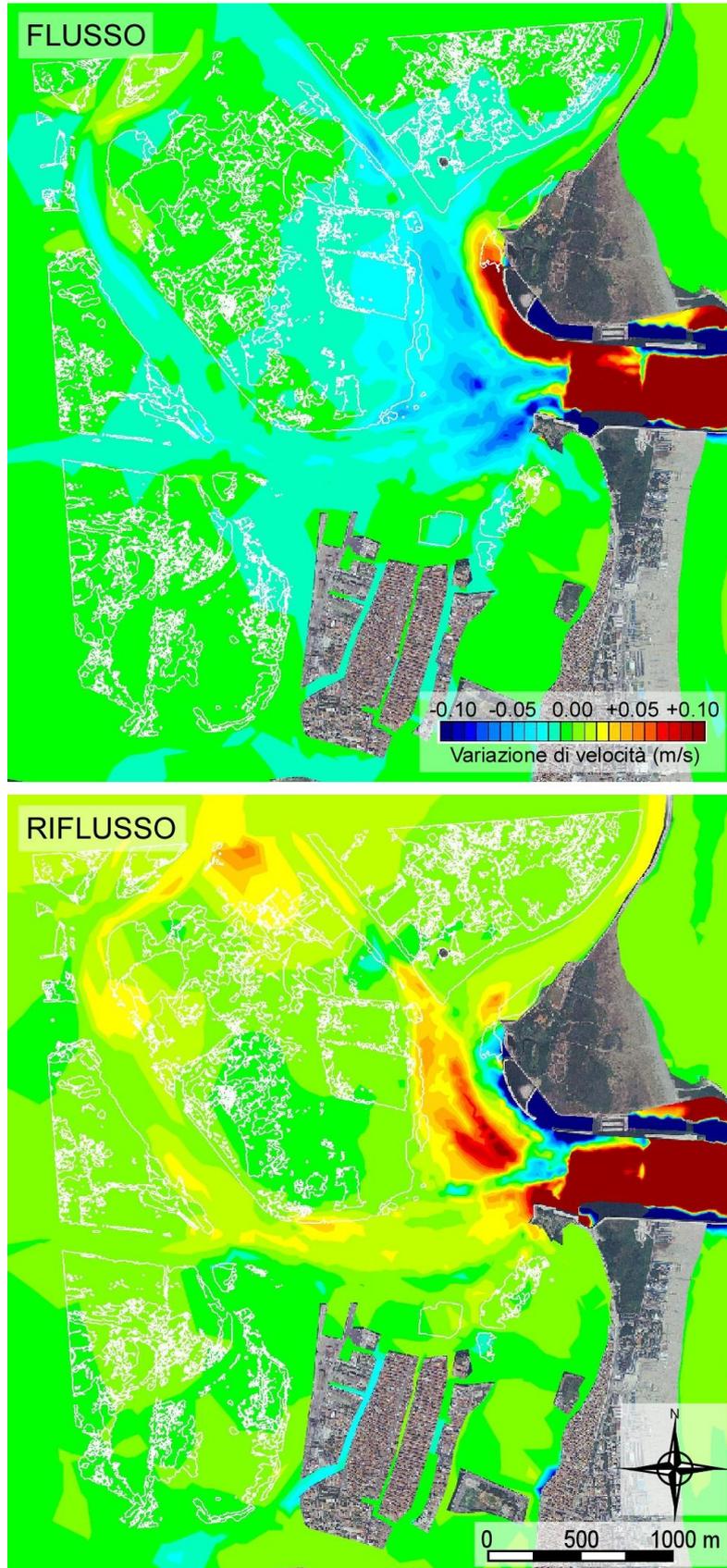


Figura 44 - Marea di sizigia. Variazione delle velocità massime in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Chioggia calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

