



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/8**

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

Contratto Thetis-CORILA n. 122000551

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

Versione **1.0**

Emissione **1 Luglio 2013**

Redazione

Ing. Luca Carniello  
(ICEA-UNIPD)

Verifica

Prof. Andrea Defina  
(ICEA-UNIPD)

Verifica

Prof.ssa Patrizia Torricelli

Approvazione

Ing. Pierpaolo Campostrini

## Indice

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUZIONE.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>LA MODELLAZIONE MATEMATICA.....</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1      | Il modello idrodinamico .....   | 4         |
| 2.2      | Il modello lagrangiano .....  | 5         |
| 2.3      | Schematizzazione del dominio di calcolo .....   | 5         |
| <b>3</b> | <b>CAMPAGNE DI MISURA.....</b>  | <b>9</b>  |
| 3.1      | Campagne di misura condotte alla bocca di Lido.....   | 9         |
| 3.2      | Campagne di misura condotte alla bocca di Malamocco.....  | 11        |
| <b>4</b> | <b>CONFRONTO TRA I DATI RACCOLTI NEL CORSO DELLE CAMPAGNE DI MISURA E I RISULTATI DEL MODELLO IDRODINAMICO.....</b> | <b>13</b> |
| 4.1      | Campagna di misure del 2-3 agosto 2012.....   | 13        |
| 4.2      | Campagna di misure del 14-15 novembre 2012.....   | 20        |
| 4.3      | Campagna di misure del 12-13 febbraio 2013.....   | 26        |
| <b>5</b> | <b>CONFRONTO TRA LE TRAIETTORIE PERCORSE DALLE DROGHE LAGRANGIANE E I RISULTATI DEL MODELLO LAGRANGIANO .....</b>   | <b>31</b> |
| 5.1      | Confronto con i dati raccolti nel corso della campagna di misure del 22 dicembre 2011 (Studio B/7) .....            | 31        |
| 5.2      | Confronto con i dati raccolti durante le campagne di misura svolte nel corso dell'ultimo anno .<br>.....            | 35        |
| <b>6</b> | <b>CONFRONTO TRA LE CONFIGURAZIONI PRECEDENTE E SUCCESSIVA ALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE.....</b>        | <b>41</b> |
| <b>7</b> | <b>CONCLUSIONI.....</b>   | <b>63</b> |
| <b>8</b> | <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>  | <b>66</b> |
|          | <b>APPENDICE: CAMPI DI VELOCITÀ E DISTRIBUZIONI PLANIMETRICHE DEGLI SFORZI TANGENZIALI.....</b>                     | <b>67</b> |

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. Facendo seguito e approfondendo le attività svolte lo scorso anno nello Studio B.6.72 B/7, l'analisi si è nuovamente concentrata sull'idrodinamica della bocca di Lido, in corrispondenza della quale sono state condotte due nuove campagne di misura. L'analisi del comportamento idrodinamico ha riguardato, inoltre, anche la bocca di Malamocco, nei pressi della quale è stata pertanto svolta una specifica campagna di misure.

In una prima fase dello studio, il lavoro si è concentrato sull'ulteriore verifica e messa a punto dei modelli matematici già sviluppati lo scorso anno nell'ambito delle medesime attività e comprendenti la configurazione antecedente alla costruzione delle opere alle bocche e la configurazione attuale della laguna.

In particolare, la verifica delle capacità predittive del modello per la configurazione attuale della laguna è stata realizzata attraverso il confronto con i dati rilevati nel corso delle campagne di misure di agosto 2012 e febbraio 2013 condotte alla bocca di Lido e nel corso della campagna di novembre 2012 condotta alla bocca di Malamocco, durante le quali sono stati realizzati principalmente rilievi correntometrici.

Un'ulteriore verifica del campo di moto idrodinamico riprodotto con il modello per la configurazione attuale della laguna è stata condotta confrontando le traiettorie delle droghe lagrangiane (i.e. corpi galleggianti in grado di essere trasportati dalla corrente) rilevate durante le campagne di rilievi con le traiettorie delle medesime droghe calcolate attraverso l'applicazione di un modello lagrangiano.

L'analisi delle differenze nei campi di moto idrodinamici per le due configurazioni lagunari *ante* e *post operam* sono state, infine, analizzate considerando due maree astronomiche tipiche per la laguna di Venezia, una in condizioni di sizigia e una in condizioni di quadratura. Tali differenze, 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]. 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; 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].

## **2.2 Il modello lagrangiano**

Il campo di moto idrodinamico ricostruito attraverso il modello bidimensionale è stato verificato seguendo anche un approccio di tipo lagrangiano. A questo scopo, è stato utilizzato il modello lagrangiano sviluppato dal Dipartimento ICEA, che permette di descrivere il moto browniano di particelle in sospensione all'interno del campo di moto idrodinamico.

Per la teoria del moto browniano, il coefficiente di dispersione cinematica turbolenta calcolato con il modello idrodinamico 2D può legarsi statisticamente agli spostamenti casuali effettuati dalle particelle ad ogni passo temporale di calcolo e in modo particolare con il momento secondo della PDF (Probability Density Function) assunta per descrivere la distribuzione degli spostamenti casuali delle particelle nello spazio.

L'applicazione di questo modello permette, in sostanza, di valutare le possibili traiettorie percorse da un certo numero di particelle rilasciate in punti specifici del campo di moto, quali potrebbero essere, ad esempio, i punti di rilascio delle droghe lagrangiane durante le campagne di misura. Le traiettorie così calcolate possono essere confrontate con i percorsi effettivamente seguiti dalle droghe. Tali confronti costituiscono delle verifiche piuttosto stringenti della bontà dei risultati forniti dai modelli numerici implementati.

## **2.3 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 alla costruzione 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 qui illustrata si è concentrata specificatamente sulle bocche di Lido e Malamocco. Con riferimento alla bocca di Lido, le analisi nel seguito illustrate costituiscono un approfondimento delle già analisi svolte nella prima fase delle attività di monitoraggio.

Le caratteristiche geometriche dei reticoli di calcolo utilizzati per le simulazioni in questa fase delle attività di monitoraggio sono quelli sviluppati lo scorso anno nell'ambito delle stesse attività (Figura 1 e Figura 2). La descrizione dei criteri e dei metodi utilizzati per la produzione delle due

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

griglie è contenuta in 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).

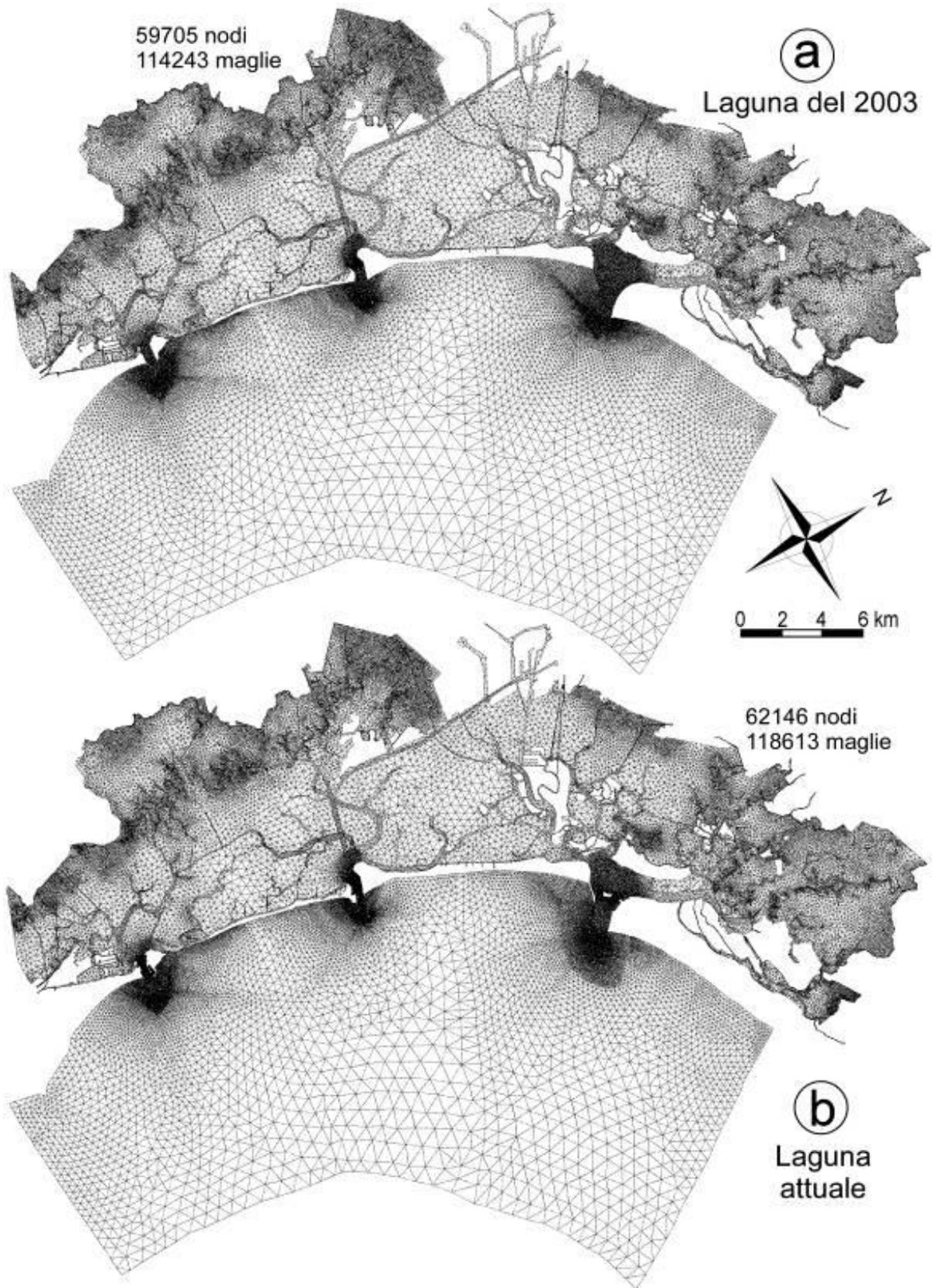


Figura 1 - Reticolo di calcolo rappresentativo della configurazione della laguna di Venezia del 2003 (a) e della configurazione attuale della laguna (b).

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

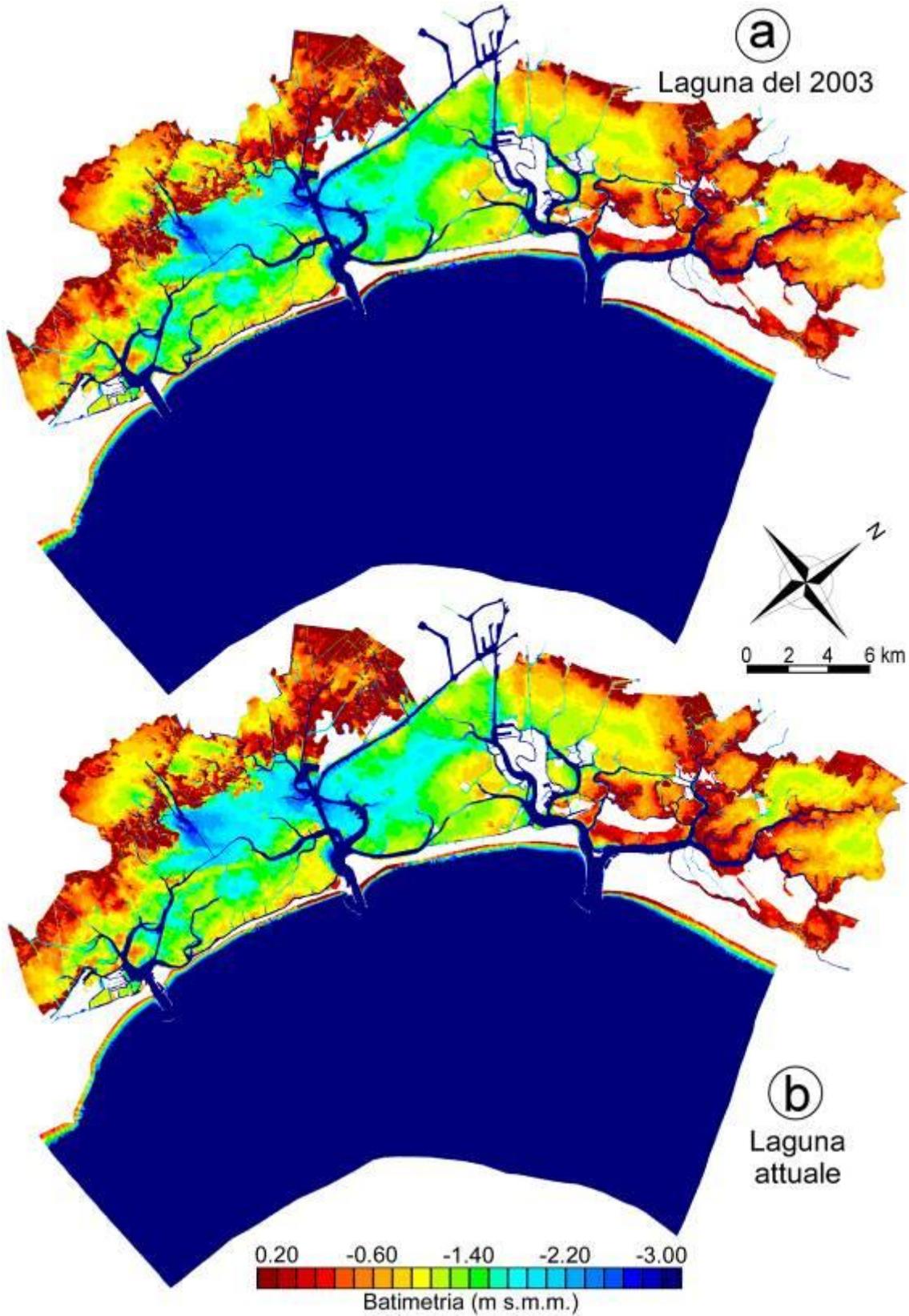


Figura 2 - Rappresentazione a scala di colori delle quote del fondo della configurazione della laguna del 2003 (a) e della sua configurazione attuale (b).

Si osservi, in particolare, che nel corso delle attività svolte lo scorso anno (Studio B.6.72 B/7) era stato reso disponibile un recente rilievo di dettaglio della bocca di Lido, a partire dalla testa dei moli foranei, e del canale S. Nicolò fino all'altezza del forte S. Andrea, il quale aveva permesso di realizzare un infittimento del reticolo di calcolo in prossimità dell'area in cui sono state condotte le campagne di rilievi e una completa riquotatura della bocca e del canale S. Nicolò (Figura 3), escluse le zone di basso fondale. Nessun rilievo batimetrico aggiornato è stato reso disponibile per la zona di mare antistante la bocca, la quale, per la configurazione *post operam*, vede l'inserimento dell'antemurale sui fondali preesistenti.

Per quanto riguarda la bocca di Malamocco, invece, nessun recente rilievo di dettaglio della bocca e delle aree adiacenti è stato reso disponibile, pertanto 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 4).

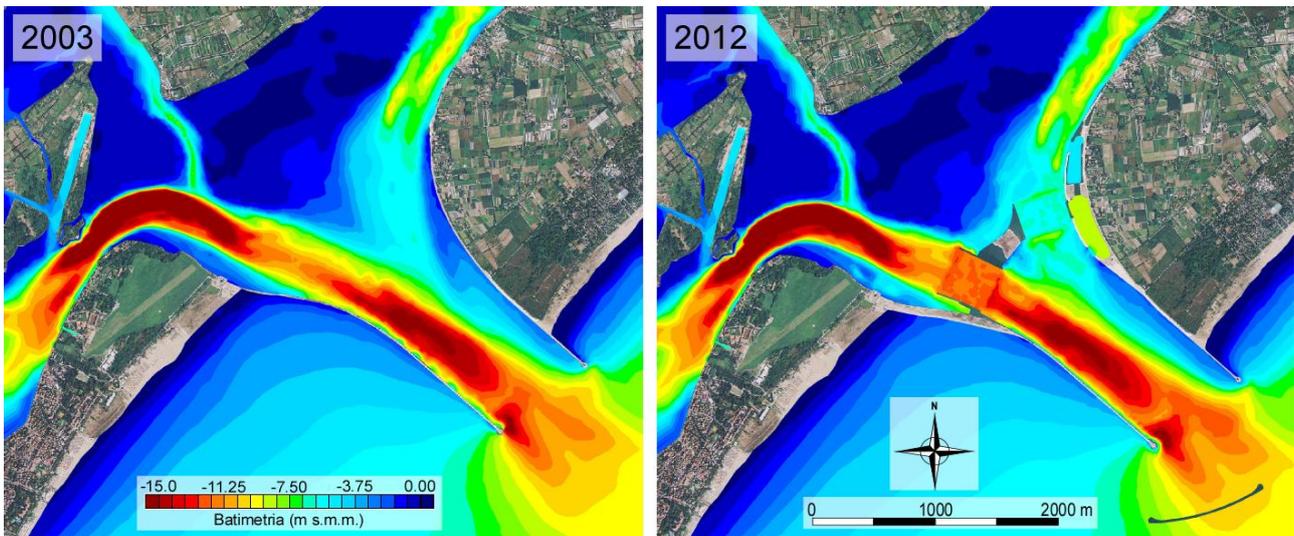


Figura 3 - Confronto tra le configurazioni *ante* (2003) e *post* (2012) *operam* alla bocca di Lido.

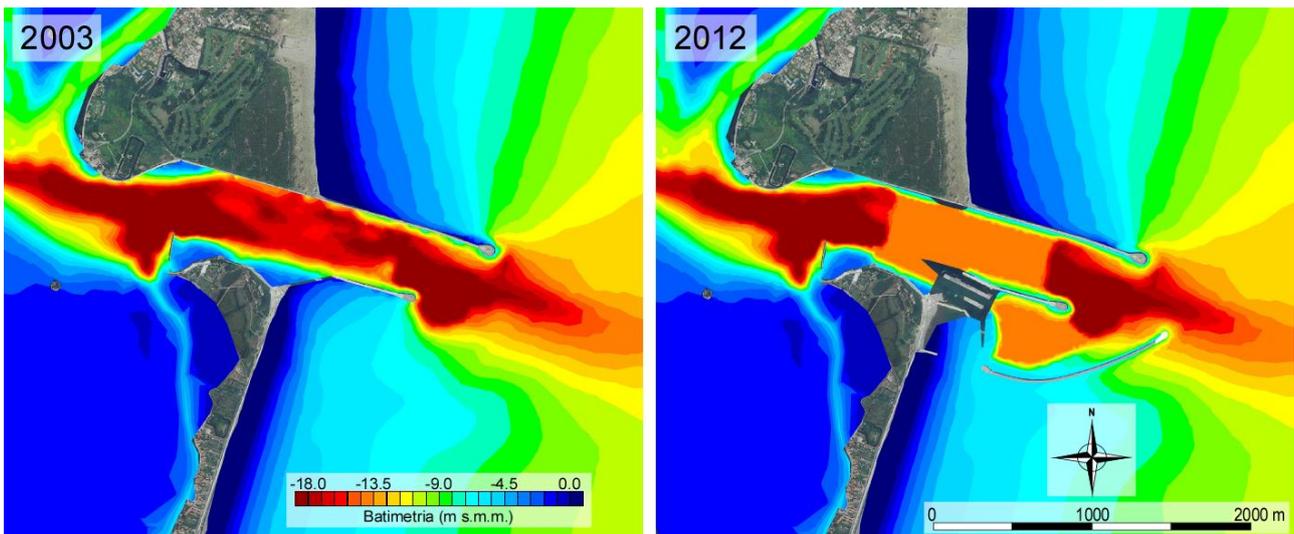


Figura 4 - Confronto tra le configurazioni *ante* (2003) e *post* (2012) *operam* alla bocca di Malamocco.

### 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 Lido 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/8), alla quale si rimanda per una descrizione dettagliata dei rilievi condotti e della strumentazione utilizzata nel corso delle campagne di misura.

Nell'ambito della presente attività, 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.

#### 3.1 Campagne di misura condotte alla bocca di Lido

Nel corso dell'ultimo anno sono state condotte due campagne di misura alla bocca di Lido, la prima nei giorni 2 e 3 agosto 2012, la seconda nei giorni 12 e 13 febbraio 2013. I rilievi condotti nel corso di entrambe le campagne di misura hanno interessato il canale S. Nicolò, nell'area compresa tra il Forte S. Andrea e l'isola artificiale.

Nel corso della campagna di agosto 2012 le condizioni meteorologiche durante i rilievi si sono rivelate piuttosto buone, ovvero caratterizzate da cielo sereno e da sostanziale assenza di vento. In entrambe le giornate i rilievi hanno interessato principalmente la fase di marea calante (Figura 5).

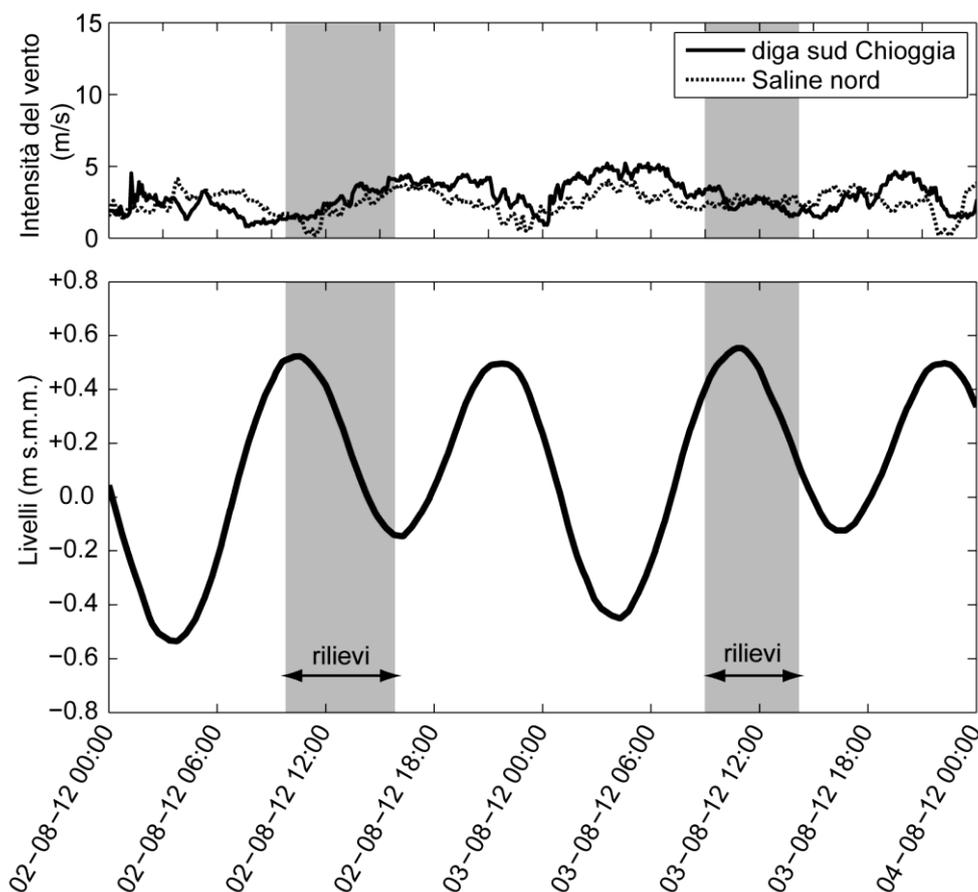


Figura 5 - Intensità del vento e livelli di marea registrati alla Piattaforma CNR nei giorni 2 e 3 agosto 2012. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

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

Nel corso della campagna di febbraio 2013, invece, i rilievi sono stati condotti a valle di un evento di marea eccezionale, che ha toccato i 143 cm a Punta della Salute (Figura 6). La campagna di misure, svoltasi nei due giorni successivi a tale evento, è stata condotta perlopiù durante le fasi di marea calante, in condizioni meteorologiche caratterizzate da presenza di vento di intensità non trascurabile (Figura 6).

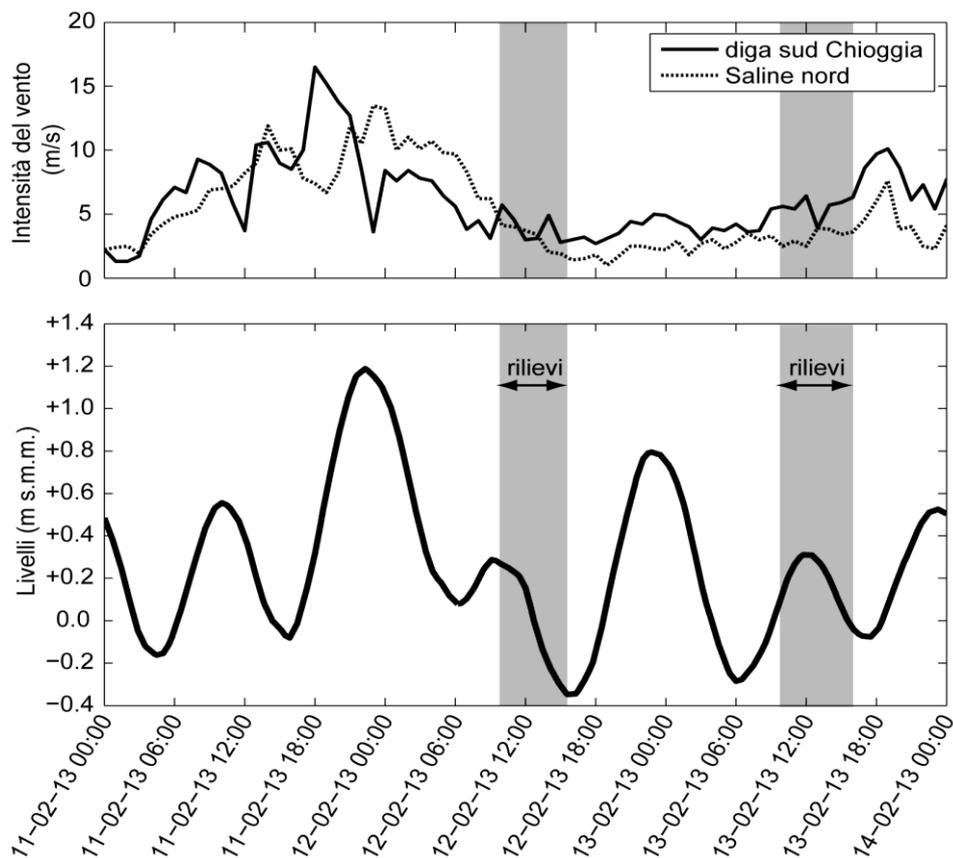


Figura 6 - Intensità del vento e livelli di marea registrati alla Piattaforma CNR nei giorni 12 e 13 febbraio 2013. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

Nel corso di entrambe le campagne sono stati condotti prevalentemente rilievi correntometrici con due tecniche diverse, una stanziale e l'altra itinerante.

Nel primo caso sono stati installati tre correntometri S4, in grado di registrare in continuo il modulo e la direzione della velocità locale. Gli S4 sono stati installati sul bassofondo adiacente al canale S. Nicolò, nelle tre posizioni indicate in Figura 7, che di fatto ripropongono esattamente le posizioni utilizzate nella campagna di misura dello scorso anno e, almeno secondo le intenzioni, dovevano essere rappresentative di un diverso grado di copertura delle fanerogame (idealmente: massima copertura, copertura intermedia e assenza di vegetazione), così da poter individuare eventuali effetti dovuti alla vegetazione sull'idrodinamica locale.