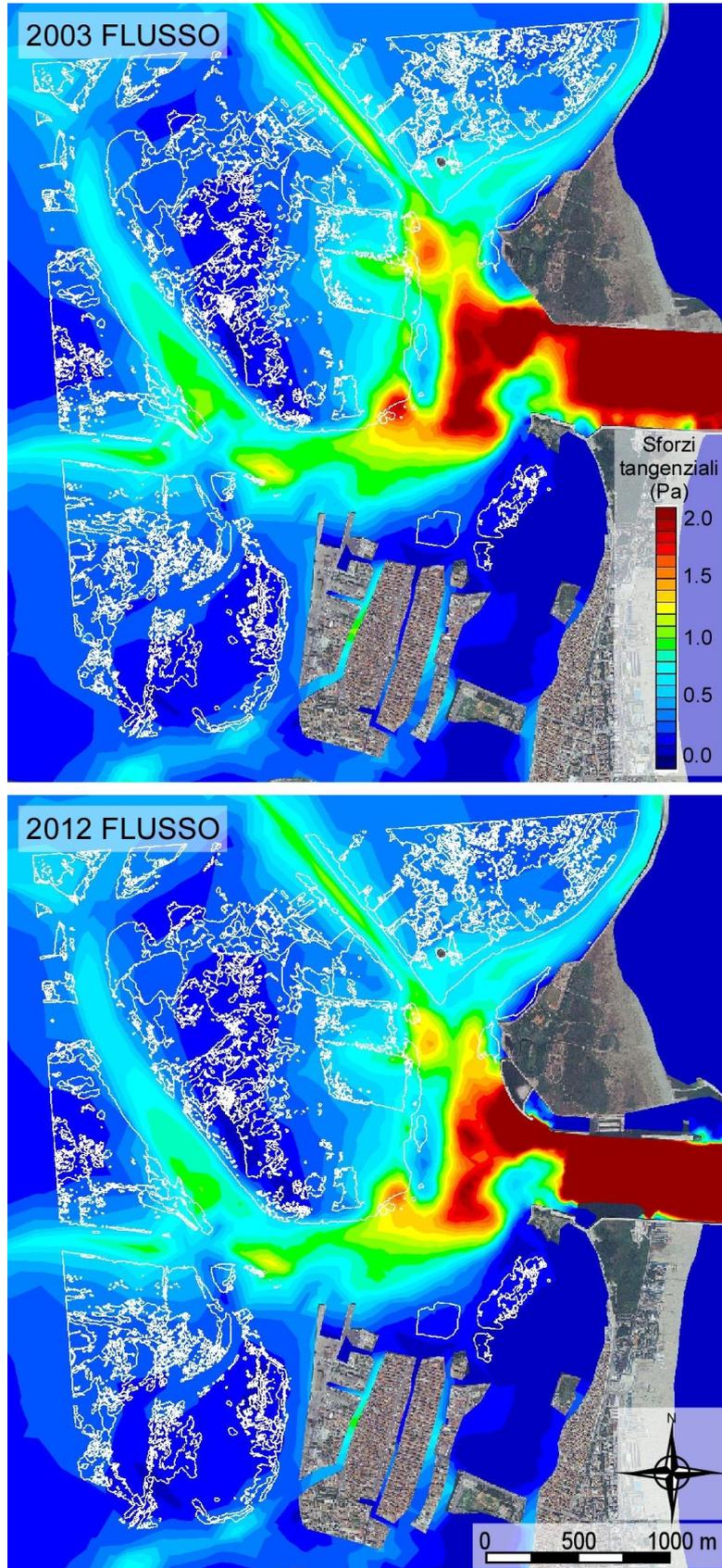


Figura 45 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di flusso alla bocca di Chioggia calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