A tali rilievi sono state associate anche misure ADCP, che permettono di rappresentare la variazione spaziale dell'intensità e della direzione delle correnti sul bassofondo. Le misure ADCP sono state realizzate lungo i transetti di collegamento tra i punti di posizionamento degli S4 (Figura 7) e sono state ripetute più volte durante tutta la fase di riflusso della marea.

Altri rilievi correntometrici ADCP sono stati condotti lungo alcune sezioni del canale S. Nicolò, anch'esse rappresentate in Figura 7, e ripetute frequentemente nel corso dell'intera fase di riflusso della marea. Tali misure consentono di determinare la distribuzione delle velocità all'interno della sezione stessa e, da questa, la portata fluente.

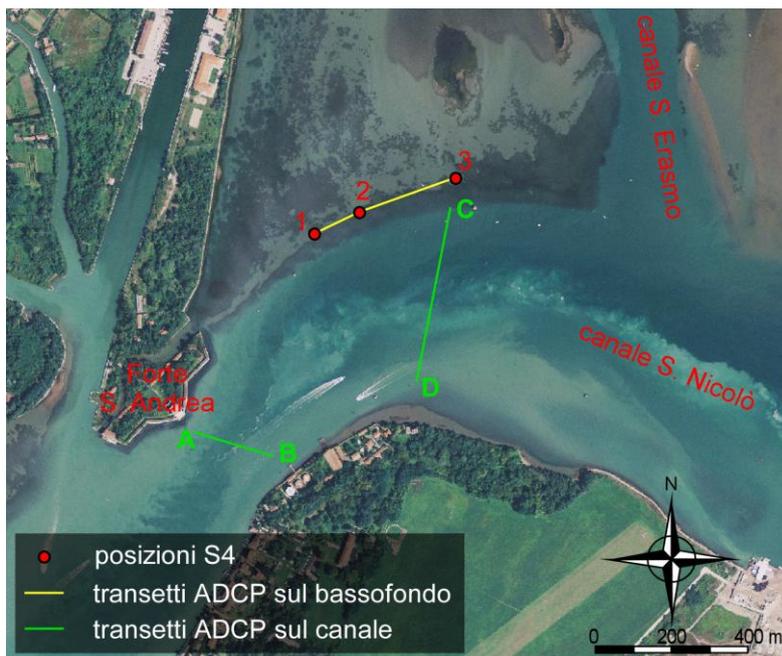


Figura 7 - Rilievi correntometrici condotti in prossimità della bocca di Lido nel corso delle campagne di misura di agosto 2012 e febbraio 2013.

Nel corso di queste campagne di misura, inoltre, sono state lanciate alcune droghe lagrangiane in corrispondenza del bassofondo, allo scopo di rilevare, secondo un approccio lagrangiano, il flusso al di sopra del bassofondo stesso. La posizione di tali galleggianti è stata seguita nel tempo ricostruendone la traiettoria per mezzo di un sistema di posizionamento satellitare (GPS).

### 3.2 Campagne di misura condotte alla bocca di Malamocco

Nei giorni 14 e 15 novembre 2012 è stata condotta una campagna di misura alla bocca di Malamocco. I rilievi sono stati condotti durante la fase di marea calante (Figura 8), in condizioni meteorologiche caratterizzate dalla presenza di vento di bora, spirante con un'intensità media di poco inferiore ai 10 m/s (Figura 8).

Nel corso della campagna di novembre 2012 alla bocca di Malamocco, in modo analogo a come si è proceduto alla bocca di Lido, sono stati condotti perlopiù rilievi correntometrici. In particolare, sono state rilevate mediante correntometri ADCP tre sezioni in prossimità del canale di bocca (Figura 9), grazie alle quali è stato possibile ricostruire la portata totale fluente attraverso la bocca (sezioni 2 e 3 in Figura 9) e la portata fluente all'interno del canale di S. Pietro (sezione 1 in Figura 9).

Durante questa campagna di misure sono stati condotti, inoltre, una serie di rilievi correntometrici sulla zona di basso fondale adiacente al canale di S. Pietro (Figura 9). In particolare, in quest'area sono stati posizionati tre correntometri S4, allo scopo di registrare in continuo il modulo e la direzione delle velocità locali. A questo tipo di misure, inoltre, sono stati associati alcuni rilievi ADCP lungo i trasetti indicati in giallo in Figura 9.

Allo scopo di ricostruire seguendo un approccio di tipo lagrangiano il campo di moto al di sopra dei bassofondi, sono state rilasciate in precisi punti in prossimità delle zone di basso fondale interessate dai rilievi alcune droghe lagrangiane, le cui posizioni sono state seguite nel tempo mediante un sistema di posizionamento satellitare (GPS).

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

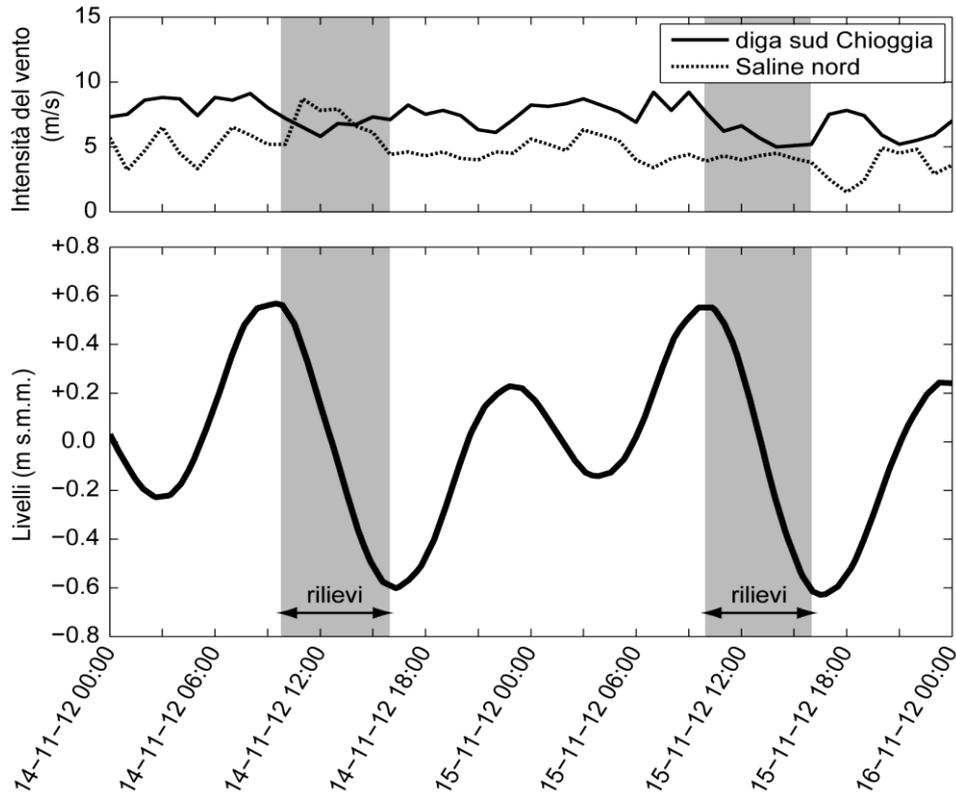


Figura 8 - Intensità del vento e livelli di marea registrati alla Piattaforma CNR nei giorni 14 e 15 novembre 2012. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

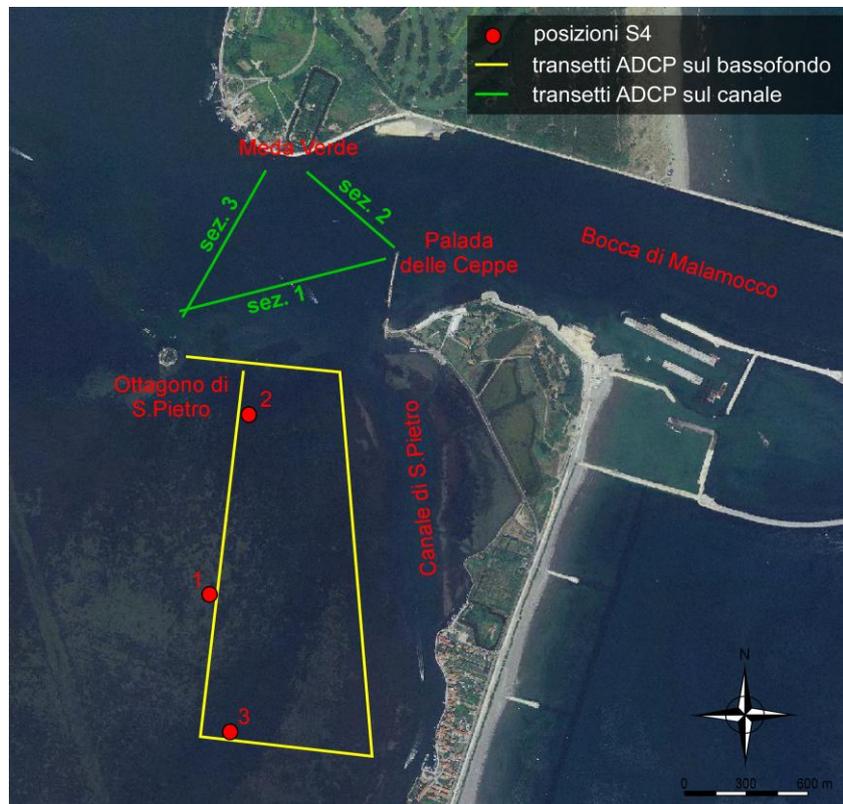


Figura 9 - Rilievi correntometrici condotti in prossimità della bocca di Malamocco nel corso della campagna di misura di novembre 2012.

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

### 4.1 Campagna di misure del 2-3 agosto 2012

Le condizioni meteorologiche piuttosto stabili e il tempo decisamente sereno che hanno caratterizzato la campagna di misure svoltasi nei giorni 2 e 3 agosto 2012 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 10). Tali livelli sono stati imposti su tutti i nodi che costituiscono il limite a mare del dominio di calcolo.

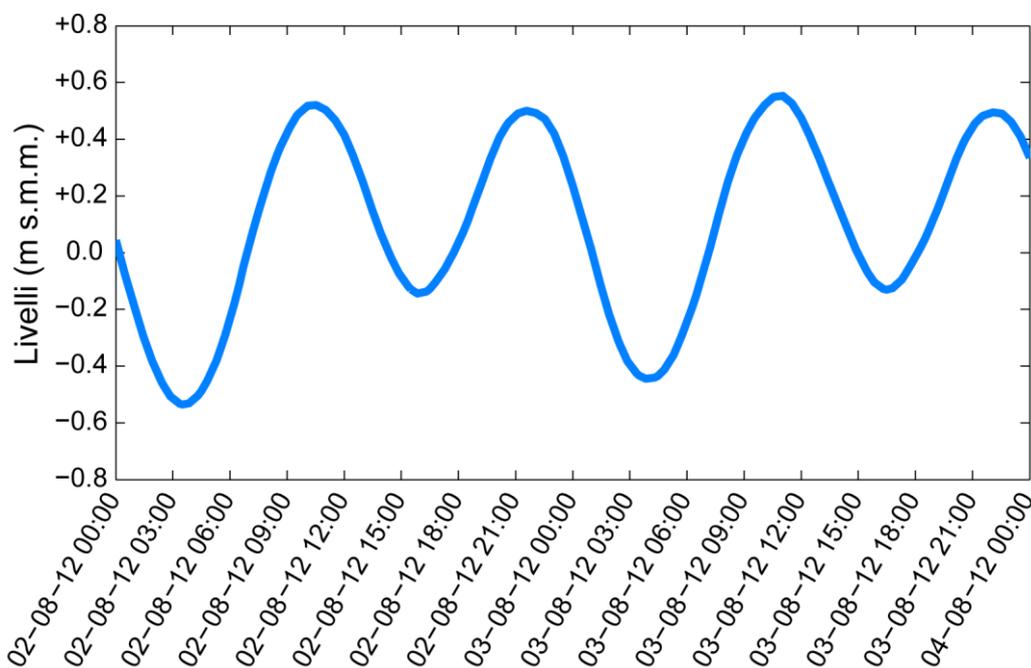


Figura 10 - Andamento dei livelli di marea registrati alla Piattaforma CNR nei giorni della campagna di misure di agosto 2012 e imposti come condizione al contorno al modello idrodinamico. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

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 11).

Per prima cosa è stata verificata la capacità del modello di riprodurre correttamente la marea in prossimità delle tre bocche di porto (Figura 12). Successivamente, il confronto dei livelli è stato realizzato in corrispondenza di tre stazioni situate nel bacino dominato dalla bocca di Lido e collocate a varie distanze dalla bocca stessa, per le quali erano disponibili le registrazioni mareografiche nei giorni 2 e 3 agosto 2012 (Figura 11). Tali stazioni sono quelle di Punta della Salute, Burano e Saline nord (Figura 13). Come risulta evidente dalla Figura 12 e dalla Figura 13, il modello è in grado di riprodurre correttamente i livelli sia in corrispondenza delle bocche di porto sia all'interno del bacino.

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

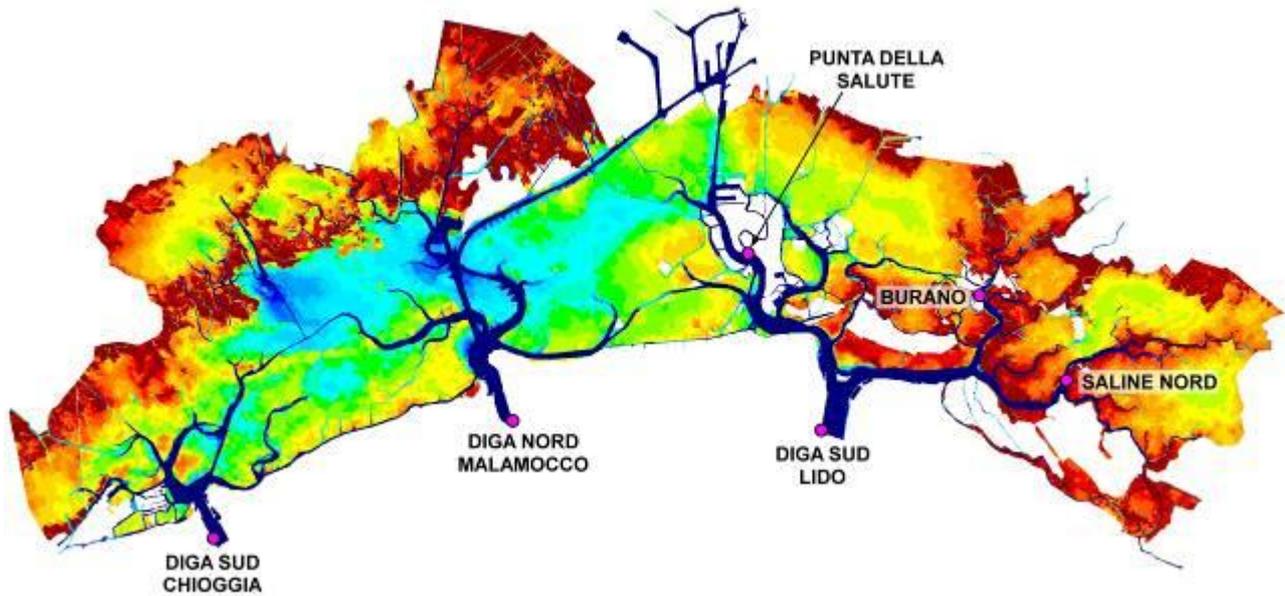


Figura 11 - Posizioni delle stazioni mareografiche in corrispondenza delle quali sono stati realizzati i confronti dei livelli.

Come già descritto al Cap. 3, nel corso della campagna di misure sono stati realizzati dei rilievi correntometrici mediante ADCP lungo due sezioni del canale S. Nicolò in prossimità del forte S. Andrea (Figura 7), i quali hanno permesso di calcolare la portata fluente attraverso le sezioni stesse in vari istanti della fase di riflusso della marea. In particolare, i rilievi condotti hanno permesso di ricostruire per entrambi i giorni della campagna la portata fluente durante la prima fase di marea calante. Il 2 agosto le portate sono state rilevate anche in un intorno della condizione di massimo riflusso, consentendo, quindi, anche il confronto delle portate massime uscenti dalla bocca.

Nella Figura 14 è illustrato il confronto tra le portate calcolate con il modello e le portate misurate nelle due sezioni considerate. Ricordando che il confronto sulle portate è sicuramente un test più impegnativo rispetto al confronto sui livelli, osservando i grafici si può notare come l'accordo sia, nel complesso, più che soddisfacente.

Considerando le misure di velocità eseguite mediante i correntometri S4 si può notare come le velocità massime sul bassofondo durante i rilievi si mantengano quasi sempre inferiori ai 20 cm/s (Figura 15 e Figura 16). Sebbene il modello matematico utilizzato per le indagini non permetta di simulare in modo specifico gli effetti sul campo di moto idrodinamico dovuti alla presenza della vegetazione, che effettivamente risulta presente nell'area di bassofondo oggetto di indagine, il confronto tra le velocità misurate e quelle calcolate con il modello risulta piuttosto soddisfacente. Si osservi, infatti, come in tutte le situazioni analizzate il modello riproduca correttamente gli ordini di grandezza delle velocità in gioco e, in alcuni casi, anche l'evoluzione temporale della velocità (Figura 15c e Figura 16c). Le differenze tra i valori osservati e quelli calcolati, riscontrabili, ad esempio, in Figura 15a e Figura 16b, sono riconducibili alle incertezze legate alla batimetria utilizzata per quotare il bassofondo e già illustrate nello Studio B.6.72 B/7. Si osservi, infatti, come le differenze si concentrino negli istanti in cui le velocità sono massime e, di conseguenza, i tiranti sono modesti. In queste fasi, incertezze di circa 10-20 cm che si assume affliggano il rilievo altimetrico della zona di basso fondale (non interessata dal rilievo batimetrico di dettaglio che ha invece caratterizzato il canale principale nella stessa zona) possono rivelarsi fondamentali per la corretta riproduzione del campo di moto idrodinamico sui bassofondi stessi.

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

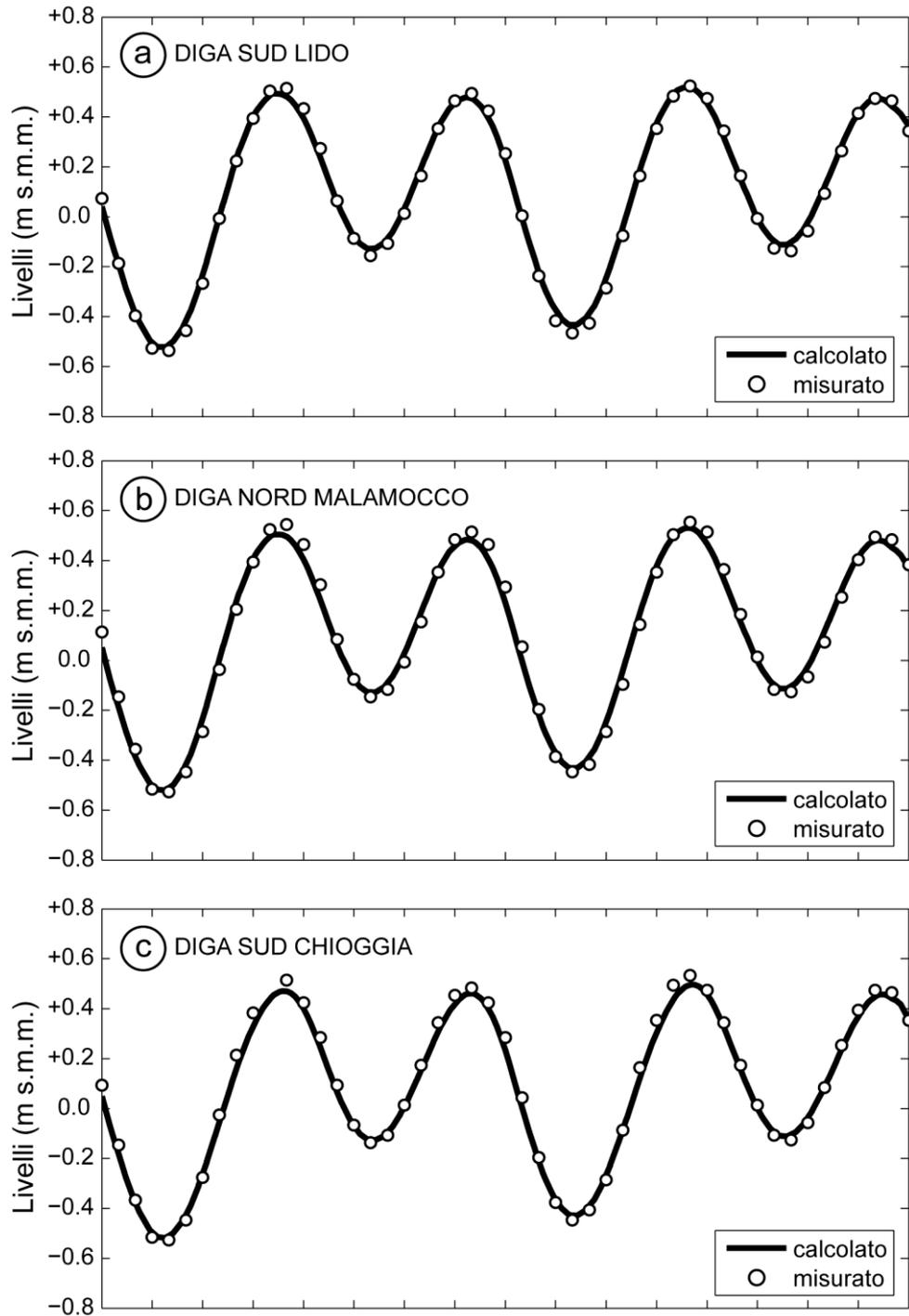


Figura 12 - Confronto tra i livelli di marea registrati alle stazioni mareografiche collocate (a) sulla diga sud della bocca di Lido, (b) sulla diga nord della bocca di Malamocco e (c) sulla diga sud della bocca di Chioggia a cavallo dei giorni della campagna di misure di agosto 2012. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

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

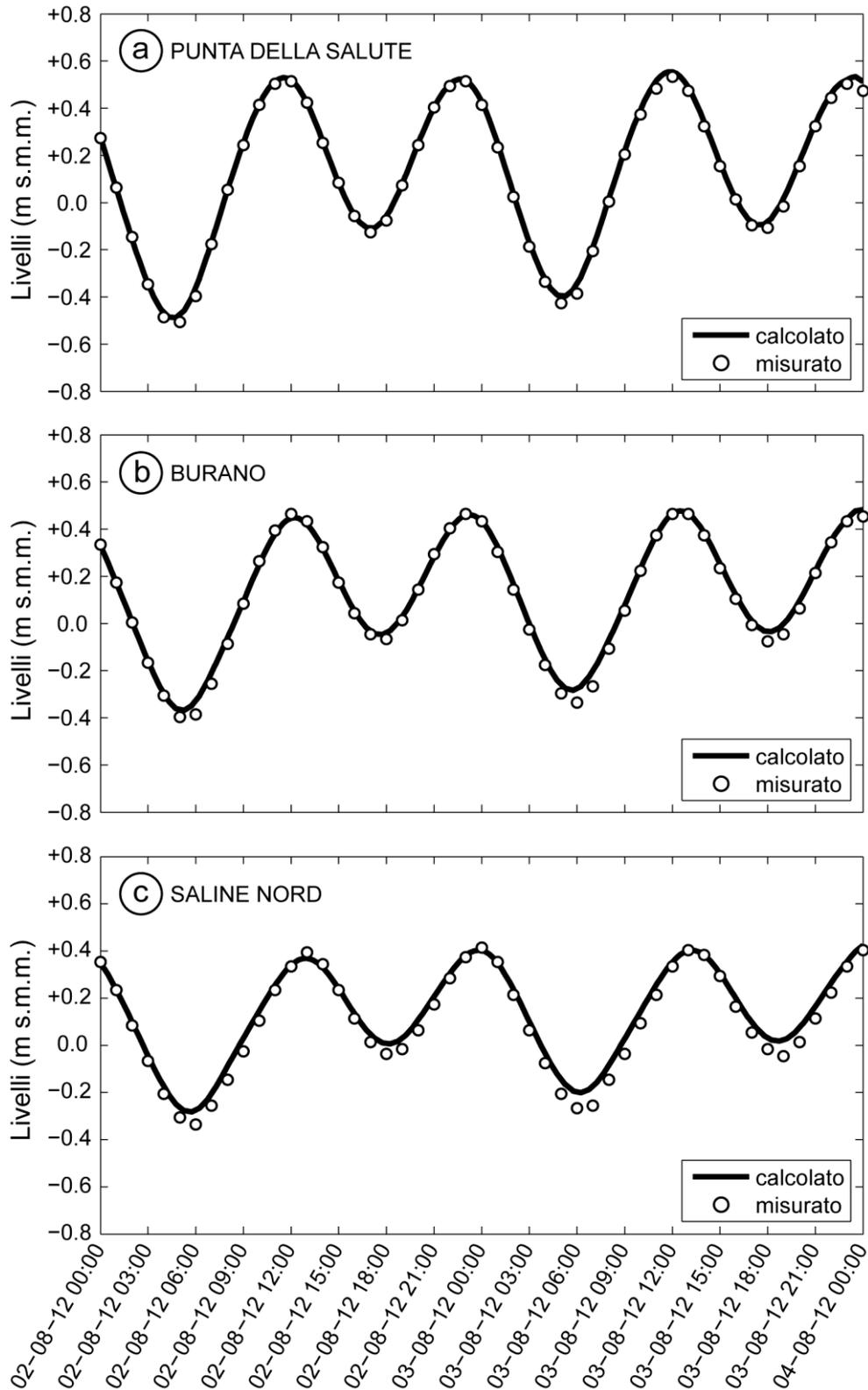


Figura 13 - Confronto tra i livelli di marea registrati alle stazioni mareografiche di (a) Punta della Salute, (b) Burano e (c) Saline nord a cavallo dei giorni della campagna di misure di agosto 2012. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

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

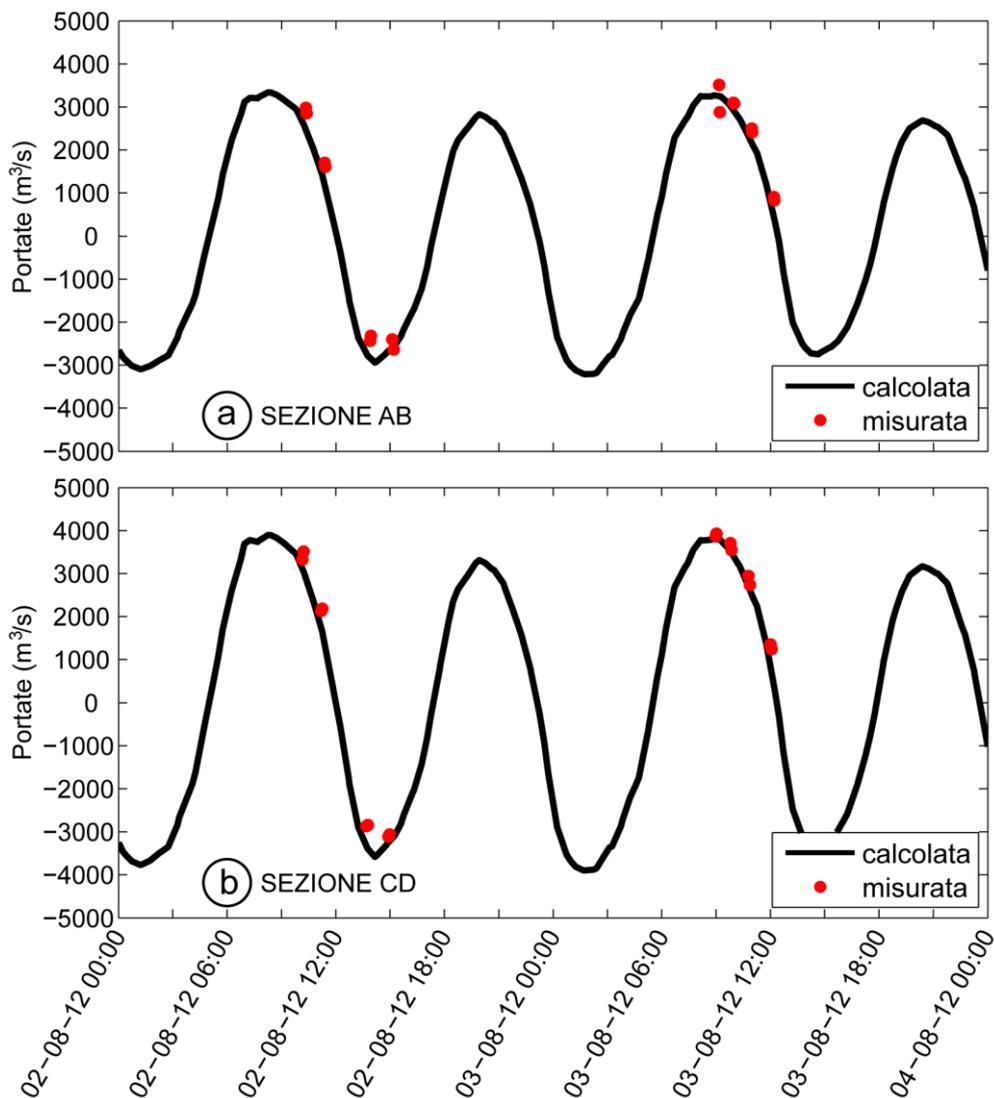


Figura 14 - Confronto tra le portate misurate nel corso della campagna di misure del 2-3 agosto 2012 e le portate calcolate con il modello in corrispondenza della (a) sezione AB e della (b) sezione CD indicate in Figura 7. Le portate positive sono da intendersi come entranti dalla bocca, mentre quelle negative sono da intendersi come uscenti attraverso la bocca.

Il confronto con le velocità rilevate sul bassofondo mediante ADCP (Figura 7) risulta, invece, estremamente complesso dal punto di vista operativo, come commentato nello Studio B.6.72 B/7, essendo tale misura funzione sia dello spazio che del tempo, e non contribuirebbe comunque a fornire informazioni più complete di quelle già esposte sulla capacità del modello matematico di riprodurre correttamente il campo di moto idrodinamico. Si è pertanto deciso di non analizzare nel dettaglio tali risultati, limitandosi a sottolineare che l'osservazione dei dati sperimentali stessi non sembra evidenziare particolari effetti sull'idrodinamica locale legati ad un'eventuale diversa tipologia e/o grado di copertura della vegetazione.

I risultati esposti confermano nel complesso che il modello matematico è in grado di riprodurre correttamente e in modo sufficientemente dettagliato il campo di moto idrodinamico in laguna e soprattutto in corrispondenza della bocca di Lido.

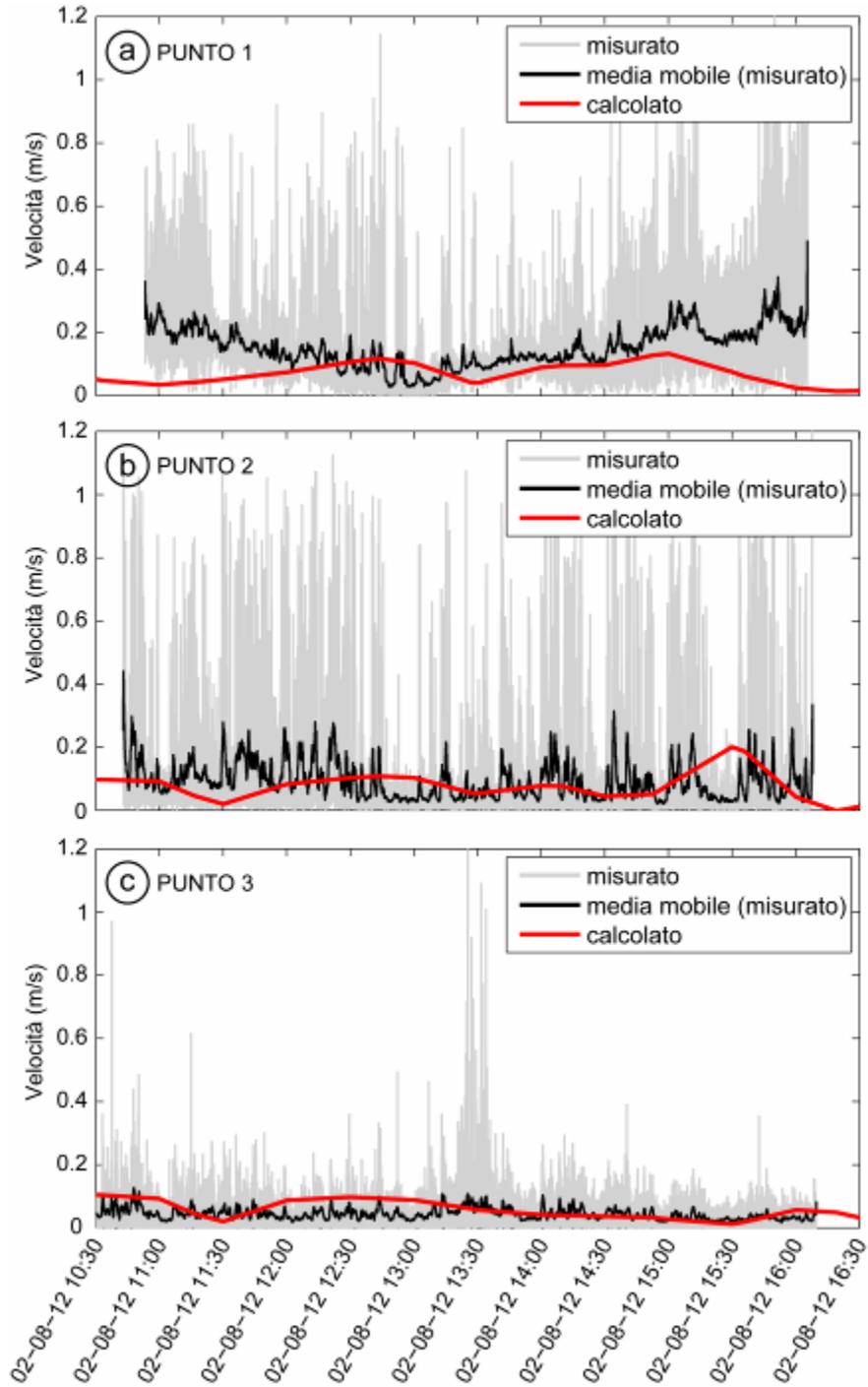


Figura 15 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 2 agosto 2012 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza del (a) punto 1, del (b) punto 2 e del (c) punto 3 indicati in Figura 7.

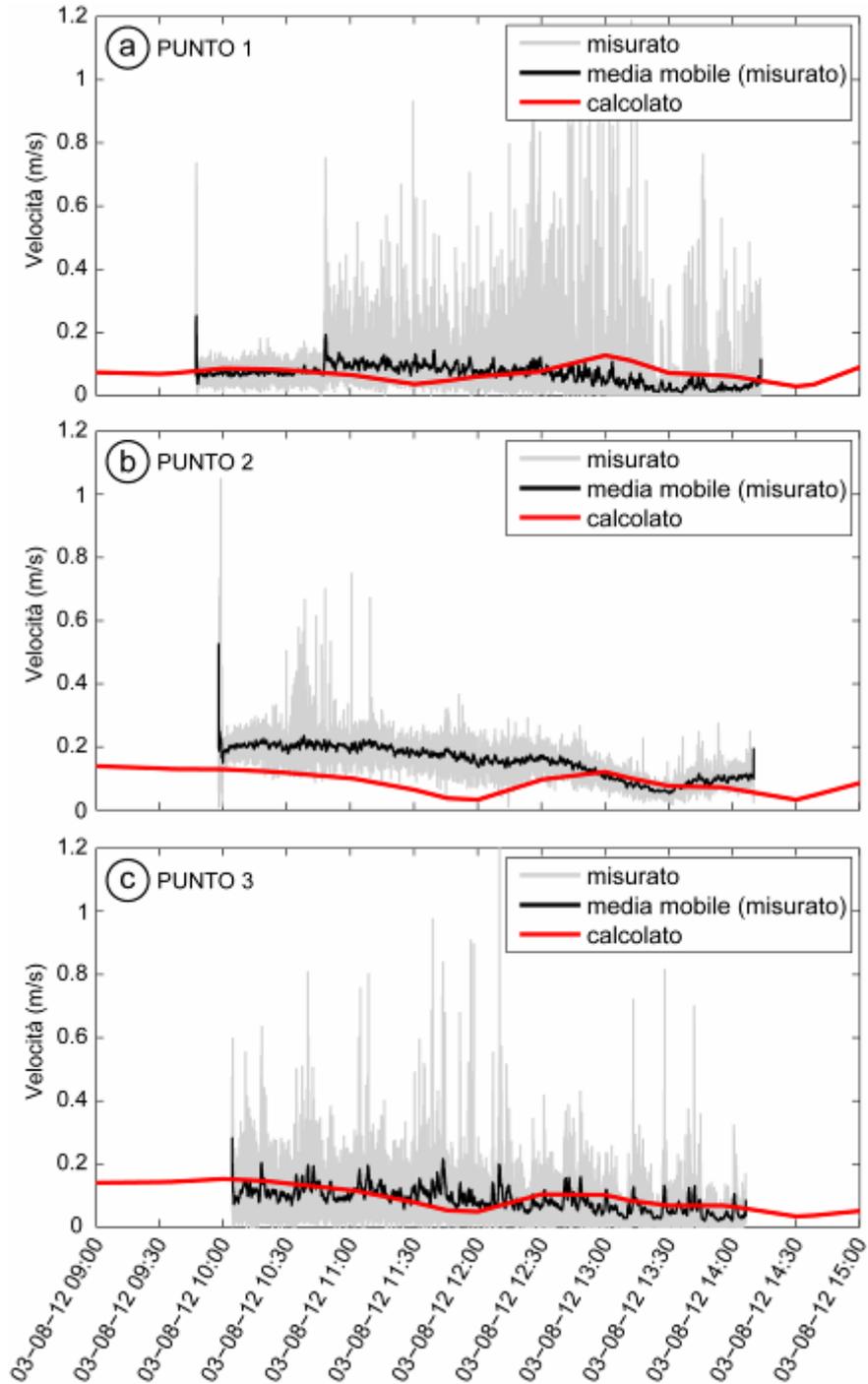


Figura 16 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 3 agosto 2012 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza del (a) punto 1, del (b) punto 2 e del (c) punto 3 indicati in Figura 7.

## 4.2 Campagna di misure del 14-15 novembre 2012.

Come già descritto al Cap. 3, la campagna di misure del 14 e 15 novembre 2012 condotta alla bocca di Malamocco si è svolta in condizioni meteorologiche caratterizzate dalla presenza di bora di intensità media pari a circa 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 17) e il vento registrato alle stazioni di diga sud Chioggia e Saline nord (Figura 8).

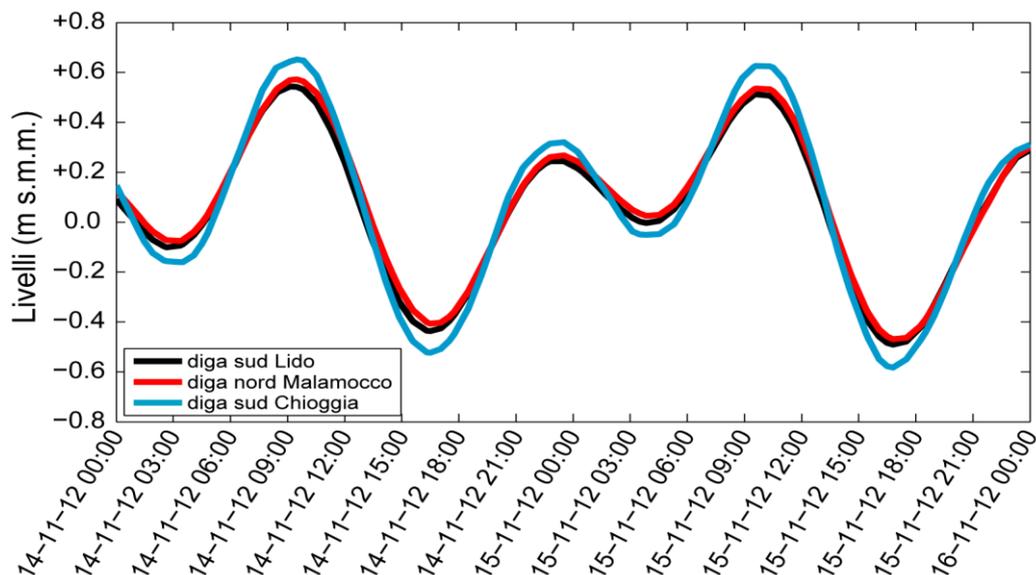


Figura 17 - Andamento dei livelli di marea registrati a diga sud Lido, diga nord Malamocco e diga sud Chioggia nei giorni della campagna di misure di novembre 2012 e imposti come condizioni al contorno al modello idrodinamico. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

I confronti relativi ai livelli di marea sono stati realizzati prendendo in considerazione alcune stazioni mareografiche gestite da ISPRA situate all'interno del bacino controllato dalla bocca di Malamocco, per le quali fossero disponibili le registrazioni dei livelli. A tale scopo sono state scelte le stazioni di Poveglia, Valgrande e Settemorti (Figura 18).

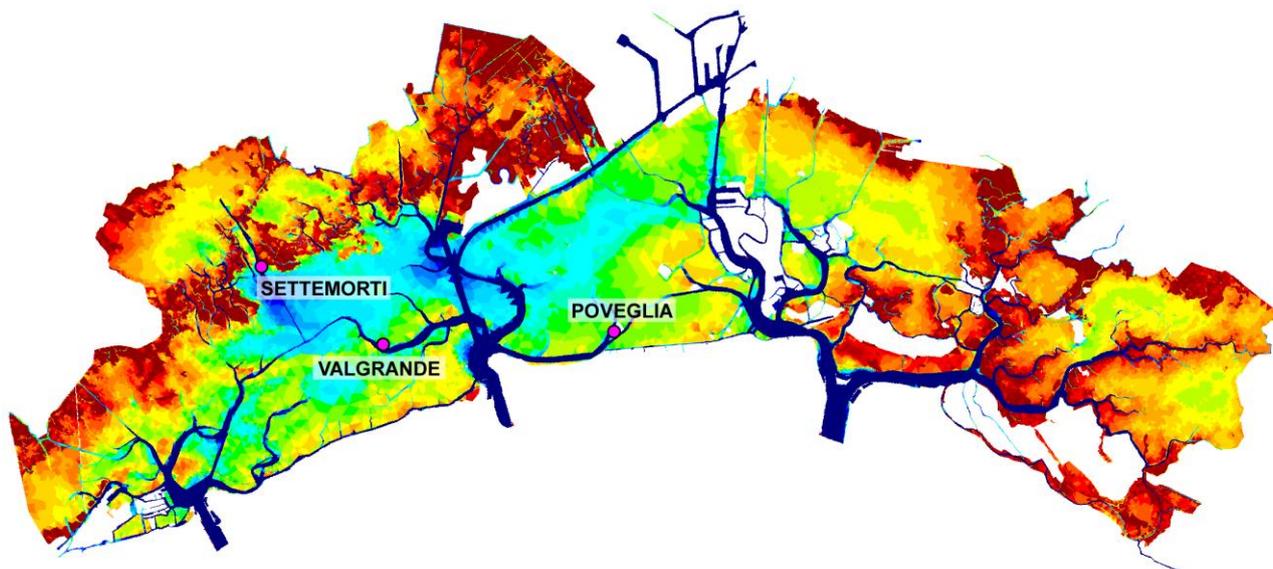


Figura 18 - Posizioni delle stazioni mareografiche in corrispondenza delle quali sono stati realizzati i confronti dei livelli.

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

Come si può osservare dai grafici in Figura 19, il confronto tra i livelli di marea registrati e i livelli calcolati con il modello risulta molto buono.

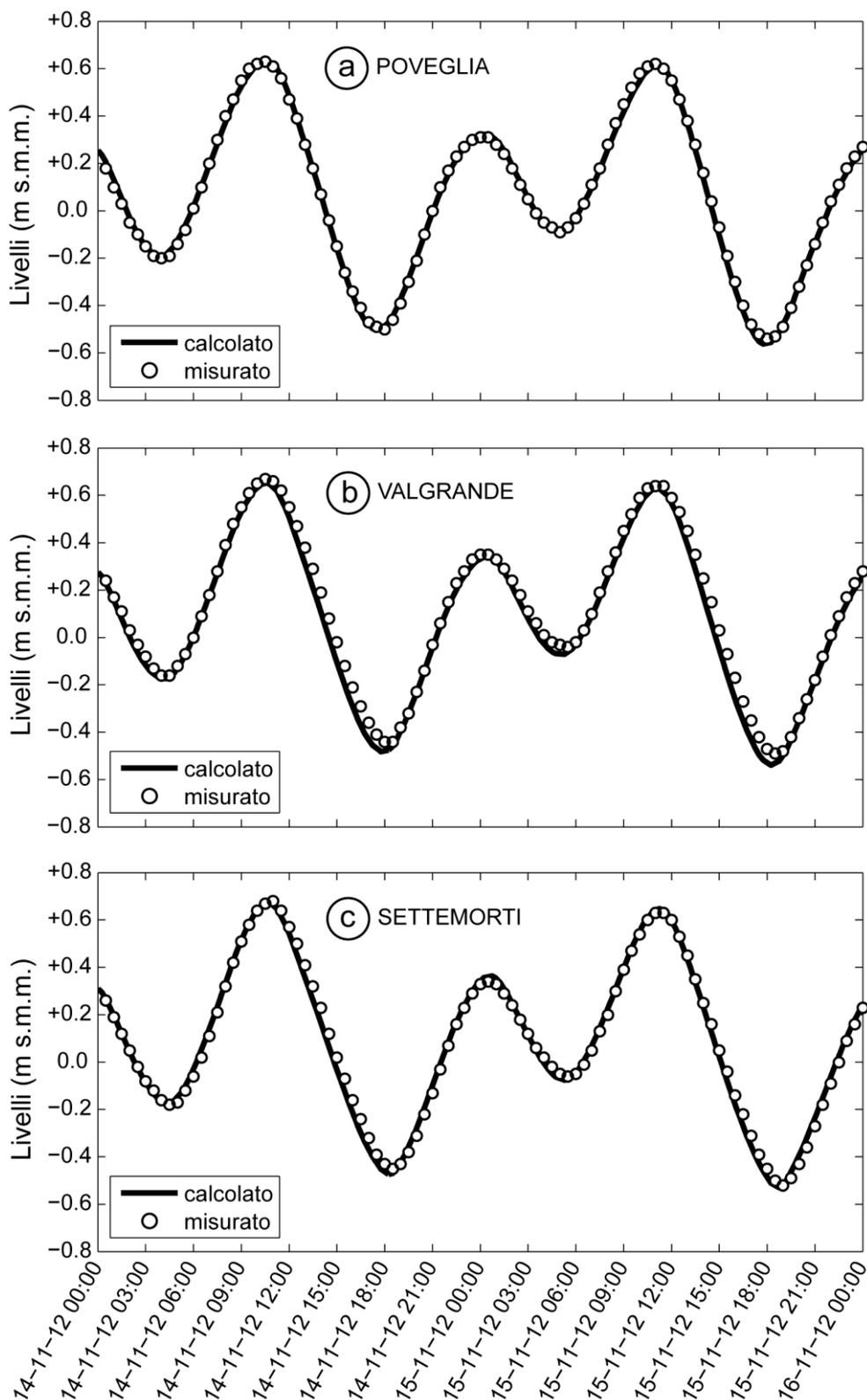


Figura 19 - Confronto tra i livelli di marea registrati alle stazioni mareografiche di (a) Poveglia, (b) Valgrande e (c) Settemorti a cavallo dei giorni della campagna di misure di novembre 2012. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

In Figura 20 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. Il confronto condotto in corrispondenza della sezione 1 (Figura 20a) risulta poco significativo, in quanto le portate fluenti all'interno del canale di S. Pietro risultano di piccola entità e, con ogni probabilità, dello stesso ordine di grandezza dell'errore di misura dello strumento.

Il confronto realizzato in corrispondenza della sezione 2 (Figura 20b) ha evidenziato una lieve discrepanza tra le portate rilevate nel corso della prima giornata di misure e quelle calcolate con il modello matematico. La scelta delle sezioni da rilevare e le modalità con le quali sono state rilevate le portate hanno permesso di condurre una verifica delle portate misurate, mediante l'applicazione di un bilancio di massa al triangolo delimitato dalle sezioni rilevate (vedi Figura 9). La verifica condotta in questo modo ha evidenziato una stima per eccesso della portata misurata il 14 novembre. Tale verifica, invece, non evidenzia discrepanze per le portate rilevate il 15 novembre. Alla luce di queste considerazioni, pertanto, si ritiene che i confronti realizzati in corrispondenza delle sezioni 2 e 3 risultino nel complesso più che soddisfacenti (Figura 20b,c).

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 14 e il 15 novembre. Come si può osservare dai grafici le velocità misurate sono di piccola entità, ovvero dell'ordine dei 5-10 cm/s, mentre le velocità calcolate con il modello si attestano sui 20 cm/s. A tal proposito si fa notare che, come già accennato al Cap. 2, con riferimento alla bocca di Malamocco non è stato reso disponibile alcun recente rilievo di dettaglio della bocca e dei bassofondi adiacenti e che, pertanto, non è stato possibile infittire ulteriormente il reticolo di calcolo nelle aree oggetto dei rilievi. Inoltre, come già descritto al Cap. 4.1, incertezze di circa 10-20 cm sulla batimetria utilizzata per quotare il reticolo di calcolo possono rivelarsi fondamentali per la corretta riproduzione del campo di moto idrodinamico in corrispondenza delle zone di basso fondale. Le discrepanze tra le velocità calcolate con il modello e le velocità misurate sul bassofondo sono da ricondurre, pertanto, alle incertezze associate alla batimetria utilizzata per quotare la griglia computazionale, sia con riferimento al grado di infittimento dei rilievi batimetrici forniti, sia con riferimento al grado di precisione dei dati rilevati.

I confronti con i rilievi ADCP condotti lungo alcuni transetti in corrispondenza dei bassofondi non sono stati realizzati per gli stessi motivi descritti al Cap. 4.1, al quale si rimanda per eventuali approfondimenti in merito.

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

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

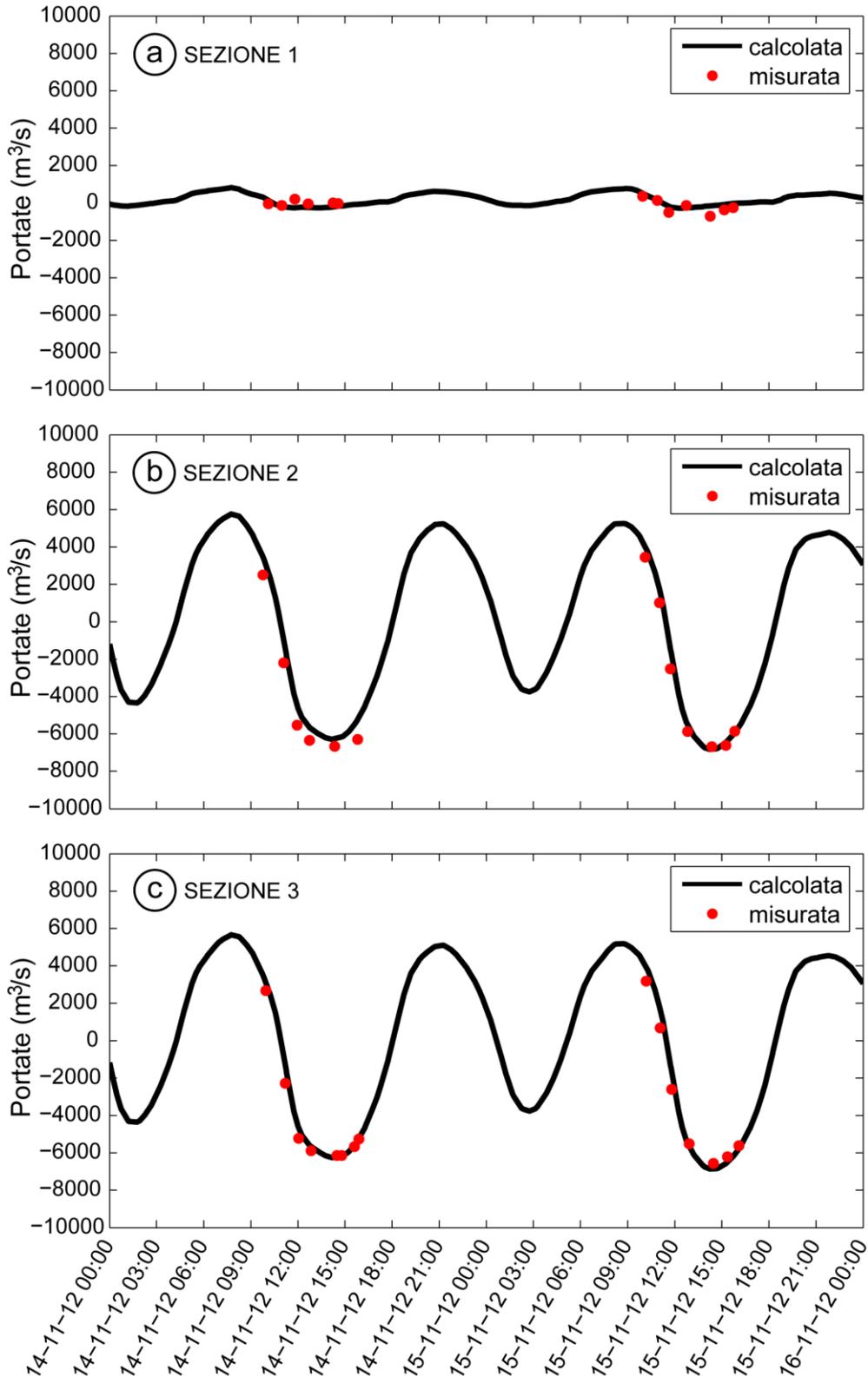


Figura 20 - Confronto tra le portate misurate nel corso della campagna di misure del 14-15 novembre 2012 e le portate calcolate con il modello in corrispondenza delle sezioni (a) 1, (b) 2 e (c) 3 indicate in Figura 9. Le portate positive sono da intendersi come entranti dalla bocca, mentre quelle negative sono da intendersi come uscenti attraverso la bocca.