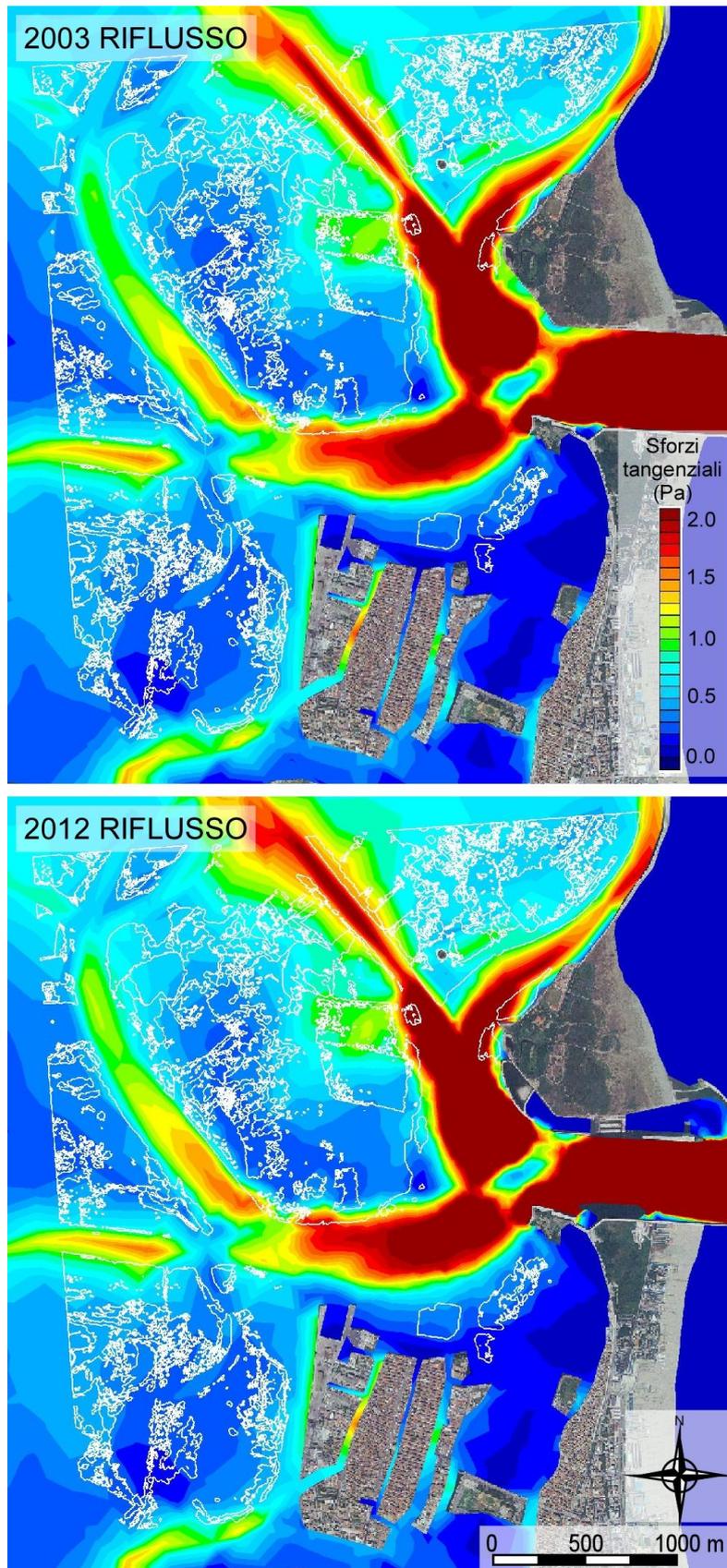


Figura 46 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di riflusso alla bocca di Chioggia calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere alle bocche.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