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

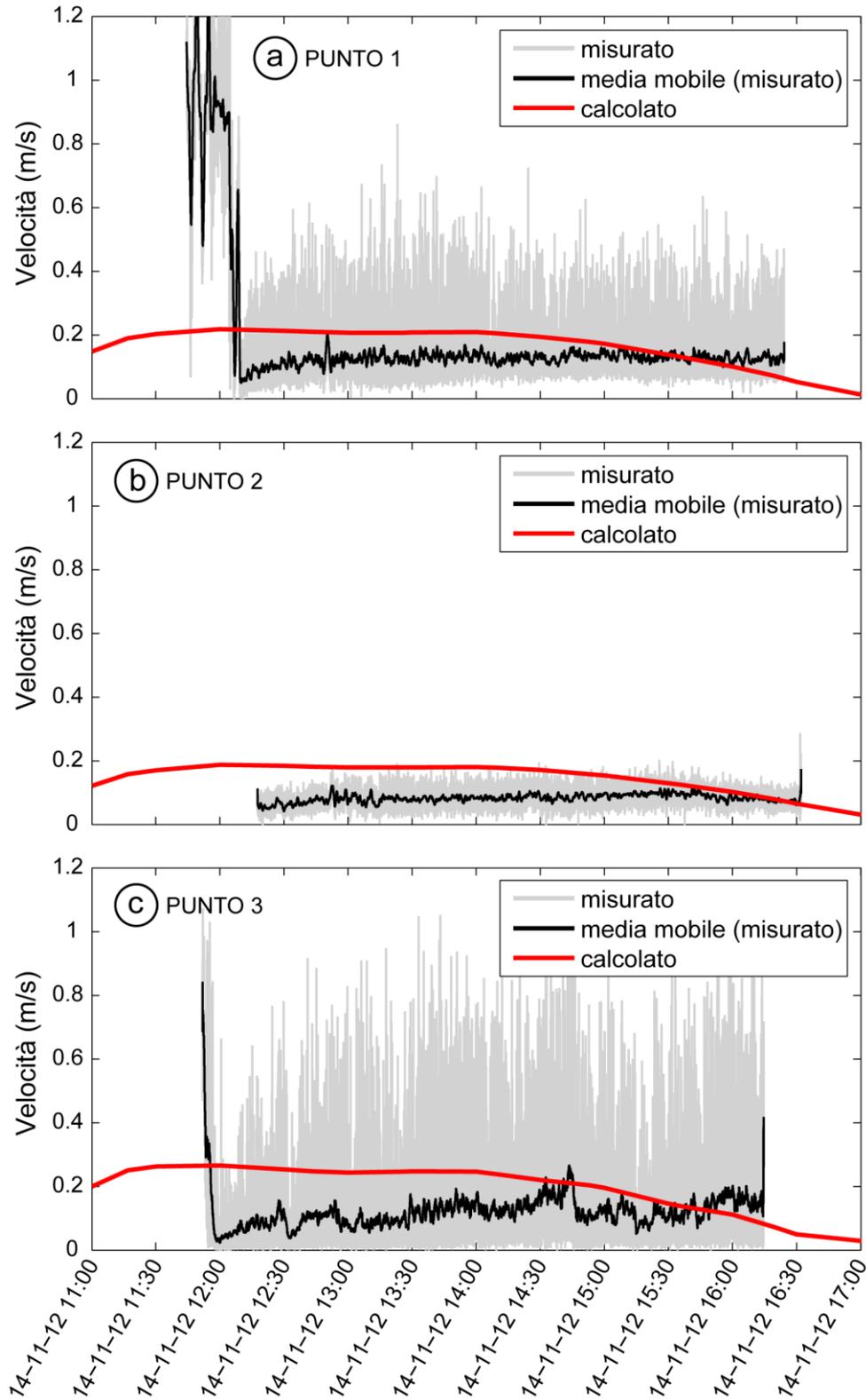


Figura 21 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 14 novembre 2012 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza del (a) punto 1, del (b) punto 2 e del (c) punto 3 indicati in Figura 9.

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

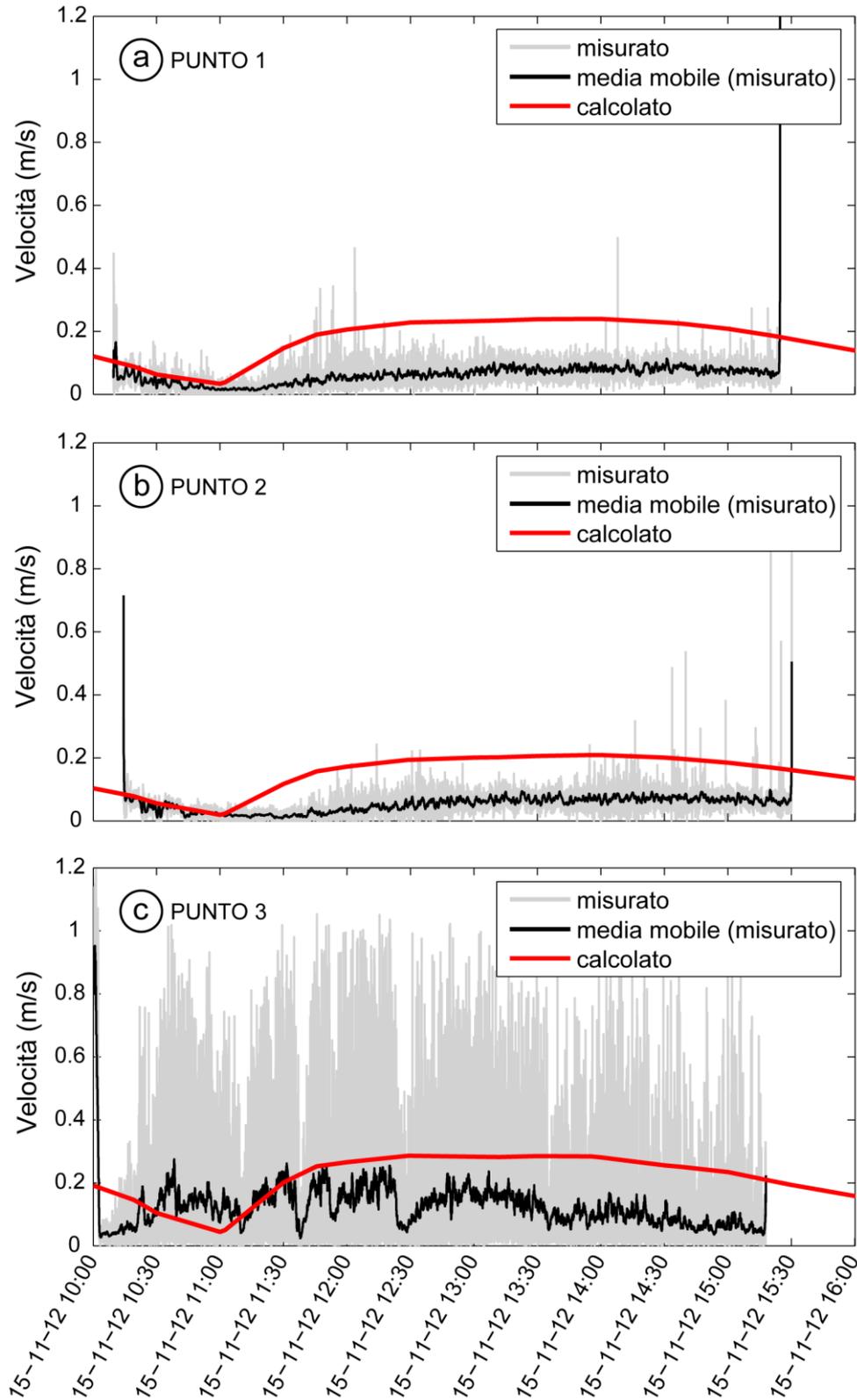


Figura 22 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 15 novembre 2012 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza del (a) punto 1, del (b) punto 2 e del (c) punto 3 indicati in Figura 9.

### 4.3 Campagna di misure del 12-13 febbraio 2013

La campagna di misure del 12 e 13 febbraio 2013 alla bocca di Lido si è svolta nei giorni immediatamente successivi a un evento di marea eccezionale, caratterizzati, anch'essi, dalla presenza di vento di entità non trascurabile. Per questo motivo, analogamente a come si è proceduto per la campagna di novembre 2012 alla bocca di Malamocco, le condizioni al contorno imposte al modello idrodinamico sono costituite dalle registrazioni delle oscillazioni dei livelli di marea condotte in prossimità delle tre bocche di porto (Figura 23) e dalle registrazioni di intensità e direzione del vento condotte alle stazioni di diga sud Chioggia e Saline nord (Figura 6) nei giorni a cavallo della campagna di misure. Come risulta evidente dal grafico in Figura 23, tuttavia, la registrazione dei livelli condotta alla stazione mareografica di diga nord Malamocco non è risultata attendibile, in quanto affetta da problemi che affliggono la registrazione dei livelli nella stazione stessa durante eventi meteomarini particolarmente intensi. Si è deciso, pertanto, di imporre come condizione al contorno alla bocca di Malamocco i livelli registrati alla bocca di Lido, avendo tale condizione al contorno scarsa influenza, dal momento che la campagna di misure di febbraio 2013 ha interessato esclusivamente la bocca di Lido e, di conseguenza, la verifica del modello idrodinamico per questo evento si è concentrata proprio su questa bocca.

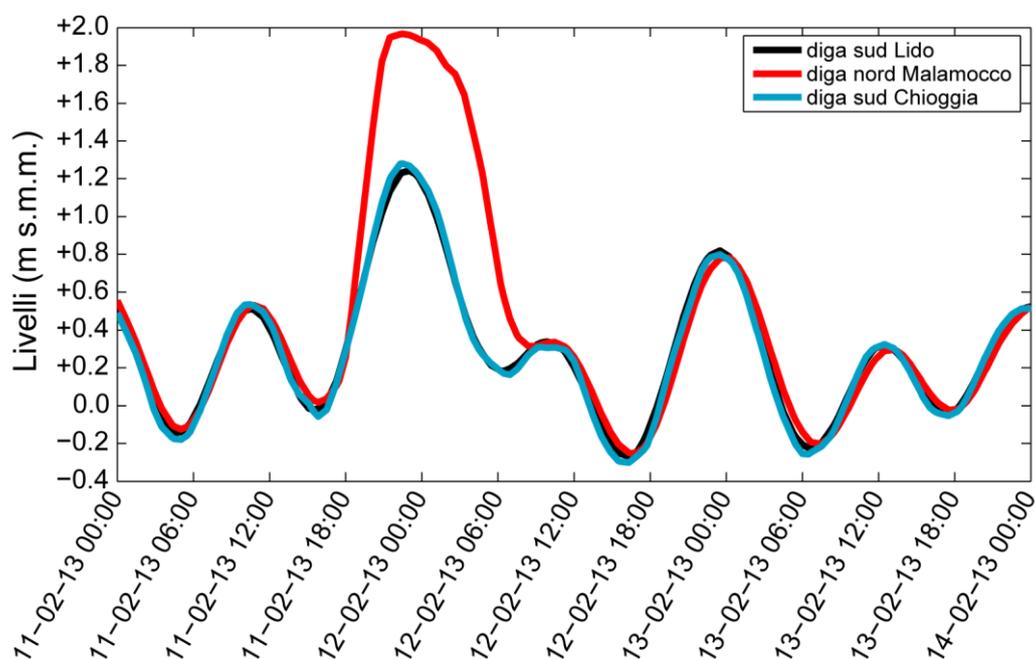


Figura 23 - Andamento dei livelli di marea registrati a diga sud Lido, diga nord Malamocco e diga sud Chioggia nei giorni della campagna di misure di febbraio 2013 e imposti come condizioni al contorno al modello idrodinamico. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

Analogamente a come si è proceduto per la campagna di agosto 2012, i confronti tra i livelli misurati e quelli calcolati sono stati condotti in corrispondenza delle tre stazioni mareografiche ritenute più significative per la corretta rappresentazione del campo di moto idrodinamico all'interno del bacino controllato dalla bocca di Lido, ovvero Punta della Salute, Burano e Saline nord (Figura 11). I confronti tra i livelli registrati e i livelli calcolati con il modello matematico, illustrati in Figura 24, risultano più che soddisfacenti considerate le caratteristiche dell'evento meteomarino considerato.

Anche i confronti tra le portate rilevate nelle sezioni AB e CD indicate in Figura 7 e le portate calcolate con il modello nelle medesime sezioni evidenziano un'ottima corrispondenza (Figura 25).

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

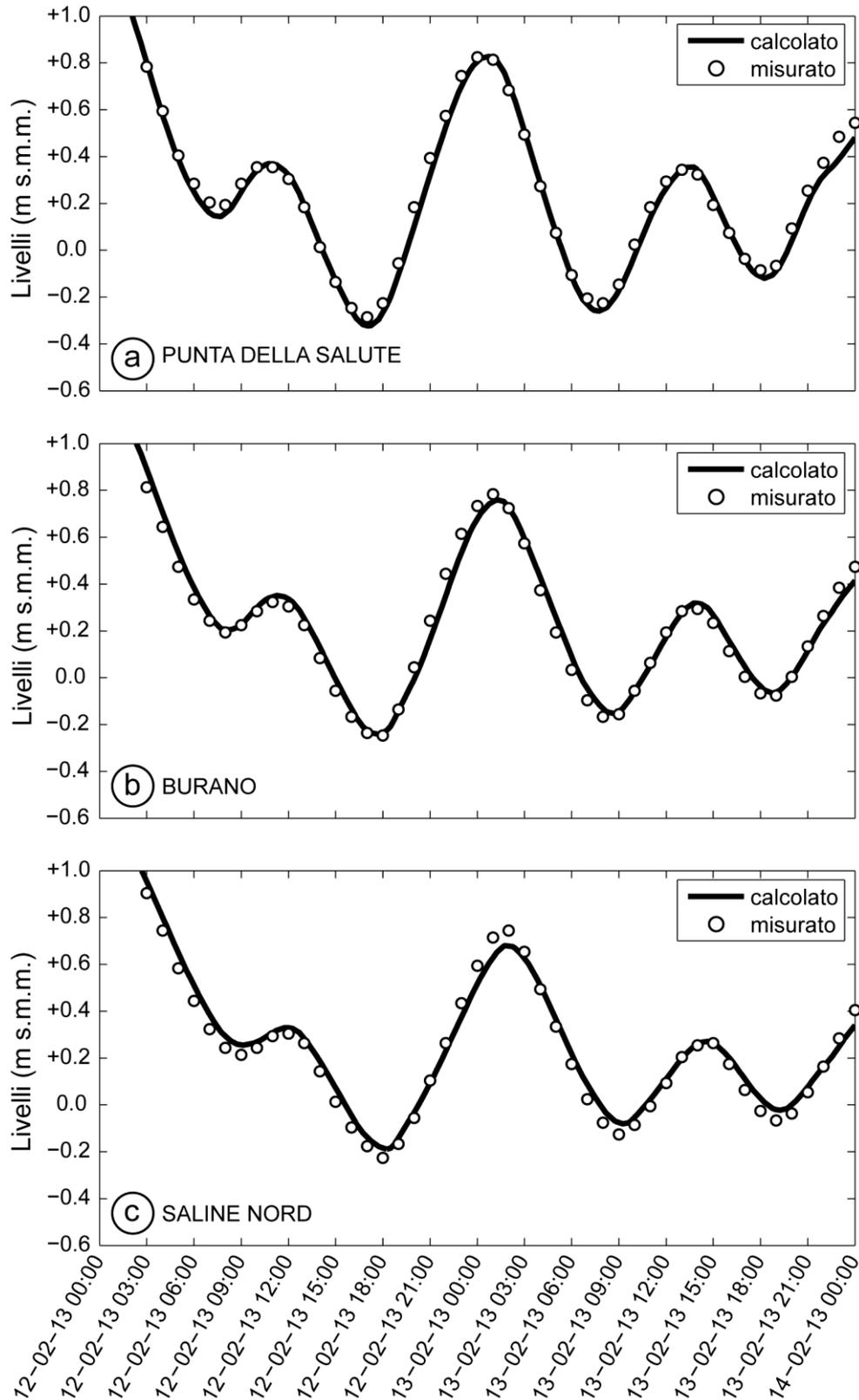


Figura 24 - Confronto tra i livelli di marea registrati alle stazioni mareografiche di (a) Punta della Salute, (b) Burano e (c) Saline nord a cavallo dei giorni della campagna di misure di febbraio 2013. I livelli sono riferiti al medio mare Genova 1942.

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

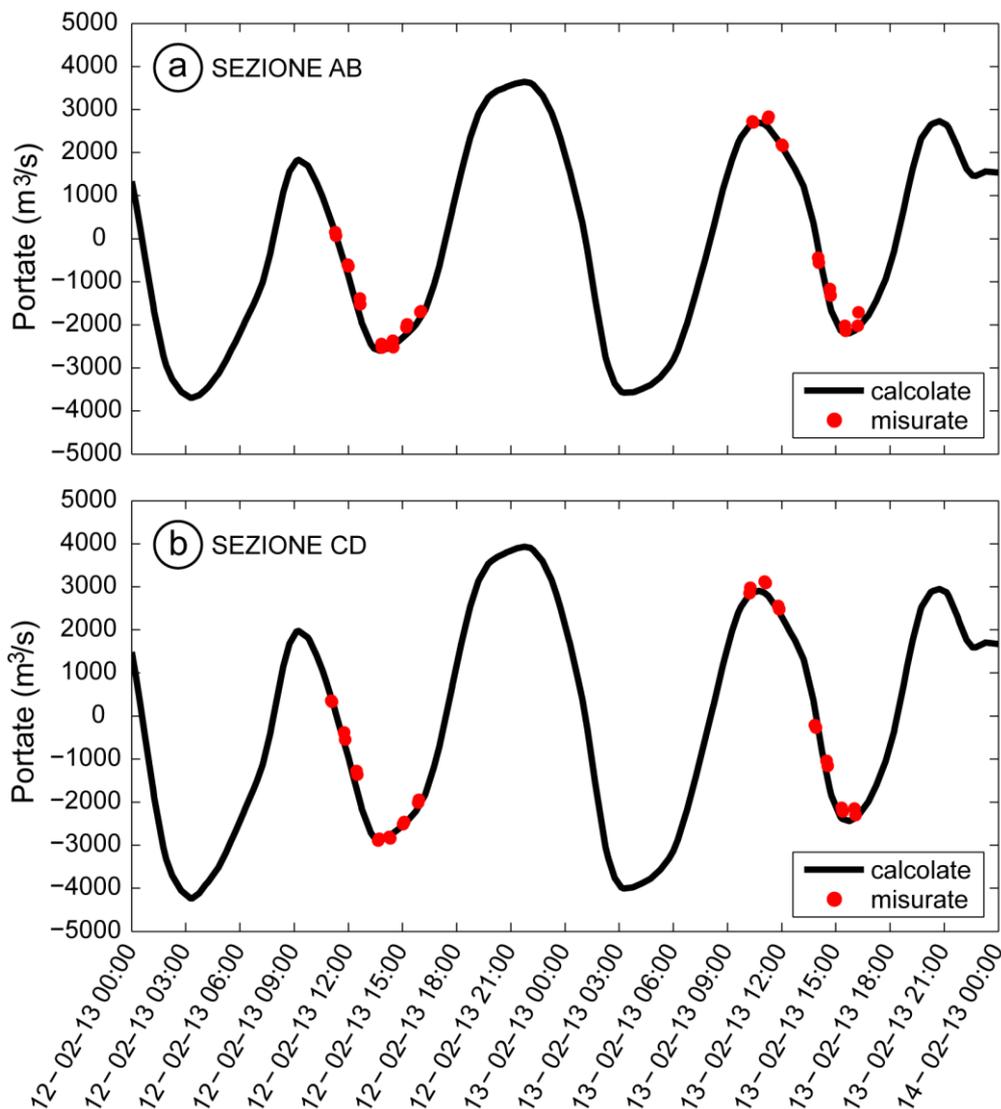


Figura 25 - Confronto tra le portate misurate nel corso della campagna di misure del 12-13 febbraio 2013 e le portate calcolate con il modello in corrispondenza della (a) sezione AB e della (b) sezione CD indicate in Figura 7. Le portate positive sono da intendersi come entranti dalla bocca, mentre quelle 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. A differenza delle altre campagne di misure, in febbraio le registrazioni in campo mediante correntometri S4 sono state condotte impostando gli strumenti in modo che fornissero un dato ogni 10 minuti, ottenendo, in questo modo, un valore mediato su 240 acquisizioni. Procedendo in questo modo, i dati forniti costituiscono già di per sé una media mobile.

Analogamente a quanto osservato al Cap. 4.1, il modello riproduce correttamente le velocità sul bassofondo nelle fasi in cui le velocità sono più basse e i tiranti sono maggiori e, di conseguenza, quando le incertezze legate ai rilievi batimetrici non influenzano in modo sostanziale il campo di moto idrodinamico che si instaura al di sopra del bassofondo stesso. Al contrario, quando le velocità aumentano e i tiranti sul bassofondo si riducono notevolmente, le incertezze legate alla batimetria vanno ad inficiare in modo sostanziale la corretta rappresentazione del campo di moto idrodinamico al di sopra del bassofondo e, pertanto, in queste fasi i confronti tra le velocità misurate e le velocità calcolate risultano meno soddisfacenti.

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

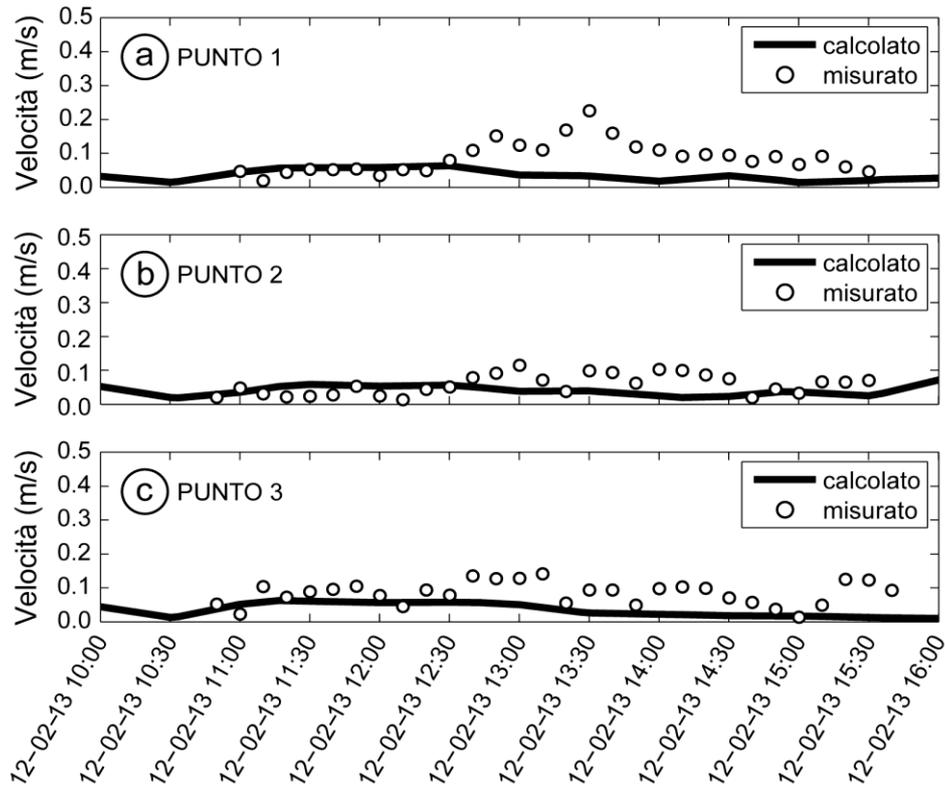


Figura 26 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 12 febbraio 2013 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza del (a) punto 1, del (b) punto 2 e del (c) punto 3 indicati in Figura 7.

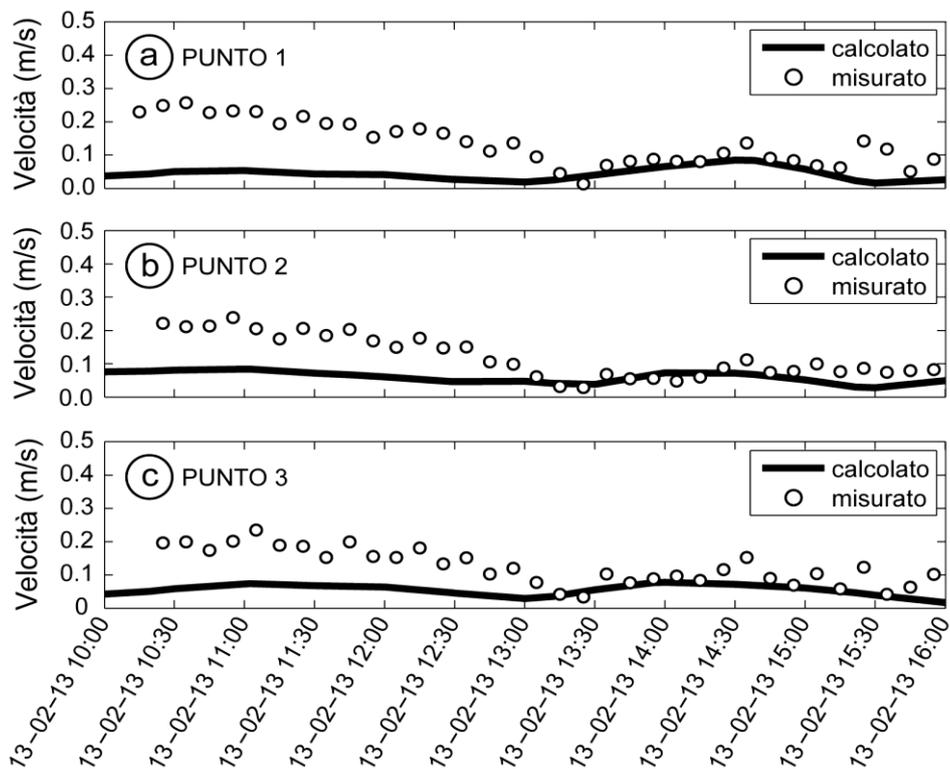


Figura 27 - Confronto tra le velocità misurate con i correntometri S4 nel corso della campagna di misure del 13 febbraio 2013 e le velocità calcolate con il modello in corrispondenza del (a) punto 1, del (b) punto 2 e del (c) punto 3 indicati in Figura 7.

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

Considerando che i confronti condotti per la campagna di misure di febbraio 2013 rappresentano di fatto un test più impegnativo rispetto a quelli condotti per la campagna di agosto 2012, viste le condizioni meteorologiche molto particolari che caratterizzavano i giorni dedicati ai rilievi, si può concludere ulteriormente che il modello matematico riproduce correttamente il campo di moto idrodinamico in prossimità della bocca di Lido.

## **5 CONFRONTO TRA LE TRAIETTORIE PERCORSE DALLE DROGHE LAGRANGIANE E I RISULTATI DEL MODELLO LAGRANGIANO**

### **5.1 Confronto con i dati raccolti nel corso della campagna di misure del 22 dicembre 2011 (Studio B/7)**

In una prima fase del lavoro, il modello lagrangiano brevemente descritto nel Cap. 2.2 è stato applicato per lo studio del campo di moto idrodinamico generato dalle oscillazioni dei livelli di marea registrate il 22 dicembre 2011, giornata in cui è stata condotta nel corso dello Studio B/7 una delle campagne di misura in prossimità del forte S. Andrea alla bocca di Lido. Una descrizione dettagliata della campagna di misure e dei rilievi condotti è contenuta nello Studio B.6.72 B/7.

In particolare, nel corso della campagna di misure, allo scopo di ricostruire il campo di moto idrodinamico, sette droghe lagrangiane sono state rilasciate in diversi punti del campo di moto, registrando le traiettorie da esse percorse. Tali traiettorie erano state confrontate nel corso delle attività svolte nello Studio B.6.72 B/7 con il campo di moto euleriano ricostruito attraverso il modello bidimensionale. La relativa rapidità con cui le droghe avevano percorso le traiettorie misurate aveva infatti suggerito la possibilità di confrontare tale misura lagrangiana con il campo di moto istantaneo euleriano ricostruito con il modello e il buon accordo ottenuto tra le misure e i risultati del calcolo aveva suffragato, nel complesso, l'accettabilità dell'assunzione fatta.

Dal punto di vista teorico, tuttavia, il confronto più rigoroso con tale tipologia di misure deve essere fatto utilizzando un approccio lagrangiano anche nella modellistica numerica. A tale scopo l'applicazione di un modello lagrangiano ha permesso di riprodurre le traiettorie percorse da una decina di particelle in sospensione, distribuite in modo casuale in un intorno dei punti in cui sono state rilasciate le droghe reali. In questo modo, è stato possibile confrontare i percorsi delle droghe effettivamente rilevati con le traiettorie calcolate, svolgendo un'ulteriore verifica sul campo di moto riprodotto mediante il modello idrodinamico bidimensionale.

Nelle Figure 9-15 sono illustrati i confronti tra i percorsi effettivamente rilevati nel corso della campagna di misure e due esempi delle traiettorie delle particelle calcolate con il modello lagrangiano. Come si può osservare, i confronti tra le traiettorie rilevate e quelle calcolate risultano molto soddisfacenti, soprattutto con riferimento all'ultima droga (Figura 34), caratterizzata dal percorso più lungo tra quelli rilevati e per la quale, pertanto, il confronto con il modello lagrangiano risulta maggiormente significativo.

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



Figura 28 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per la droga 1 durante la campagna di rilievi del 22 dicembre 2011 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

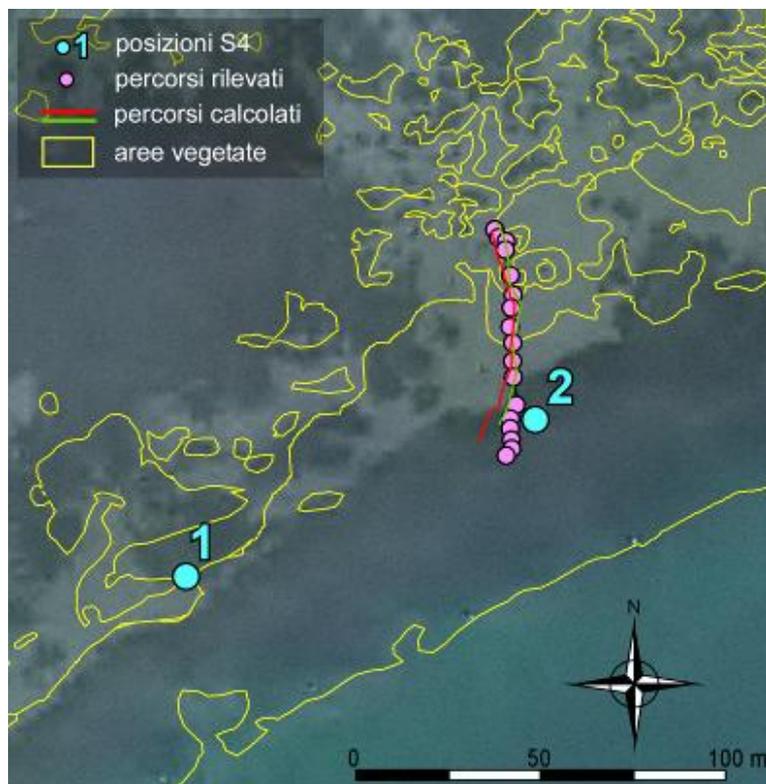


Figura 29 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per la droga 2 durante la campagna di rilievi del 22 dicembre 2011 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

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

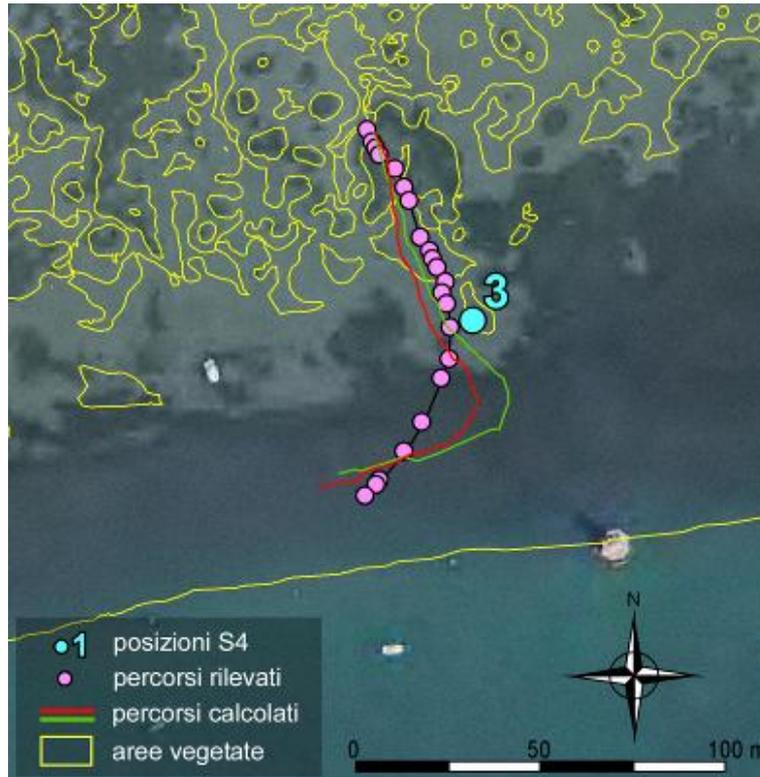


Figura 30 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per la droga 3 durante la campagna di rilievi del 22 dicembre 2011 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

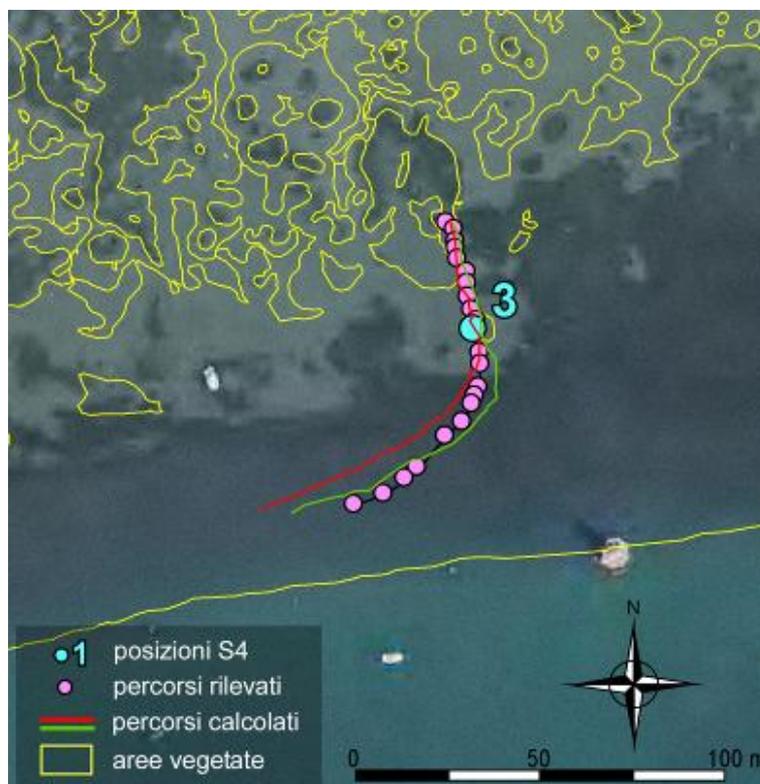


Figura 31 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per la droga 4 durante la campagna di rilievi del 22 dicembre 2011 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

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

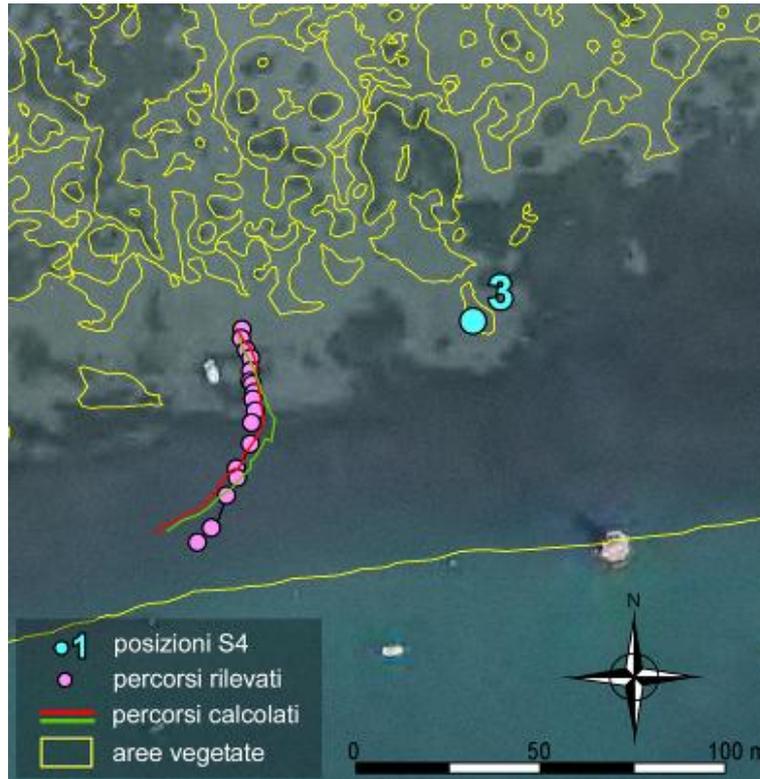


Figura 32 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per la droga 5 durante la campagna di rilievi del 22 dicembre 2011 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

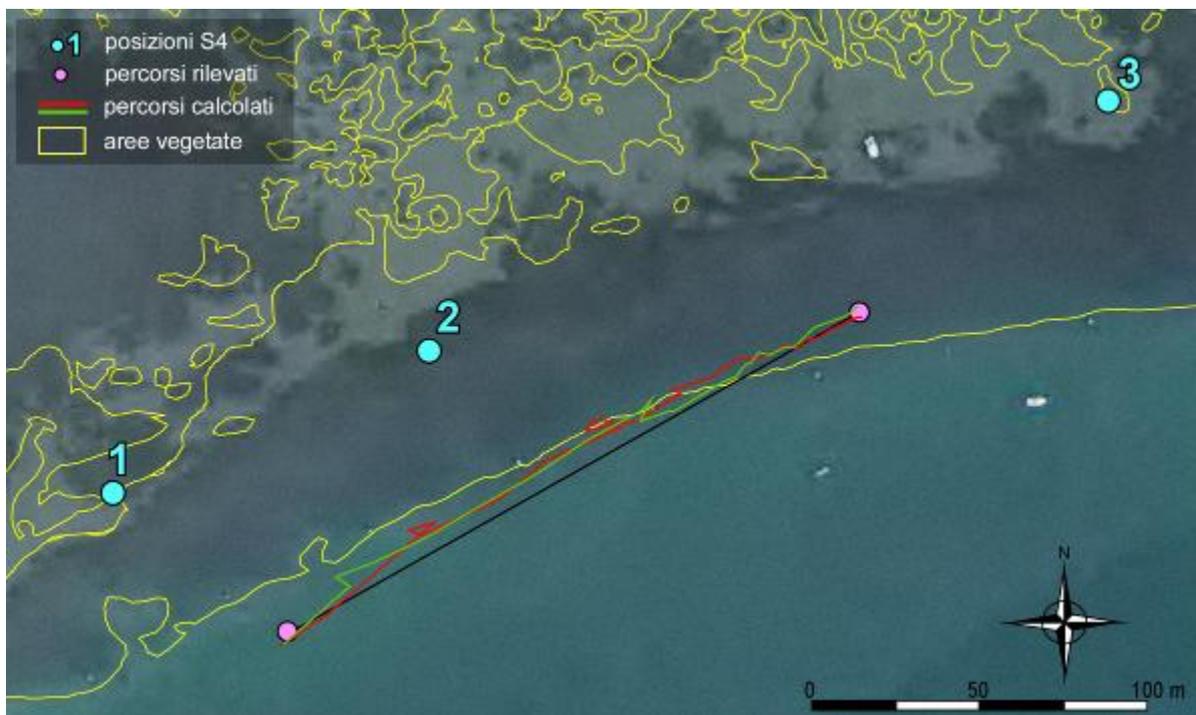


Figura 33 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per la droga 6 durante la campagna di rilievi del 22 dicembre 2011 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

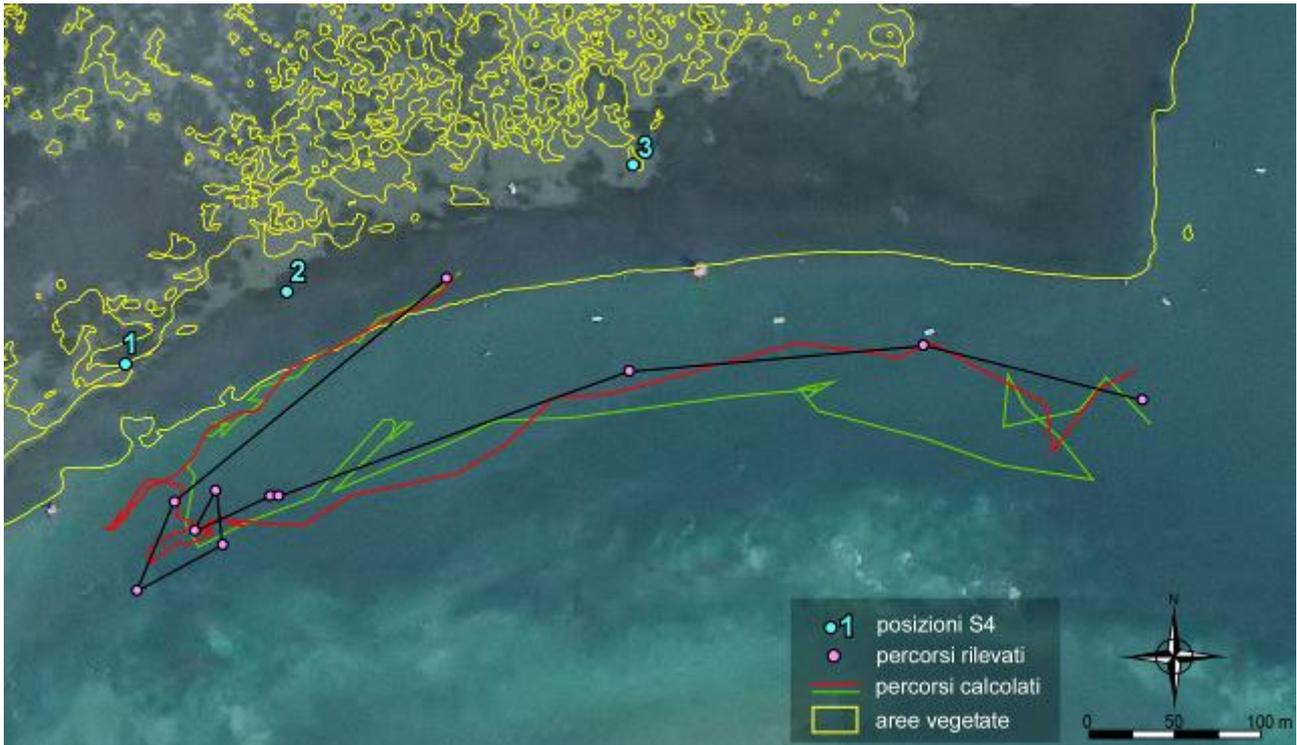


Figura 34 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per la droga 7 durante la campagna di rilievi del 22 dicembre 2011 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

## 5.2 Confronto con i dati raccolti durante le campagne di misura svolte nel corso dell'ultimo anno

Nel corso delle campagne di misure condotte alle bocche di Lido e Malamocco nell'ambito delle attività previste dal Disciplinare Tecnico B/8 sono state rilasciate complessivamente una ventina di droghe lagrangiane in prossimità dei bassofondi e delle praterie a fanerogame.

In analogia alle analisi condotte per la campagna di rilievi del 22 dicembre 2011, un'ulteriore verifica del campo di moto idrodinamico riprodotto mediante il modello bidimensionale è stata condotta attraverso il confronto tra le traiettorie rilevate in campo e le traiettorie calcolate con il modello lagrangiano.

A titolo di esempio, nelle Figure 35-43 sono illustrati i confronti tra i percorsi effettivamente rilevati di una decina di droghe rilasciate durante le campagne di misura di agosto 2012, novembre 2012 e febbraio 2013 e due traiettorie calcolate per ciascuna droga con il modello lagrangiano.

I confronti realizzati in prossimità della bocca di Lido risultano, nel complesso, più soddisfacenti rispetto a quelli realizzati a Malamocco in quanto, come già descritto nel Cap. 2.3, per la bocca di Lido è stato possibile infittire il reticolo di calcolo in prossimità delle aree oggetto dei rilievi, permettendo così una migliore rappresentazione dell'idrodinamica locale. Ciononostante, come si può osservare dalle immagini, l'accordo tra i percorsi rilevati e le traiettorie calcolate con il modello risultano nel complesso piuttosto soddisfacenti non solo per la bocca di Lido ma anche per la bocca di Malamocco, ad ulteriore riprova della capacità del modello di riprodurre correttamente il campo di moto idrodinamico anche in prossimità dei bassofondi e delle praterie a fanerogame.

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

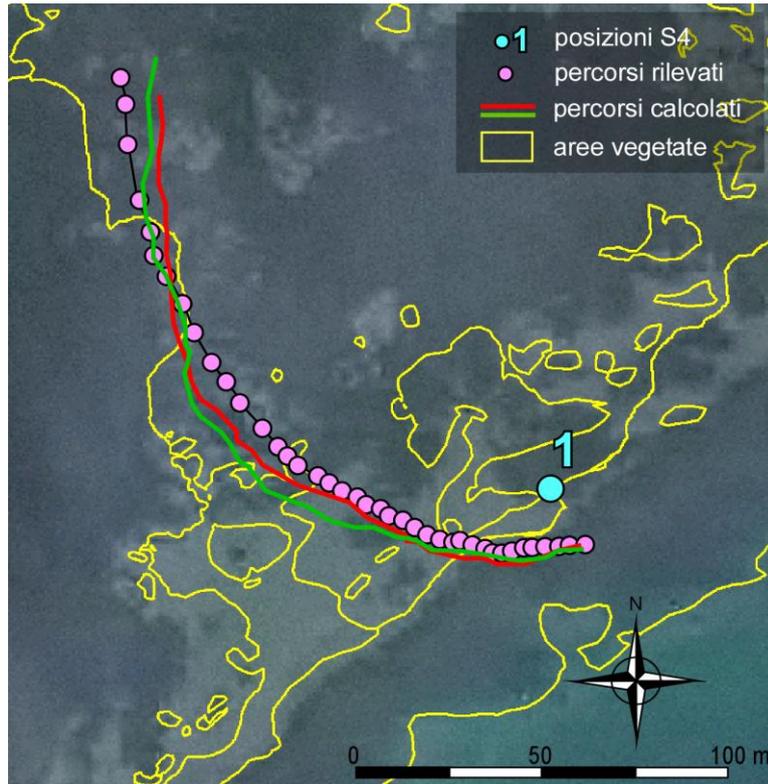
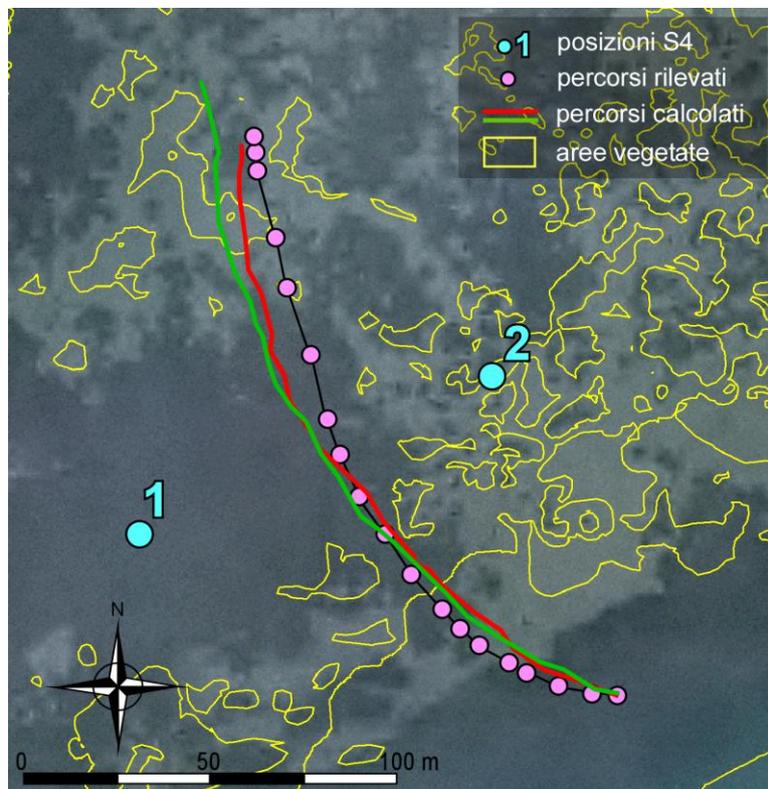


Figura 35 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per una delle droghe rilasciate durante la campagna di rilievi del 2-3 agosto 2012 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.



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

Figura 36 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per una delle droghe rilasciate durante la campagna di rilievi del 2-3 agosto 2012 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

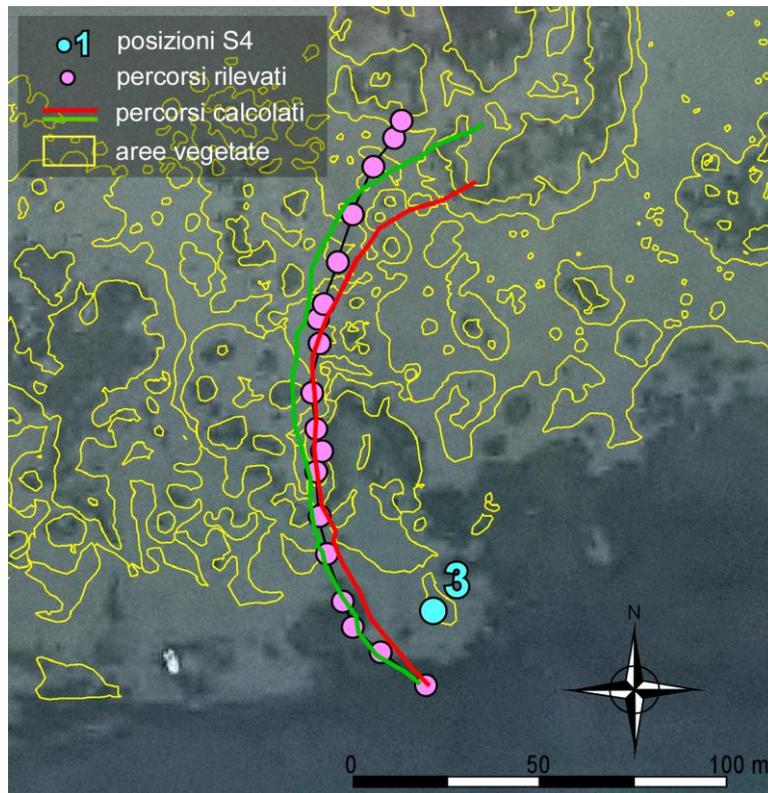


Figura 37 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per una delle droghe rilasciate durante la campagna di rilievi del 2-3 agosto 2012 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

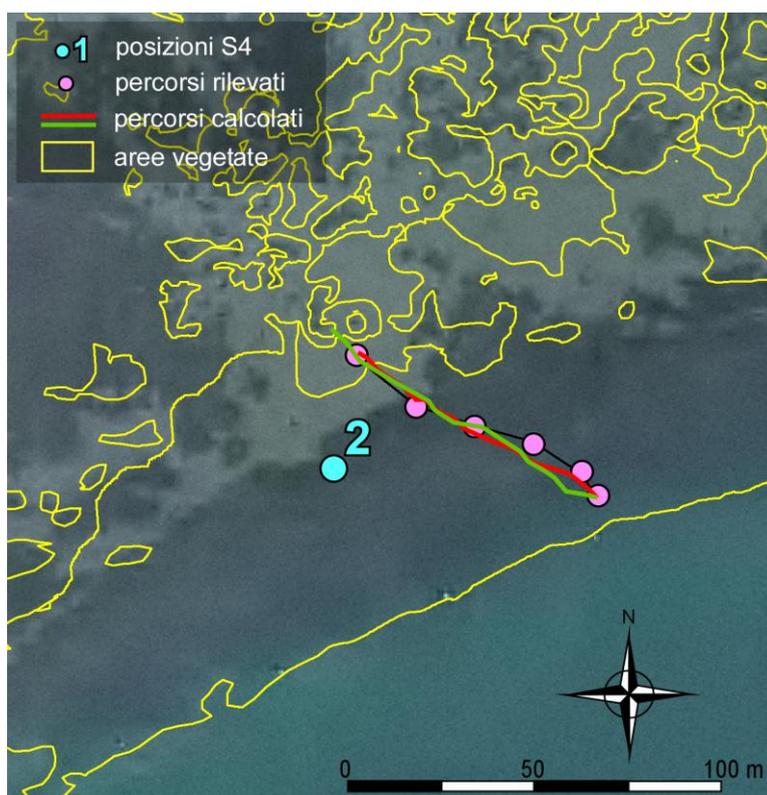


ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
 COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Figura 38 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per una delle droghe rilasciate durante la campagna di rilievi del 12-13 febbraio 2013 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.



Figura 39 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per una delle droghe rilasciate durante la campagna di rilievi del 12-13 febbraio 2013 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.