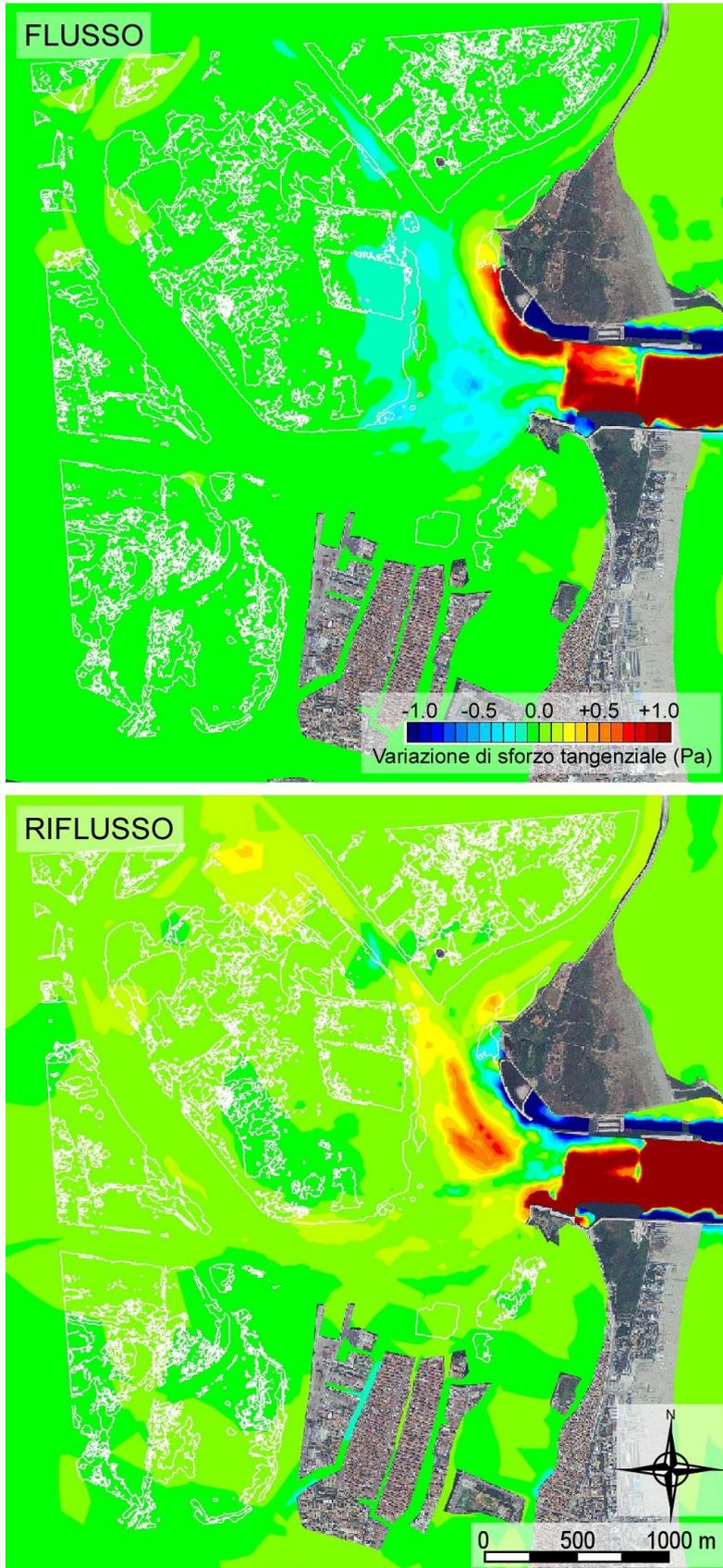


Figura 47 - Marea di sizigia. Variazione degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Chioggia calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

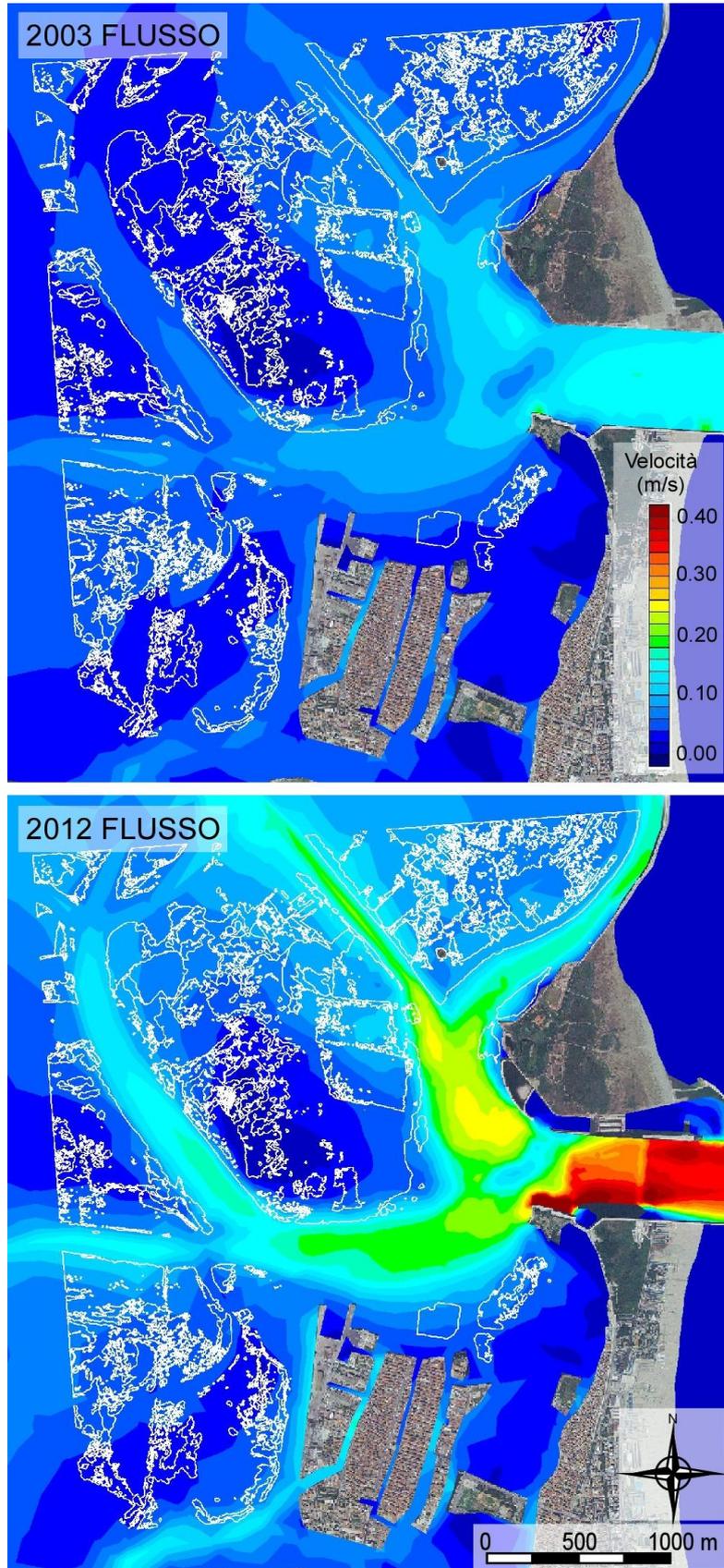


Figura 48 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involuipi delle velocità massime in fase di flusso alla bocca di Chioggia calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

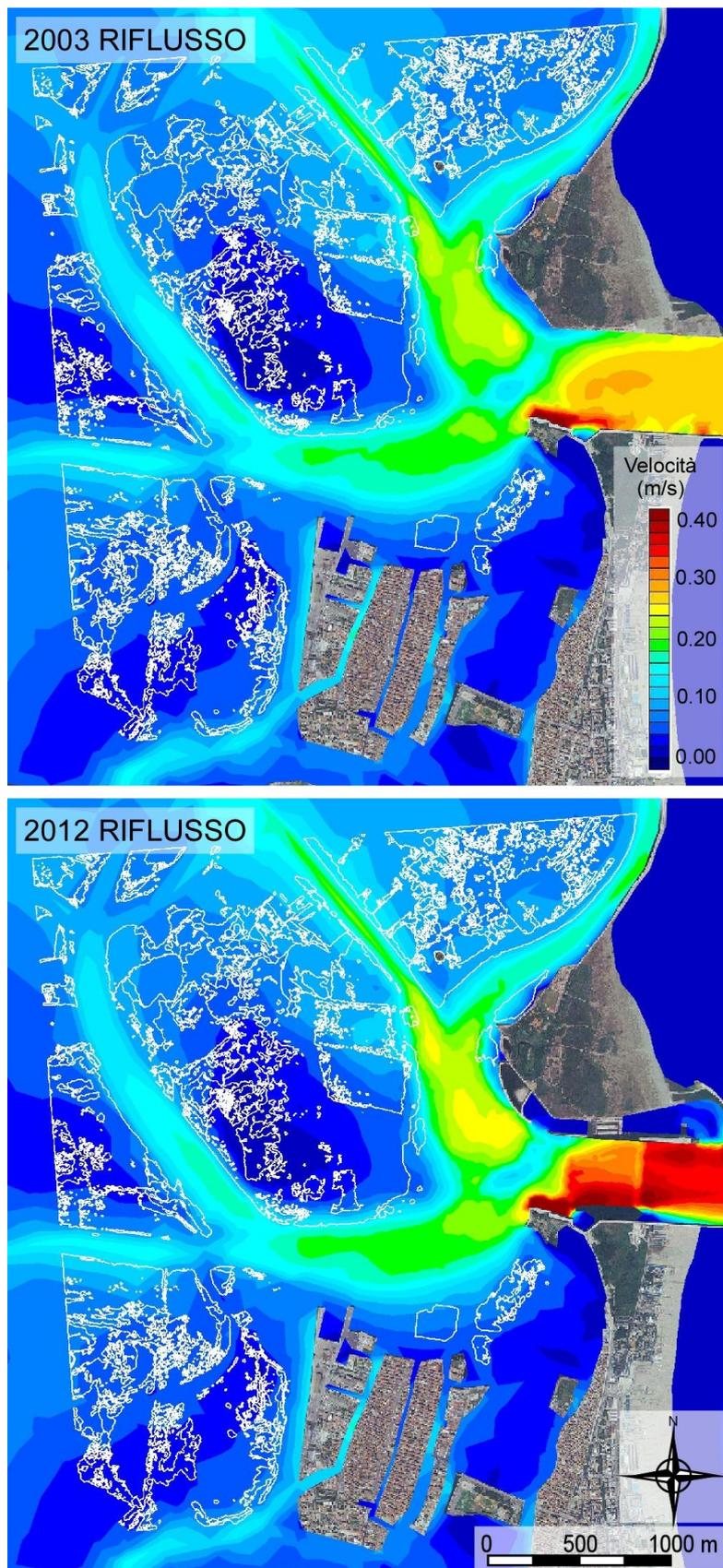


Figura 49 - Marea di quadratura. Confronto tra gli inviluppi delle velocità massime in fase di riflusso alla bocca di Chioggia calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