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

Figura 40 - Bocca di Lido. Confronto tra il percorso rilevato per una delle droghe rilasciate durante la campagna di rilievi del 12-13 febbraio 2013 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

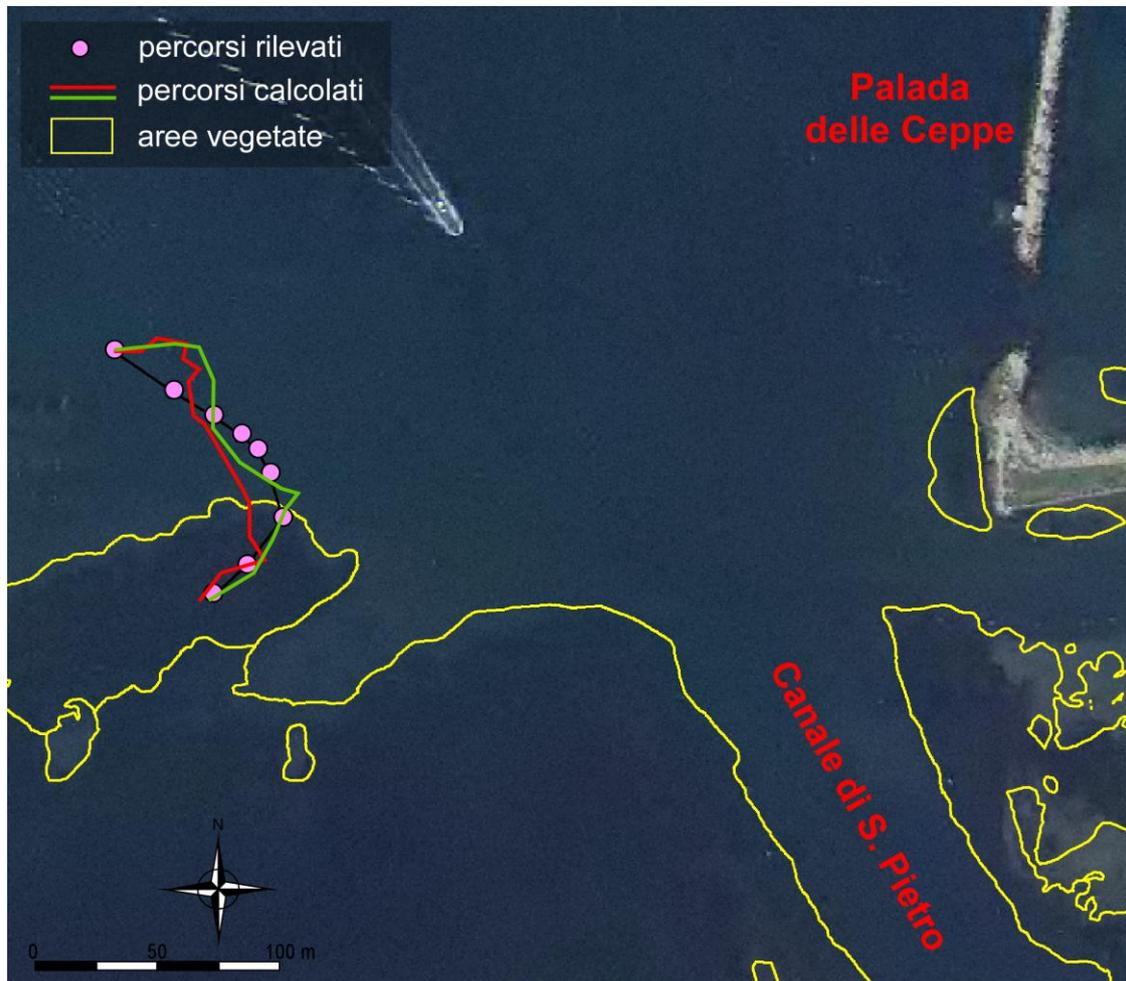
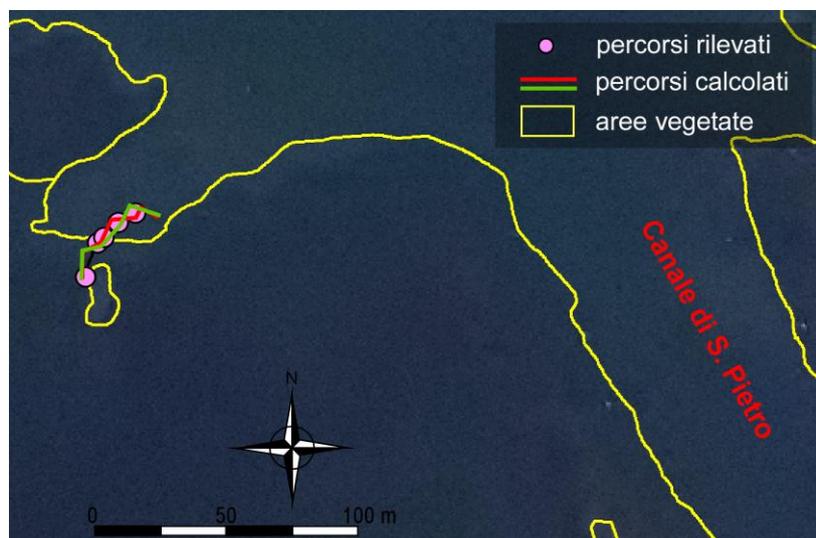


Figura 41 - Bocca di Malamocco. Confronto tra il percorso rilevato per una delle droghe rilasciate durante la campagna di rilievi del 14-15 novembre 2012 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.



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

Figura 42 - Bocca di Malamocco. Confronto tra il percorso rilevato per una delle droghe rilasciate durante la campagna di rilievi del 14-15 novembre 2012 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

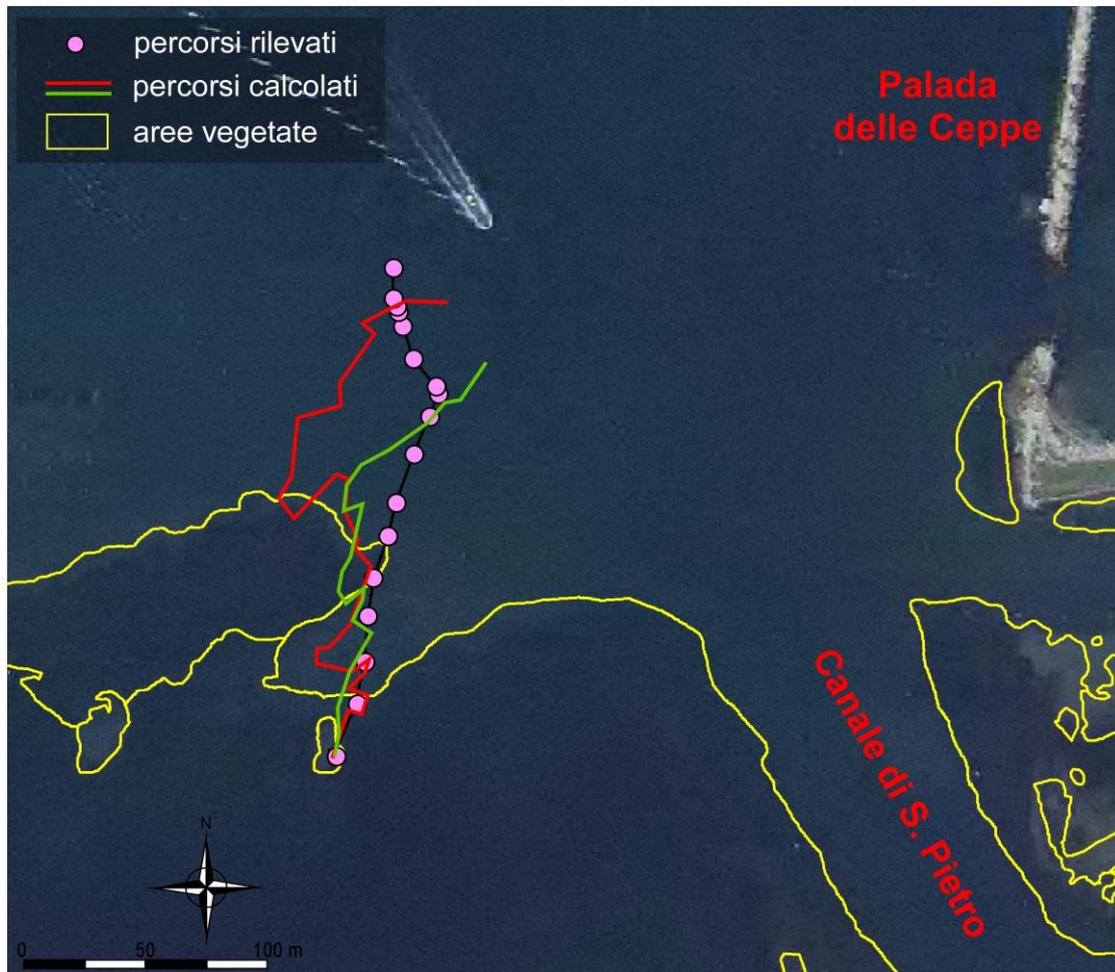


Figura 43 - Bocca di Malamocco. Confronto tra il percorso rilevato per una delle droghe rilasciate durante la campagna di rilievi del 14-15 novembre 2012 e le traiettorie percorse da due particelle in sospensione calcolate con il modello lagrangiano.

## 6 CONFRONTO TRA LE CONFIGURAZIONI PRECEDENTE E SUCCESSIVA ALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE

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* (laguna 2003) e *post* (laguna 2012) *operam* 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 44).

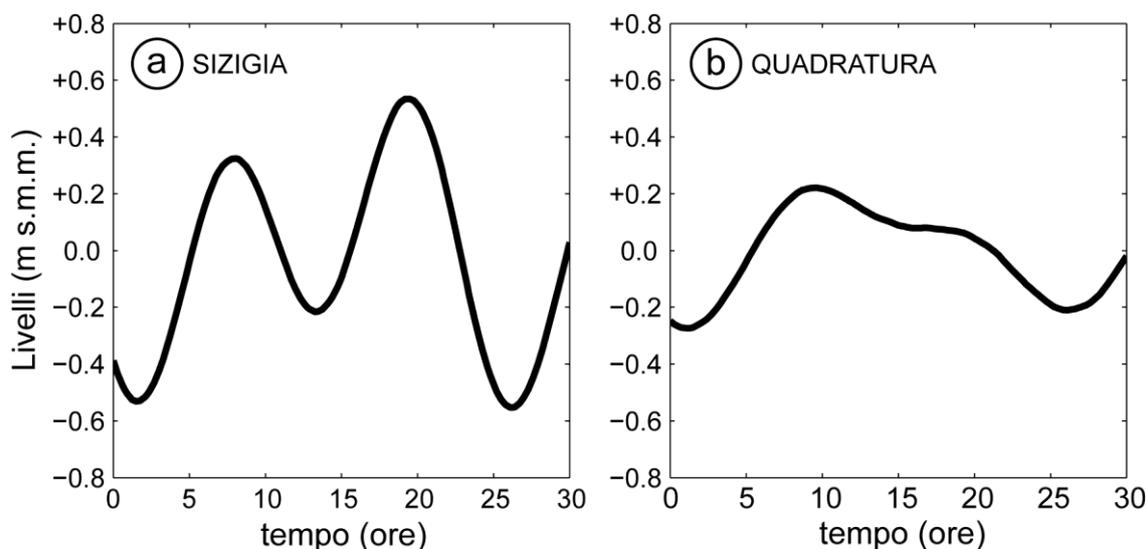


Figura 44 - Condizioni al contorno imposte al modello bidimensionale per il confronto tra il campo di moto idrodinamico rappresentativo delle configurazioni *ante* e *post operam*.

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 45 e in Figura 46 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 otto stazioni situate all'interno dei bacini controllati dalle bocche di Lido e Malamocco, non evidenziano differenze di rilievo tra le configurazioni *ante* e *post operam*, in accordo con quanto già emerso nello Studio B.6.72 B/7.

Il confronto condotto sulle portate scambiate tra la laguna e il mare evidenzia, invece, alcune differenze tra il comportamento idrodinamico della laguna in condizioni di sizigia per le due configurazioni analizzate (Figura 47 e Figura 48).

Le differenze maggiori si rilevano alla bocca di Malamocco (Figura 47b) dove, in seguito alla costruzione delle opere, la portata si riduce del 10-15% in fase di riflusso e di circa il 5% in fase di flusso. Come già evidenziato nello Studio B.6.72 B/7, infatti, la costruzione delle opere alla bocca di Malamocco ha favorito un immediato restringimento delle sezioni su fondali equivalenti a quelli del 2003, comportando, nel breve periodo, una riduzione della portata scambiata attraverso la bocche. Tale considerazione è applicabile anche alla portata scambiata attraverso la bocca di Chioggia (Figura 47c), ma, in questo caso, l'entità della variazione risulta decisamente più moderata.

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

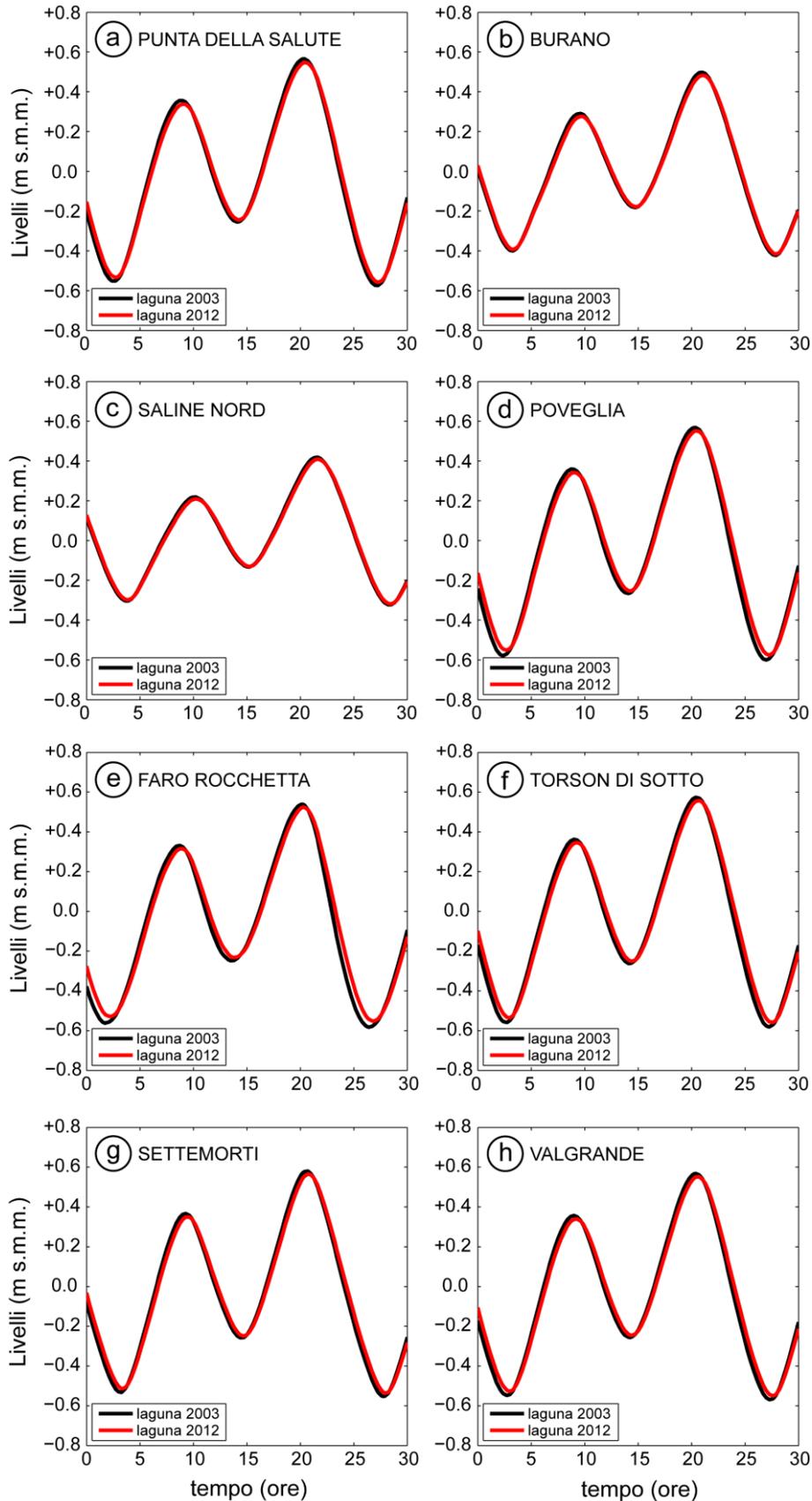


Figura 45 - Marea di sizigia. Confronto tra i livelli calcolati con il modello in diversi punti dei bacini controllati dalle bocche di Lido e di Malamocco per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere alle bocche. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

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

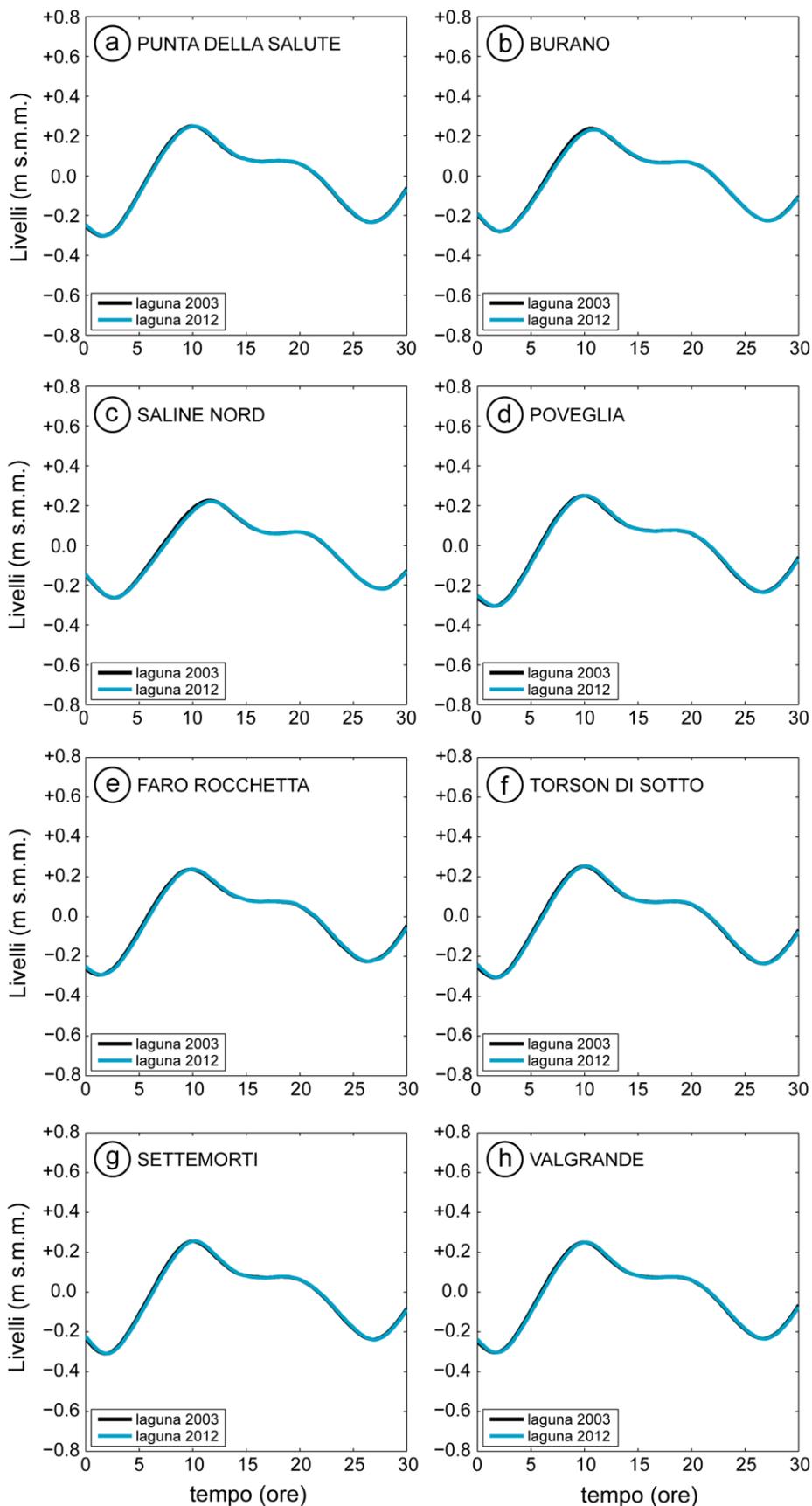


Figura 46 - Marea di quadratura. Confronto tra i livelli calcolati con il modello in diversi punti dei bacini controllati dalle bocche di Lido e di Malamocco per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere alle bocche. I livelli sono riferiti al *medio mare Genova 1942*.

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

Alla bocca di Lido (Figura 47a), invece, si osserva una riduzione di portata di circa il 2-3% in fase di flusso passando dalla configurazione *ante operam* a quella *post operam*, mentre si osserva un incremento della stessa entità in fase di riflusso. Tale incremento, come risulta evidente dalla Figura 48, interessa in misura predominante il canale S. Nicolò, dove la portata scambiata in fase di riflusso subisce un incremento di circa il 4%, mentre la portata scambiata in fase di flusso non cambia significativamente.

Nell'ipotesi di confrontare le portate scambiate dalla laguna per le configurazioni *ante* e *post operam* considerando una marea di quadratura (Figura 49 e Figura 50), si osservano delle variazioni di minore entità rispetto a quelle rilevate considerando una marea di sizigia. In particolare, la bocca di Malamocco, dopo la costruzione delle opere, vede ridurre del 5% circa la portata scambiata con il mare sia in fase di flusso che in fase di riflusso (Figura 49b). Per le bocche di Lido e di Chioggia, invece, le variazioni sulle portate complessive scambiate sono di entità trascurabili (Figura 49a,b). Alla bocca di Lido si osserva, tuttavia, un incremento di 75 m<sup>3</sup>/s (pari a circa il 5%) della portata fluente attraverso il canale S. Nicolò in fase di flusso a discapito del canale Treporti, che vede ridursi la portata fluente proprio della stessa entità (Figura 50).

In Figura 51 e in Figura 52 sono illustrate le differenze tra gli involucri delle velocità massime e degli sforzi tangenziali massimi durante un intero ciclo di marea alla bocca di Lido calcolati con il modello bidimensionale nell'ipotesi di considerare una tipica marea di sizigia. Per favorire una migliore leggibilità dei risultati, i confronti tra gli involucri delle velocità massime e degli sforzi tangenziali massimi, nonché le differenze calcolate singolarmente per la fase di flusso e di riflusso sono stati inseriti in Appendice.

Nella fase di sizigia della marea, i risultati relativi alle variazioni di velocità confermano le considerazioni già espresse nello Studio B.6.72 B/7. In particolare, le variazioni di velocità raggiungono valori dell'ordine della decina di cm/s solo nei canali principali e sui bordi delle aree di bassofondo, mentre all'interno dei bassofondi stessi sono nel complesso relativamente modeste (Figura 51). L'incremento di velocità più importante si osserva lungo il margine meridionale della prateria situata in prossimità del forte S. Andrea in particolar modo in fase di riflusso, quando le variazioni di velocità si attestano su valori medi di circa 40-50 cm/s, ma possono raggiungere localmente valori massimi di circa 80 cm/s. In tutto il resto della prateria e, in particolare, lungo il margine orientale che segue il canale di S. Erasmo non si osservano variazioni rilevanti delle velocità. In corrispondenza della porzione occidentale della prateria di fanerogame situata a ridosso dell'isola artificiale si osserva un incremento generalizzato delle velocità dell'ordine dei 10 cm/s, in particolare lungo il margine più vicino all'isola artificiale, dove, specialmente in fase di riflusso, le velocità possono raggiungere localmente valori massimi di 20 cm/s. La porzione orientale di questa prateria situata in prossimità del canale Treporti è, invece, caratterizzata da una riduzione generalizzata delle velocità compresa tra i 5 e i 10 cm/s.

Le differenze tra gli involucri degli sforzi tangenziali al fondo massimi (Figura 52) confermano, nella sostanza, quanto già espresso per l'analisi delle differenze tra gli involucri delle velocità massime. Incrementi superiori a 2 Pa si evidenziano lungo il canale S. Nicolò in prossimità del forte S. Andrea e lungo il margine della prateria più vicino al forte. Si osservano, inoltre, incrementi di modesta entità (circa 0.5 Pa) lungo i margini delle praterie che lambiscono il canale S. Nicolò, per raggiungere valori massimi di 1.5-2 Pa lungo il margine più vicino all'isola artificiale. In analogia a quanto evidenziato per le velocità, lungo la parte orientale della prateria situata a ridosso dell'isola artificiale si osserva una riduzione generalizzata degli sforzi tangenziali al fondo di circa 0.5 Pa.

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

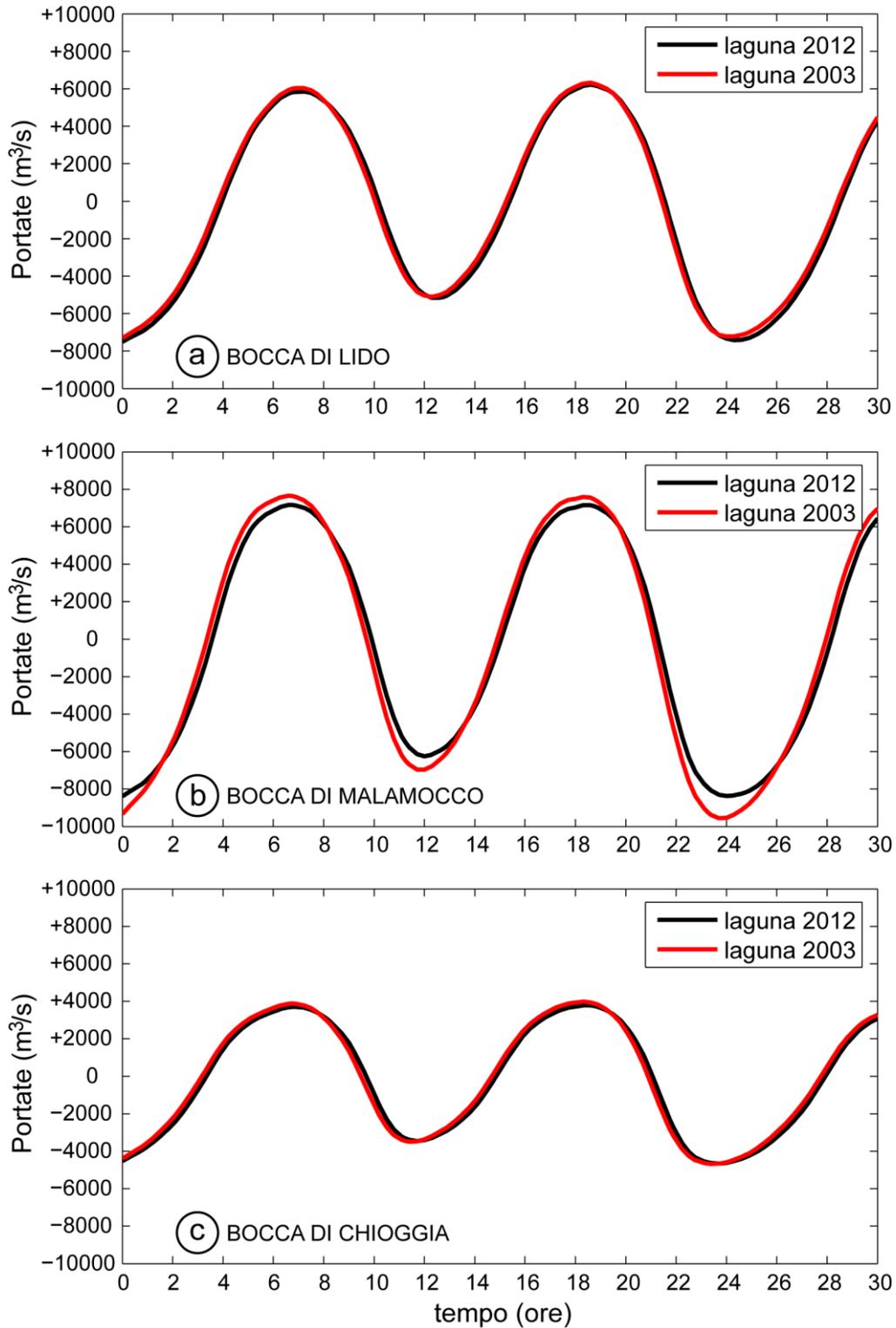


Figura 47 - Marea di sizigia. Confronto tra le portate calcolate con il modello alle tre bocche per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte. Le portate positive sono entranti, mentre quelle negative sono uscenti.

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

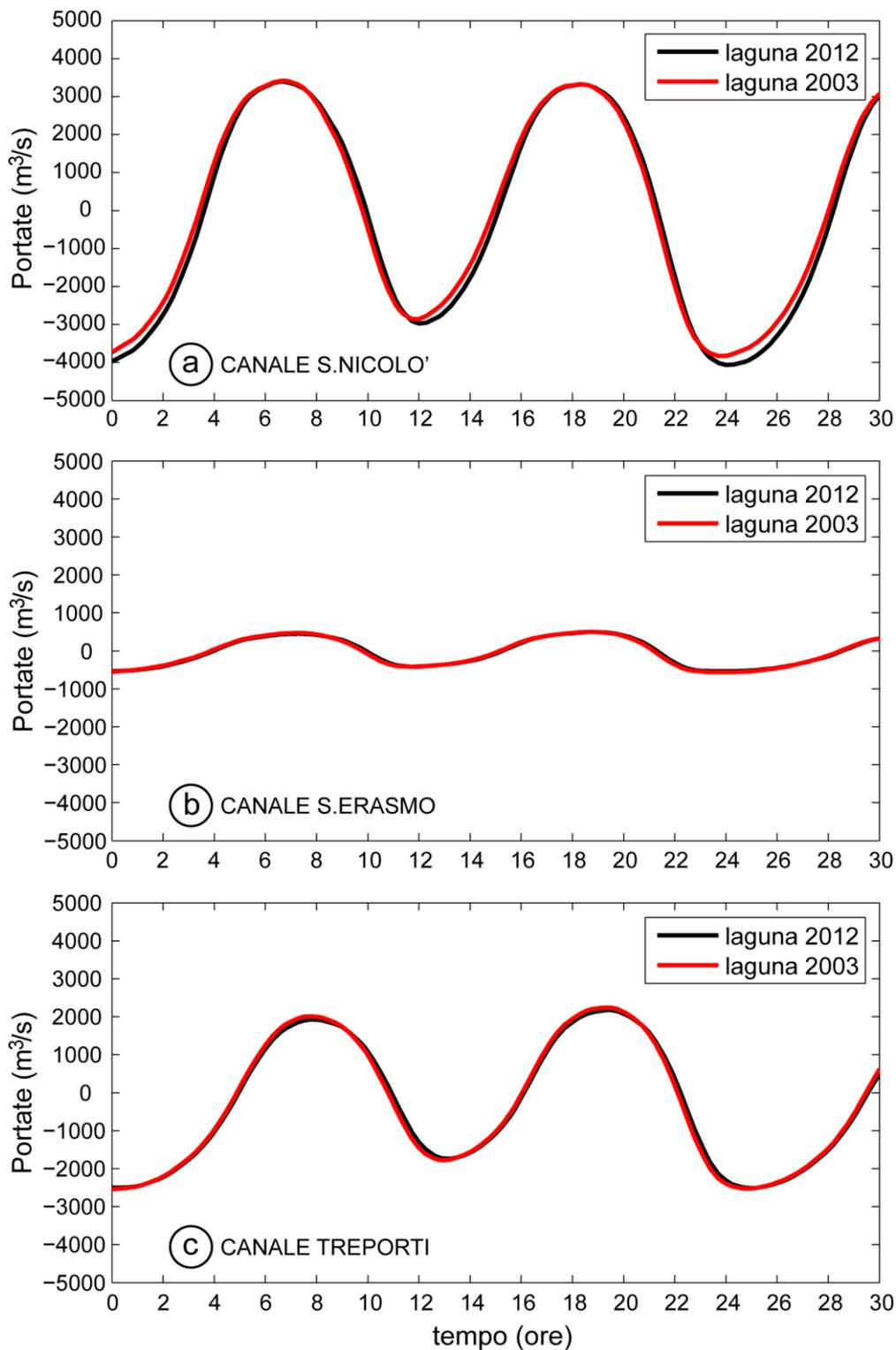


Figura 48 – Marea di sizigia. Confronto tra le portate calcolate con il modello lungo i canali (a) S. Nicolò, (b) S. Erasmo e (c) Treporti per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte. Le portate positive sono entranti, mentre quelle negative sono uscenti.

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

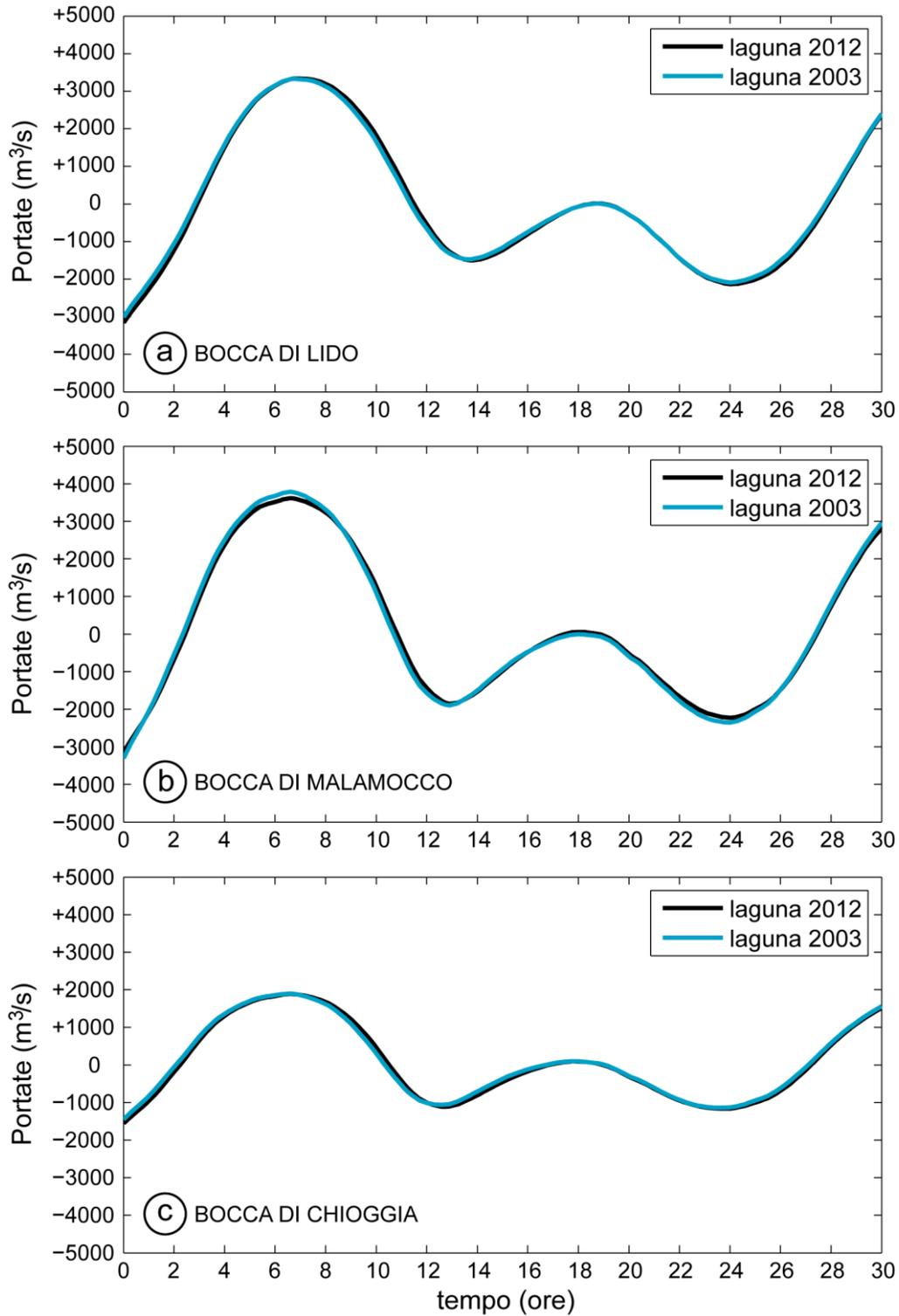


Figura 49 - Marea di quadratura. Confronto tra le portate calcolate con il modello alle tre bocche per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte. Le portate positive sono entranti, mentre quelle negative sono uscenti.

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

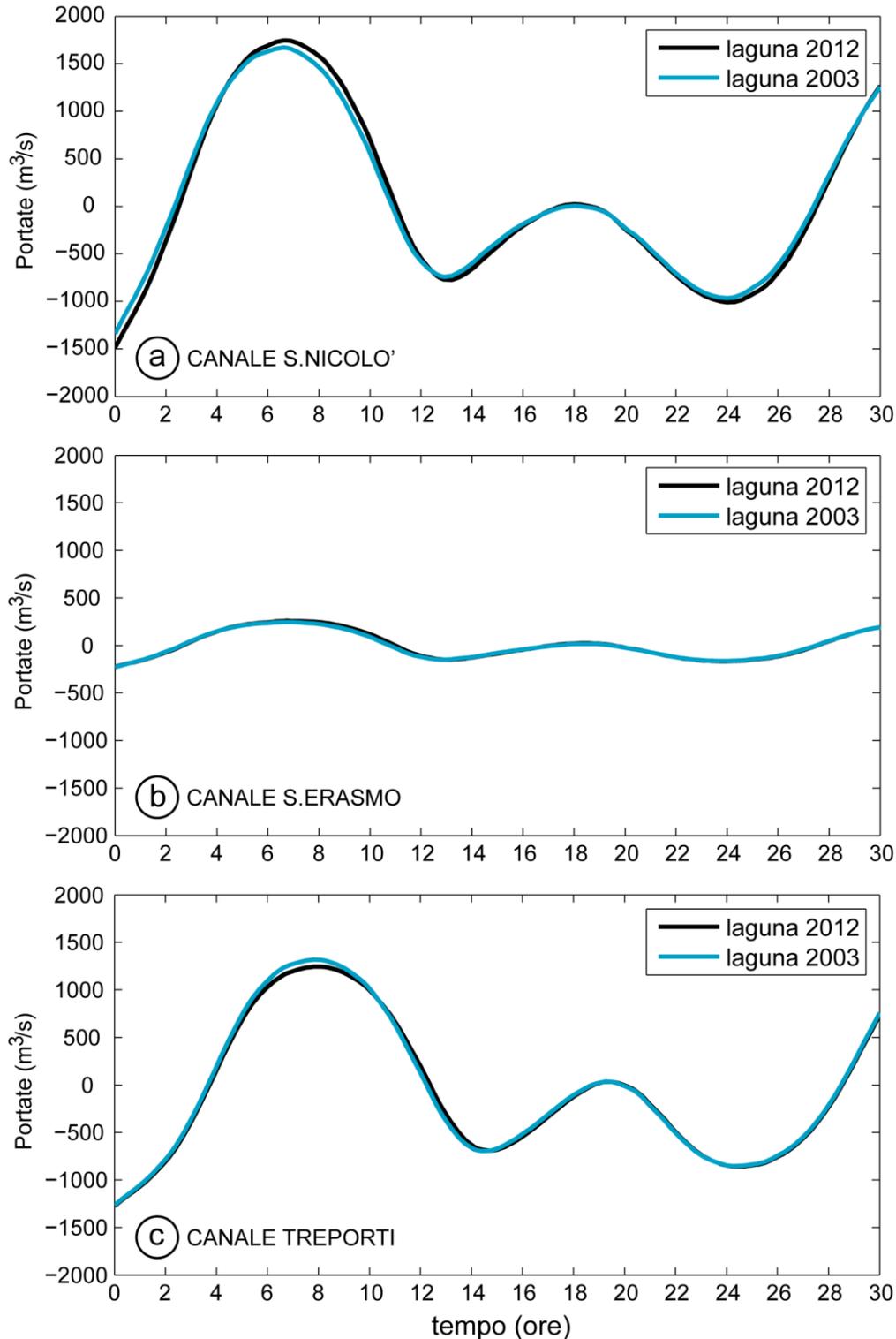


Figura 50 - Marea di quadratura. Confronto tra le portate calcolate con il modello lungo i canali (a) S. Nicolò, (b) S. Erasmo e (c) Treporti per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte. Le portate positive sono entranti, mentre quelle negative sono uscenti.

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

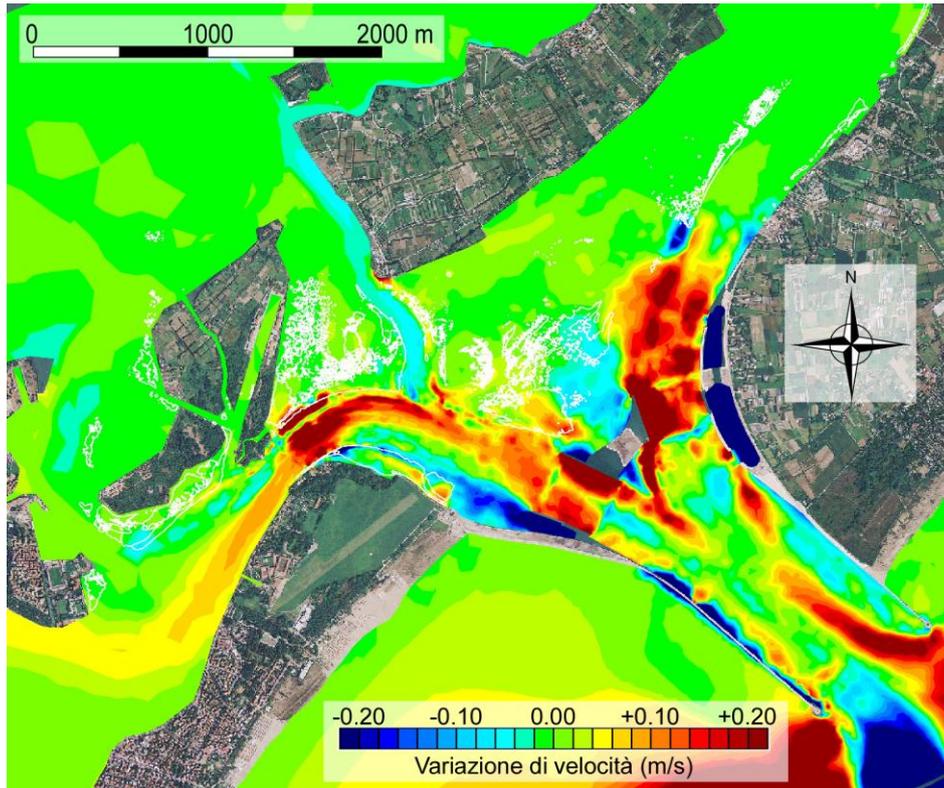


Figura 51 - Marea di sizigia. Variazione complessiva in due cicli di sizigia delle velocità massime alla bocca di Lido calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

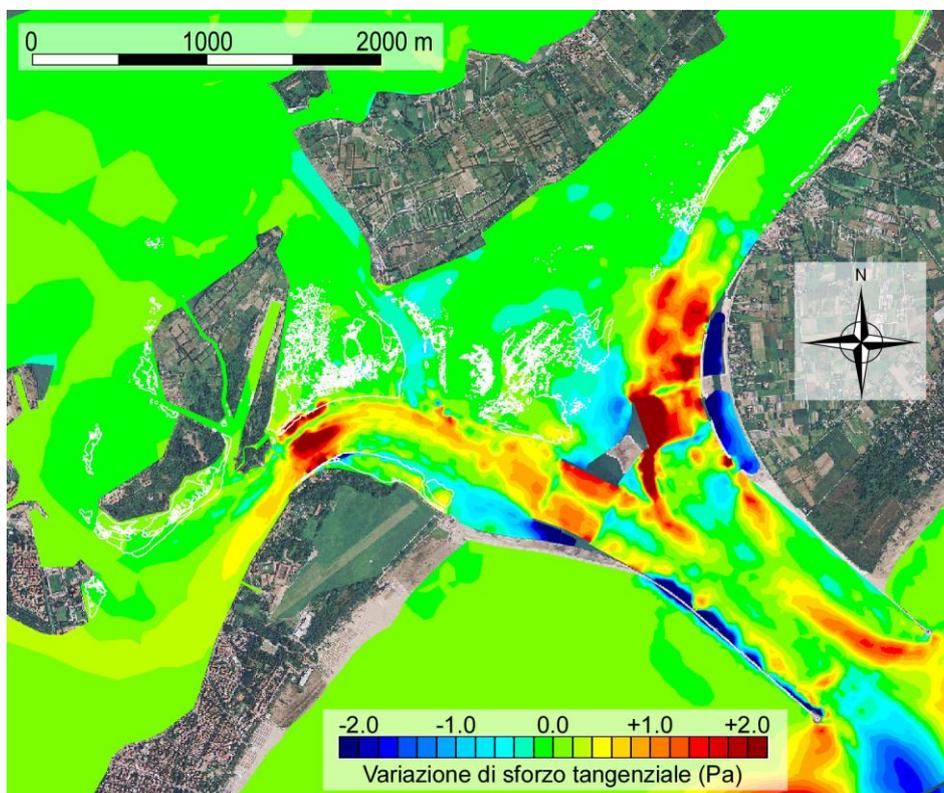


Figura 52 - Marea di sizigia. Variazione complessiva in due cicli di sizigia degli sforzi tangenziali al fondo massimi alla bocca di Lido calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

I confronti tra i campi di velocità che si sviluppano nell'ipotesi di considerare una marea di quadratura (Figura 53 e Figura 54) evidenziano qualche differenza rispetto al caso della marea di sizigia. In particolare, in entrambe le fasi di flusso e riflusso nella configurazione attuale della bocca di Lido, parte della portata che fluisce all'interno del canale Treporti viene richiamata verso il canale S. Nicolò attraverso il canale artificiale scavato a ridosso dell'isola artificiale, come risulta evidente anche dal confronto delle portate (Figura 50). Per questo motivo, lungo la porzione occidentale della prateria di fanerogame situata a ridosso dell'isola artificiale e, in particolare, lungo il margine che confina con il canale S. Nicolò, le variazioni di velocità sono apprezzabili e si attestano mediamente intorno ai 30-50 cm/s. Lungo la prateria di fanerogame situata tra il forte S. Andrea e il canale S. Erasmo, invece, si osservano variazioni di qualche rilievo solamente lungo il margine meridionale della prateria che segue il canale S. Nicolò, dove le differenze di velocità rispetto alla configurazione del 2003 sono dell'ordine dei 10 cm/s.

In analogia a quanto osservato per i campi di velocità, in condizioni di quadratura gli incrementi maggiori di sforzo tangenziale, di entità superiore a 1 Pa, si sviluppano lungo il canale artificiale scavato a ridosso dell'isola artificiale. Lungo il margine della prateria che segue questo nuovo canale e in corrispondenza del restringimento realizzato lungo il canale Treporti, tale incremento si riduce a valori compresi mediamente tra i 0.2 e i 0.3 Pa, raggiungendo localmente valori massimi di 0.4 Pa. Si osservano, inoltre, incrementi localizzati di circa 0.2 Pa lungo il margine della prateria situato in prossimità del forte S. Andrea. In corrispondenza delle altre praterie a fanerogame non si osservano variazioni di rilievo.

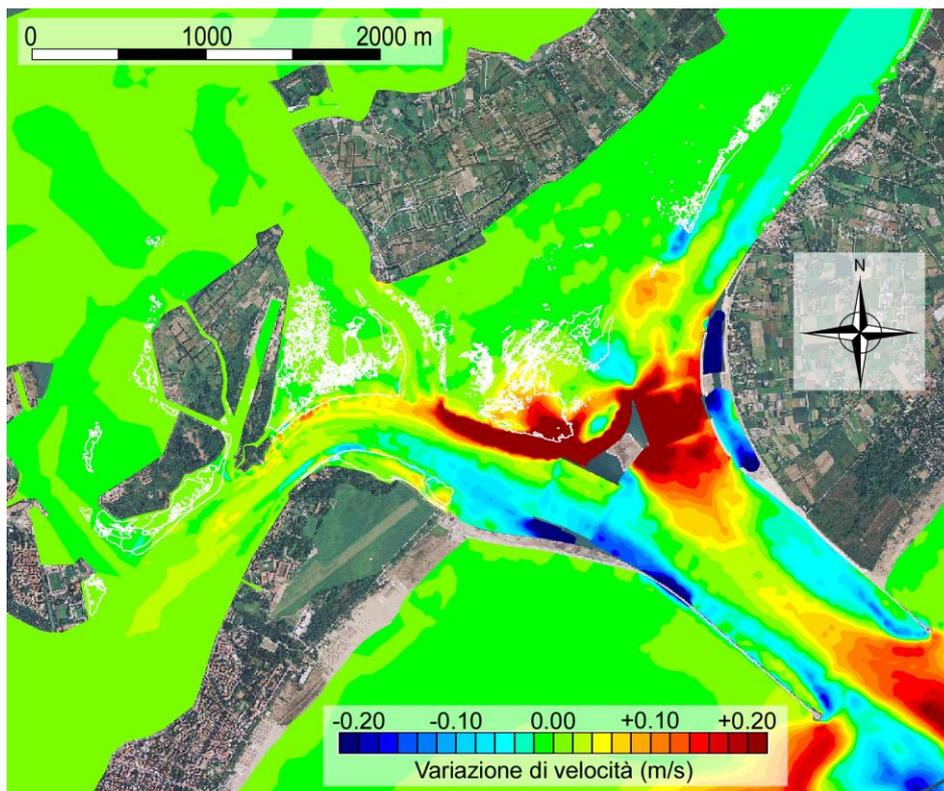


Figura 53 - Marea di quadratura. Variazione complessiva in due cicli di quadratura delle velocità massime alla bocca di Lido calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

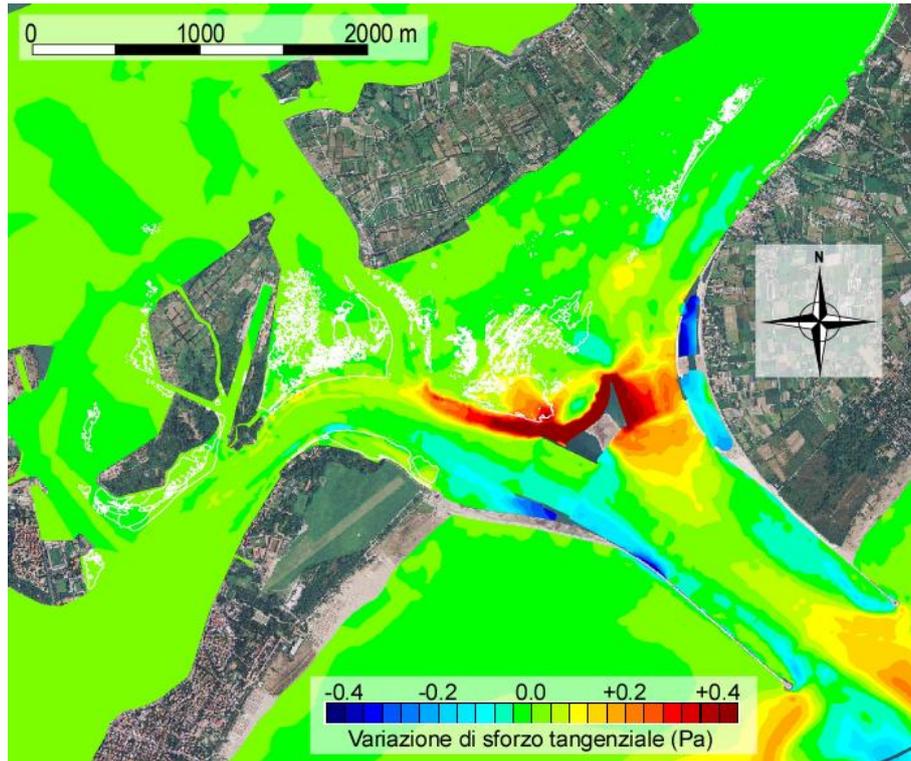


Figura 54 - Marea di quadratura. Variazione complessiva in due cicli di quadratura degli sforzi tangenziali al fondo massimi alla bocca di Lido calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

Per quanto riguarda la bocca di Malamocco, invece, non si osservano variazioni apprezzabili di velocità in prossimità delle praterie a fanerogame, sia nell'ipotesi di considerare una marea di sizigia, sia nell'ipotesi di considerare una marea di quadratura.

In particolare, in condizioni di sizigia si osserva una riduzione generalizzata delle velocità di qualche cm/s su tutta l'area interessata dalle fanerogame e solo localmente tale riduzione raggiunge valori massimi di 4-5 cm/s (Figura 55). In corrispondenza del canale principale, in accordo con quanto evidenziato dal confronto delle portate, si osserva un'apprezzabile riduzione delle velocità di circa 15-20 cm/s. Un incremento di velocità si osserva, invece, lungo il margine settentrionale della prateria che lambisce il canale di bocca, in prossimità dell'Ottagono di S. Pietro. Tale incremento risulta, tuttavia, di piccola entità, presentando valori massimi locali di circa 4-5 cm/s. Le variazioni maggiori di velocità si concentrano sulla prateria situata a ridosso della Palada delle Ceppe, la cui parte orientale subisce un incremento di 25-30 cm/s, mentre la parte occidentale vede ridurre la velocità di 10-15 cm/s.

L'analisi degli sforzi tangenziali in condizioni di sizigia (Figura 56) non evidenziano variazioni rilevanti per le due configurazioni analizzate se si considerano le aree interessate dalle praterie a fanerogame. L'unica eccezione, in analogia a quanto già evidenziato per le velocità, è costituita dalla prateria situata a ridosso della Palada delle Ceppe, interessata nella sua parte orientale da un incremento degli sforzi al fondo superiore ai 2 Pa e nella sua parte occidentale da una riduzione della stessa entità. Lungo tutti i canali principali, invece, gli sforzi tangenziali si riducono di circa 0.5 Pa e di circa 1-2 Pa in prossimità della bocca.