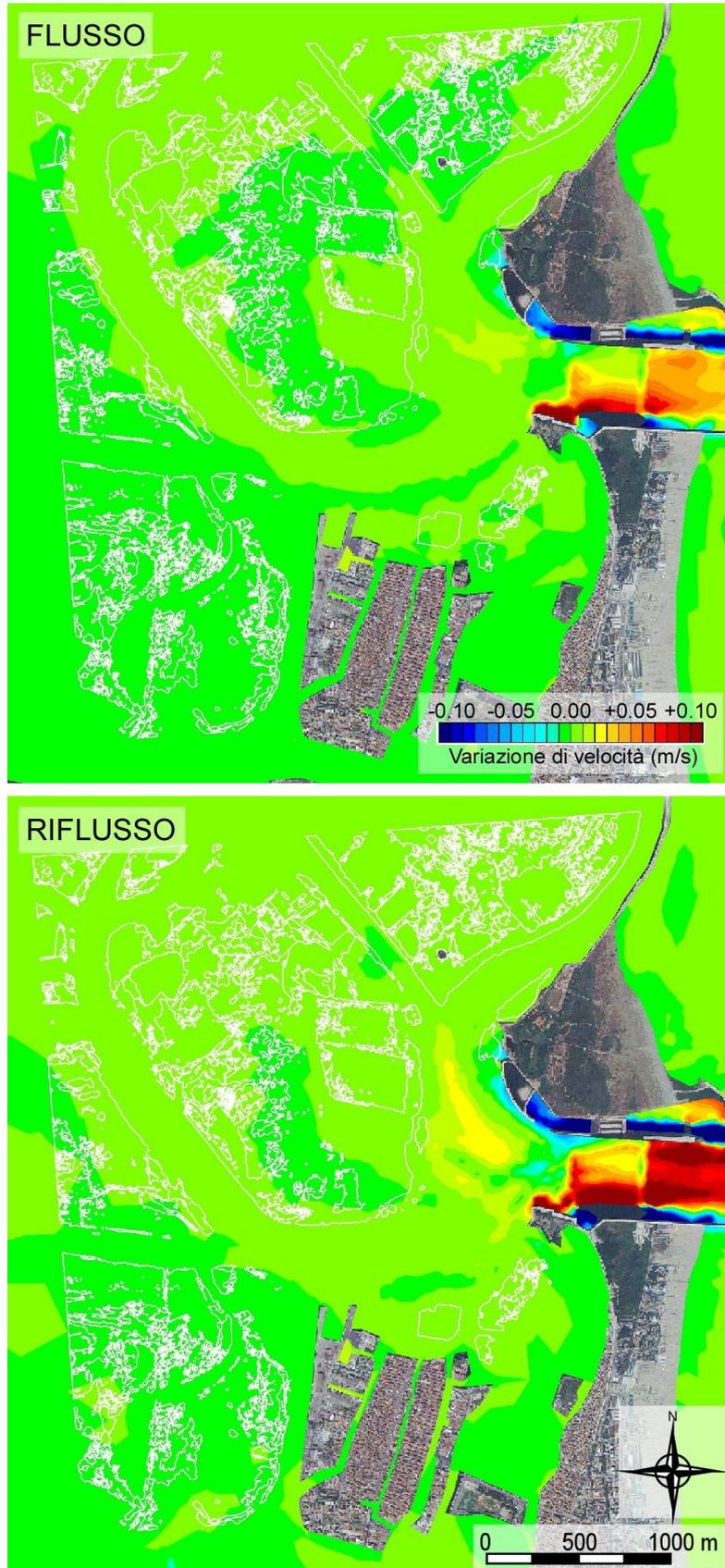


Figura 50 - Marea di quadratura. Variazione delle velocità massime in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Chioggia calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

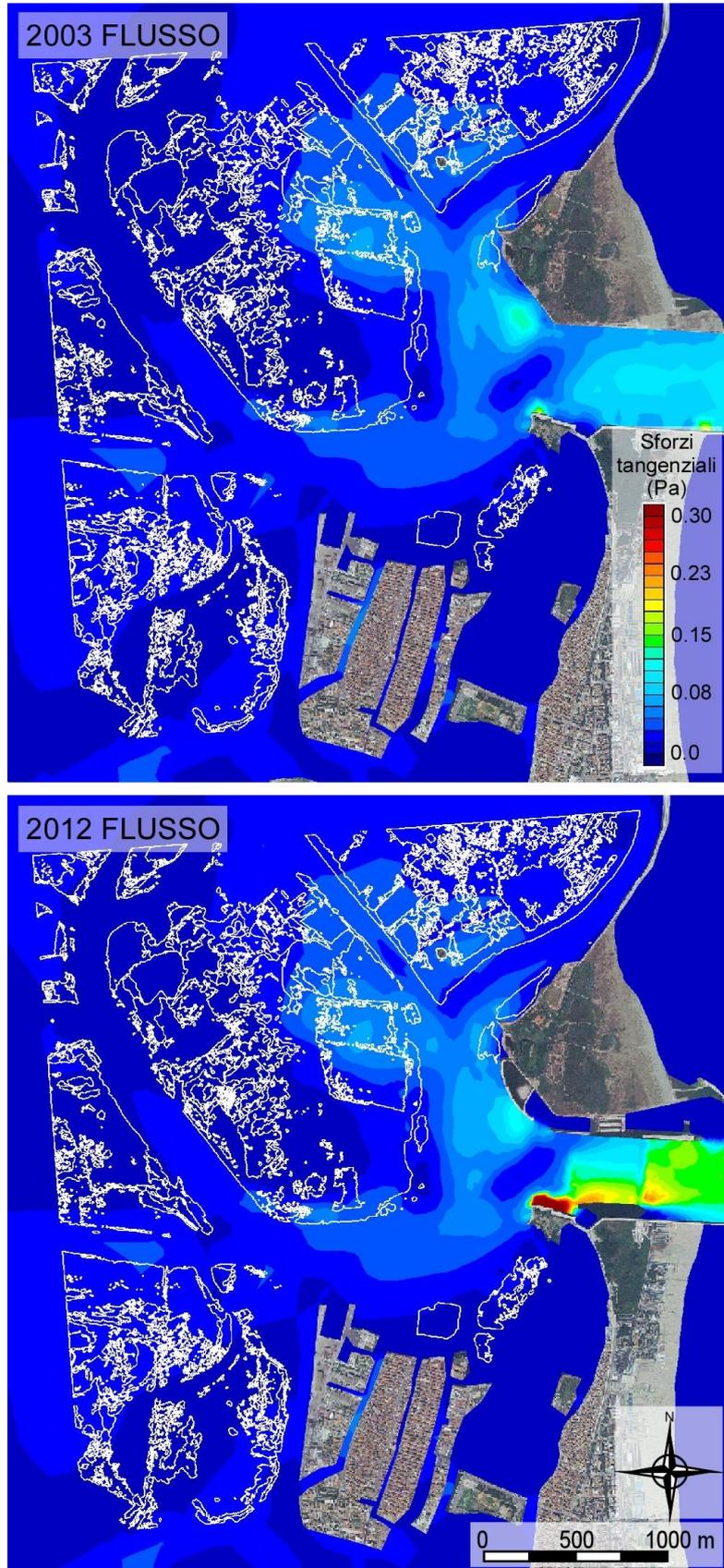


Figura 51 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involuipi degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di flusso alla bocca di Chioggia calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

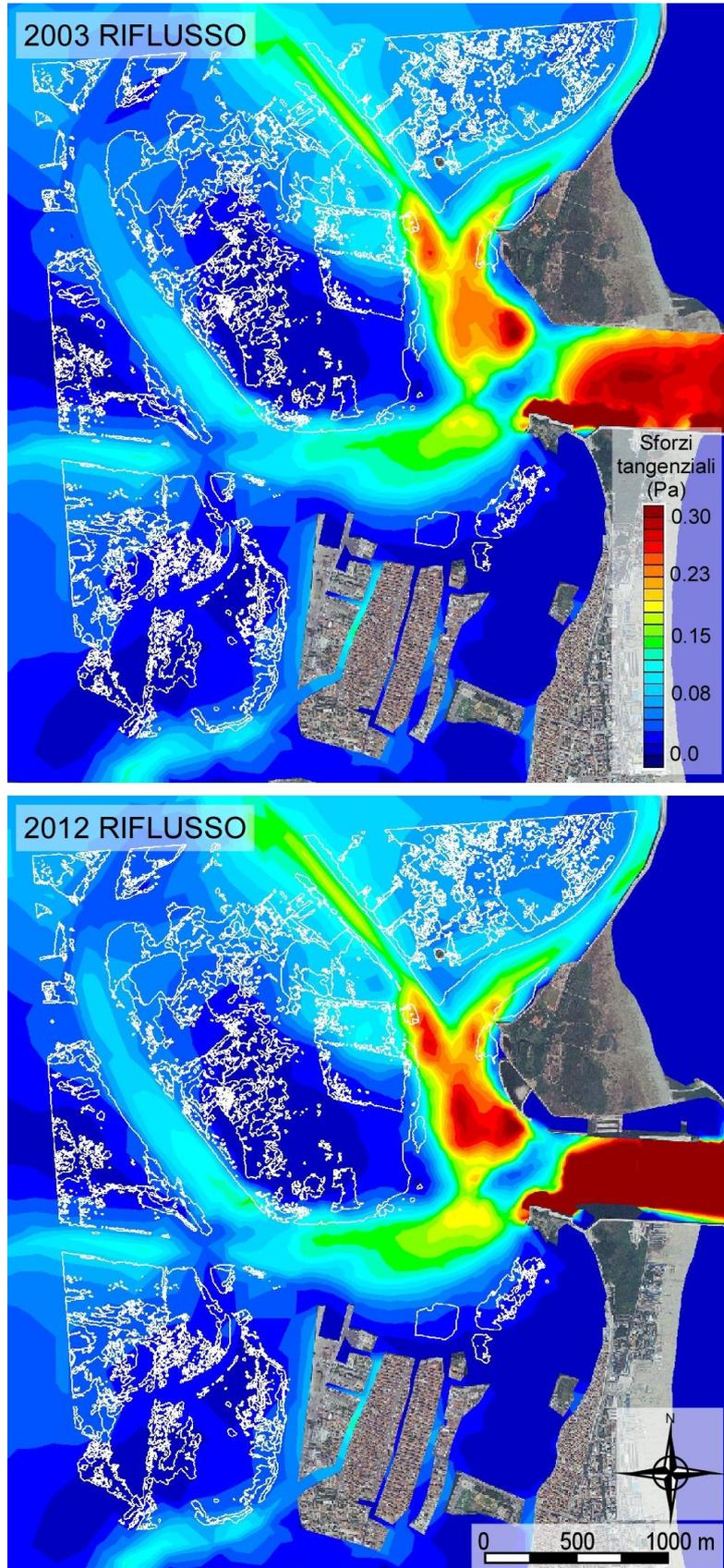


Figura 52 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involuipi degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di riflusso alla bocca di Chioggia calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

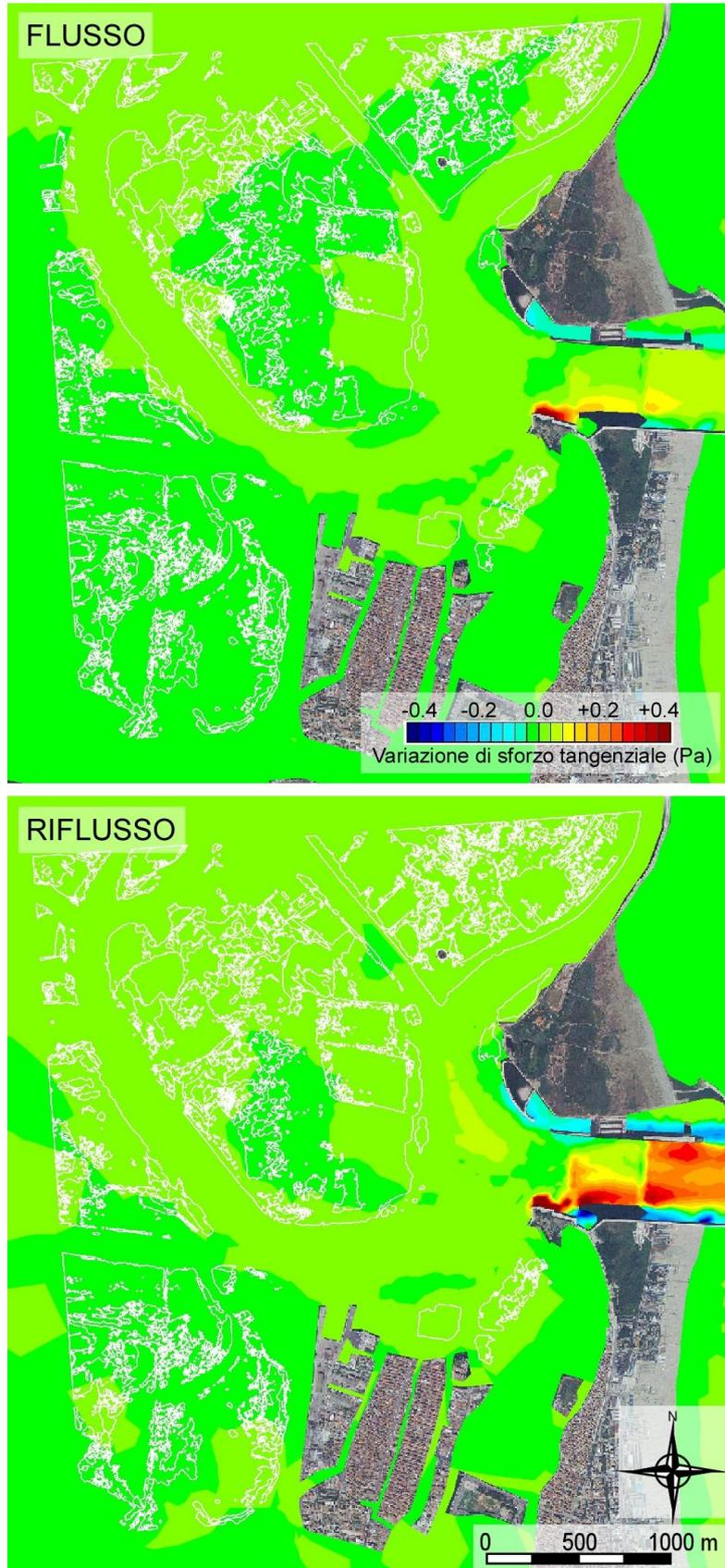


Figura 53 - Marea di quadratura. Variazione degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Chioggia calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.