Nell'ipotesi di considerare una marea di quadratura, non si osservano variazioni di rilievo né lungo le praterie a fanerogame situate in prossimità della bocca di Malamocco né lungo il canale di bocca, con riferimento sia alle velocità sia agli sforzi tangenziali (Figura 57 e Figura 58). L'unica eccezione è costituita ancora una volta dalla prateria situata a ridosso della Palada delle Ceppe, che

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

vede aumentare la velocità di circa 20 cm/s sul proprio lato orientale, mentre vede ridursi la velocità di circa 3 cm/s lungo il lato occidentale.

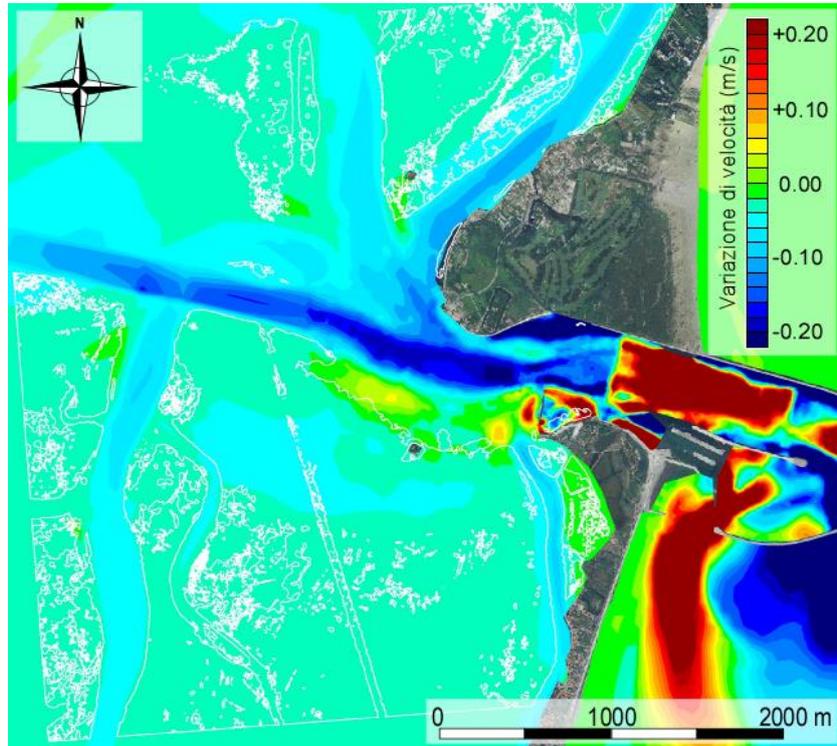


Figura 55 - Marea di sizigia. Variazione complessiva delle velocità massime alla bocca di Malamocco calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

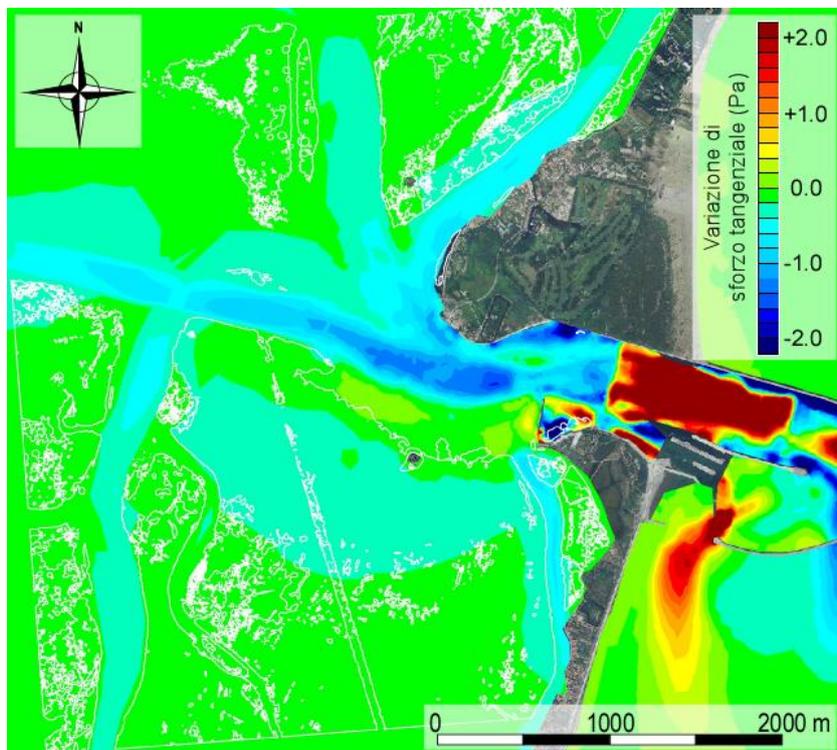


Figura 56 - Marea di sizigia. Variazione complessiva degli sforzi tangenziali massimi alla bocca di Malamocco calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

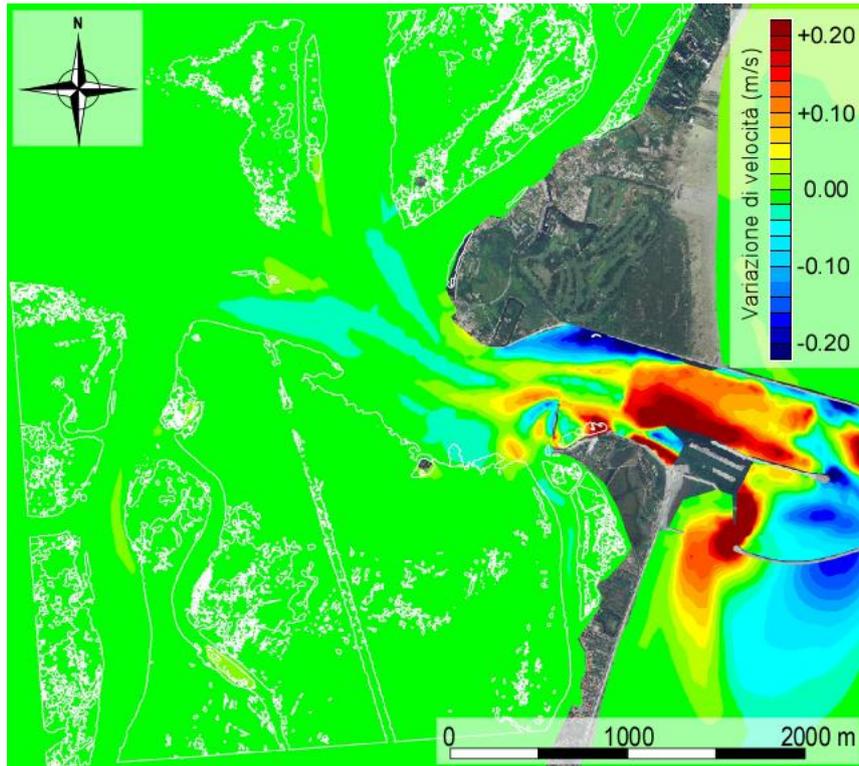


Figura 57 - Marea di quadratura. Variazione complessiva delle velocità massime alla bocca di Malamocco calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

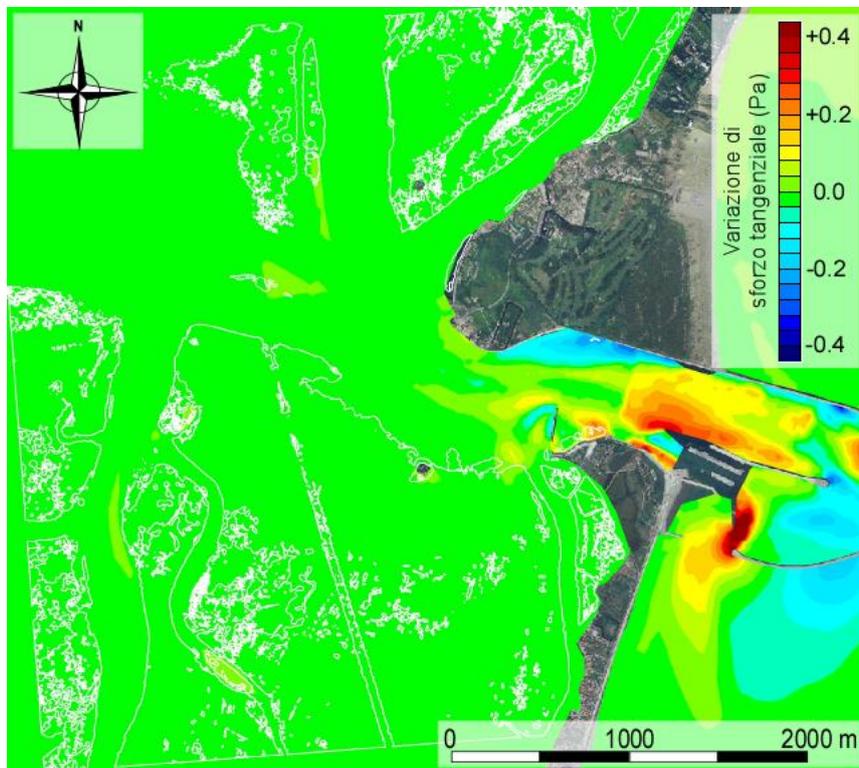


Figura 58 - Marea di quadratura. Variazione complessiva degli sforzi tangenziali massimi alla bocca di Malamocco calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE 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 considerati due eventi meteorologici sintetici, caratterizzati dalla marea di sizigia e dalla marea di quadratura considerate per le simulazioni precedenti (Figura 44) 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 53-60, 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.

La Figure 53-56 non evidenziano differenze apprezzabili nella concentrazione massima di sedimenti in sospensione per la bocca di Lido nel suo complesso, in accordo con quanto già evidenziato nello Studio B.6.72 B/7. Da un'analisi più puntuale del fenomeno non emerge alcuna differenza in prossimità della prateria di fanerogame situata a ridosso del forte S. Andrea. Si osserva, invece, una riduzione globale della concentrazione massima sulla prateria situata in prossimità dell'isola artificiale (Figura 33), a causa della maggior protezione fornita dall'isola stessa. Le differenze riscontrate risultano, tuttavia, di piccola entità (circa 5-10 mg/l).

Per quanto riguarda la bocca di Malamocco, invece, si osservano variazioni generali nella distribuzione di sedimenti in sospensione tra la laguna del 2003 e la laguna del 2012 (Figure 63-66), pur trattandosi di differenze di piccola entità.

In particolare, in condizioni di sizigia, per la prateria situata a nord della bocca e per quella situata ad ovest del canale Spignon si osservano riduzioni generalizzate della concentrazione in sospensione dei sedimenti, che si attestano su valori di 10-15 mg/l. In corrispondenza della prateria situata tra il canale Spignon e il canale di S. Pietro, invece, si evidenziano variazioni generalizzate di 10-15 mg/l solo in fase di riflusso (Figura 63), poiché in fase di flusso tali riduzioni, pur rimanendo dello stesso ordine di grandezza, si localizzano solo in prossimità delle zone interessate dalle concentrazioni massime (Figura 64).

Nell'ipotesi di considerare una marea di quadratura, alcune differenze tra le concentrazioni di sedimenti in sospensione emergono per le praterie situate a nord della bocca di Malamocco, in prossimità delle quali si verificano localmente riduzioni di circa 10 mg/l. Per le praterie situate a sud della bocca, invece, non si evidenziano differenze di rilievo tra le configurazioni *ante* e *post operam*.

È opportuno sottolineare che, sebbene i valori della concentrazione in sospensione ottenuti con il modello siano in linea con i valori effettivamente misurati all'interno della laguna durante eventi meteorologici confrontabili con quello analizzato, i risultati sono da analizzare in relativo, ovvero al solo scopo di mettere in luce variazioni indotte dalla costruzione delle opere alle bocche di porto. Analisi più dettagliate necessiterebbero di misure specifiche di torbidità distribuite nell'area in esame nonché campionamenti che permettano di ricostruire la composizione granulometrica del fondale. È infine da sottolineare che le indagini non hanno considerato, per i limiti del modello utilizzato determinati dalla complessità del fenomeno, i processi di risospensione e trasporto innescati dal moto ondoso che si insinua all'interno della bocca provenendo dal mare.

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

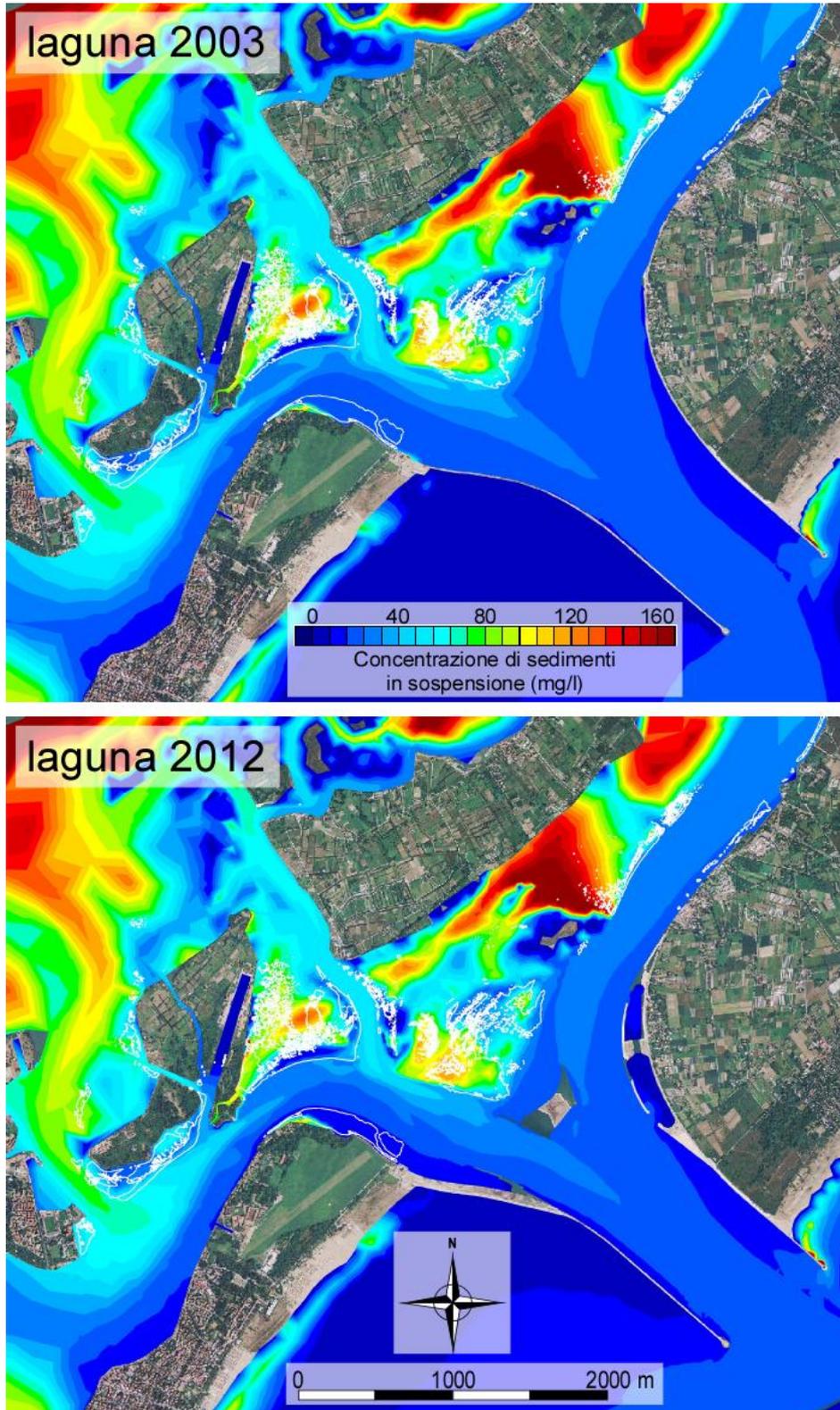


Figura 59 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di flusso alla bocca di Lido indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

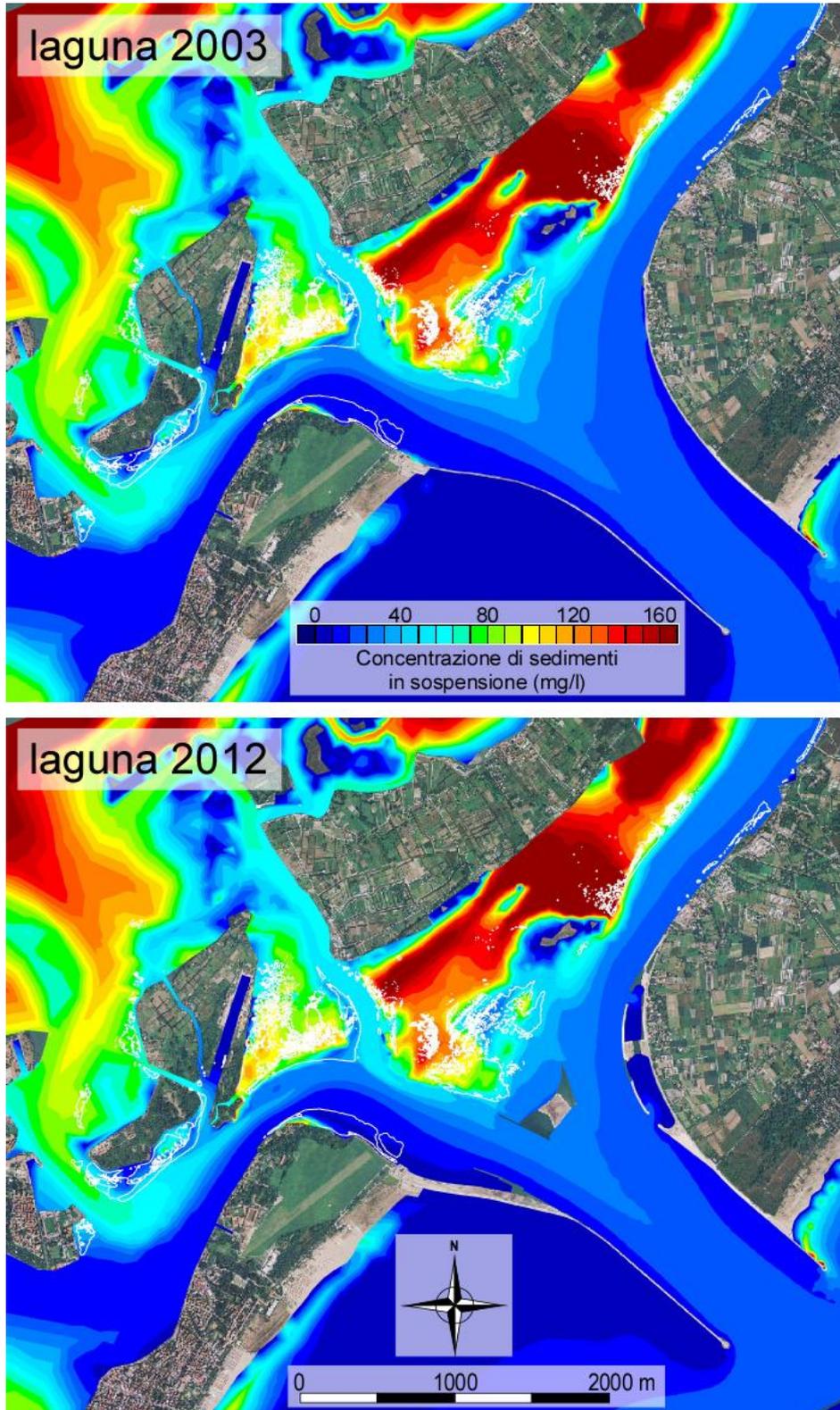


Figura 60 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuppi delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di riflusso alla bocca di Lido indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

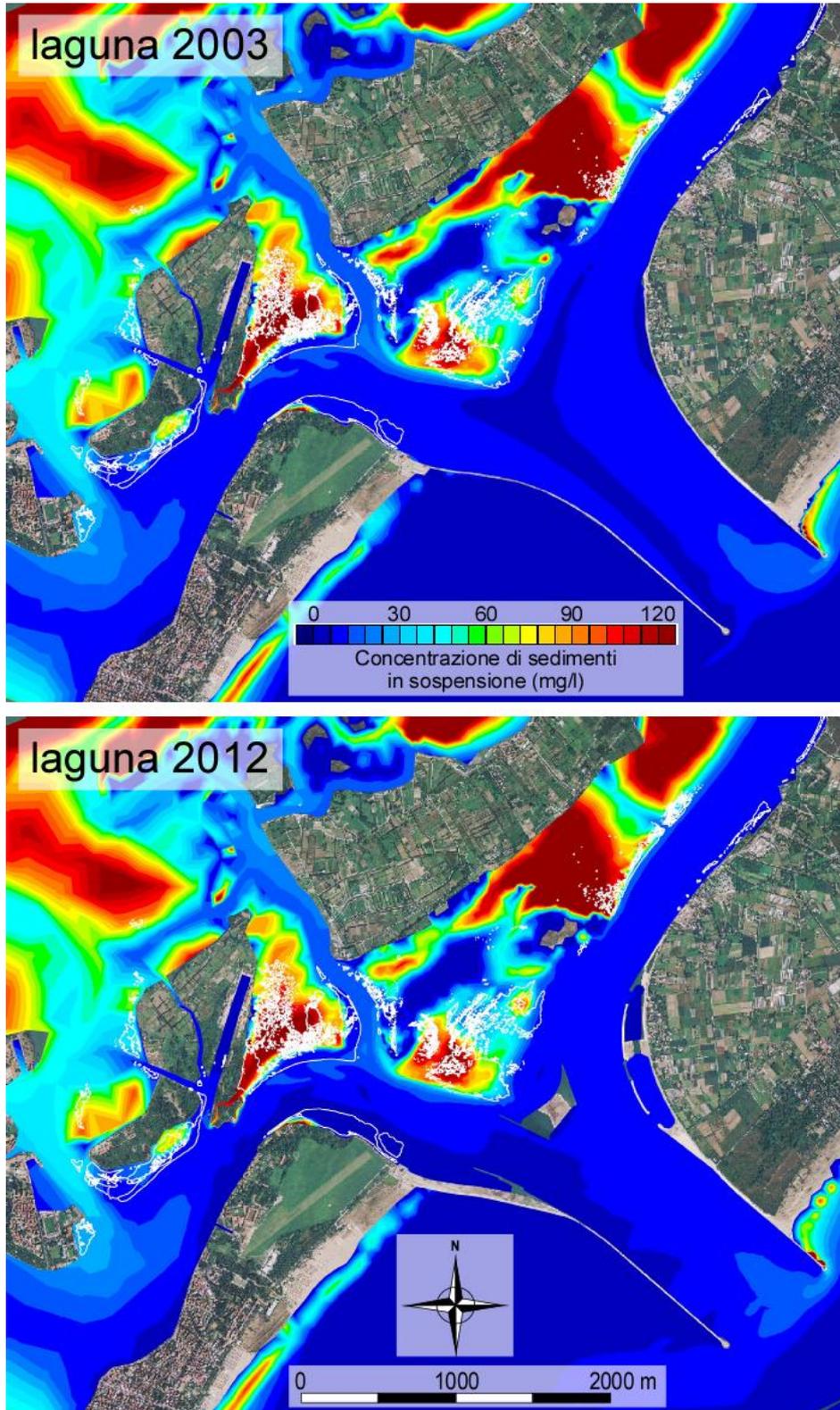


Figura 61 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involuppi delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di flusso alla bocca di Lido indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

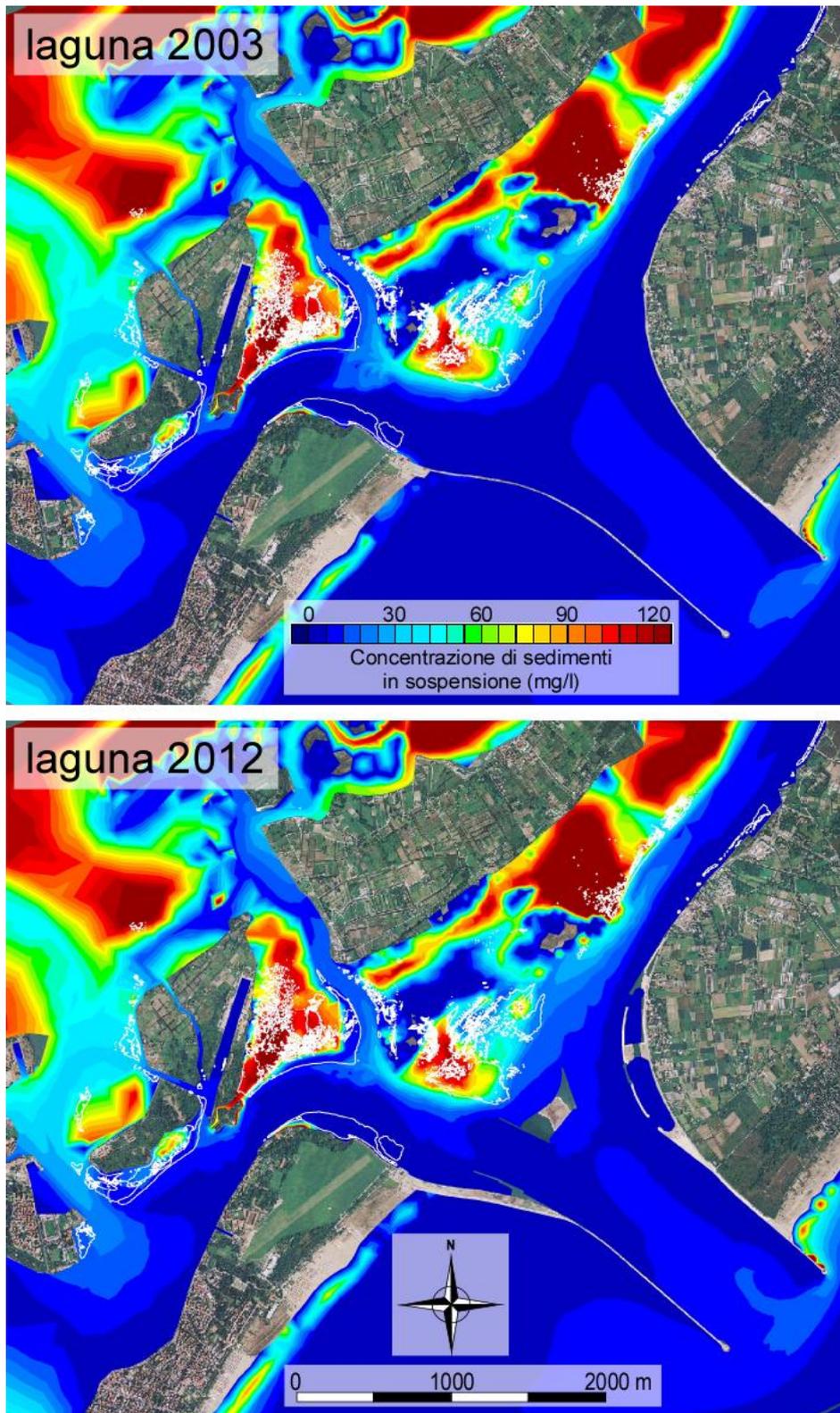


Figura 62 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involuipi delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di riflusso alla bocca di Lido indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

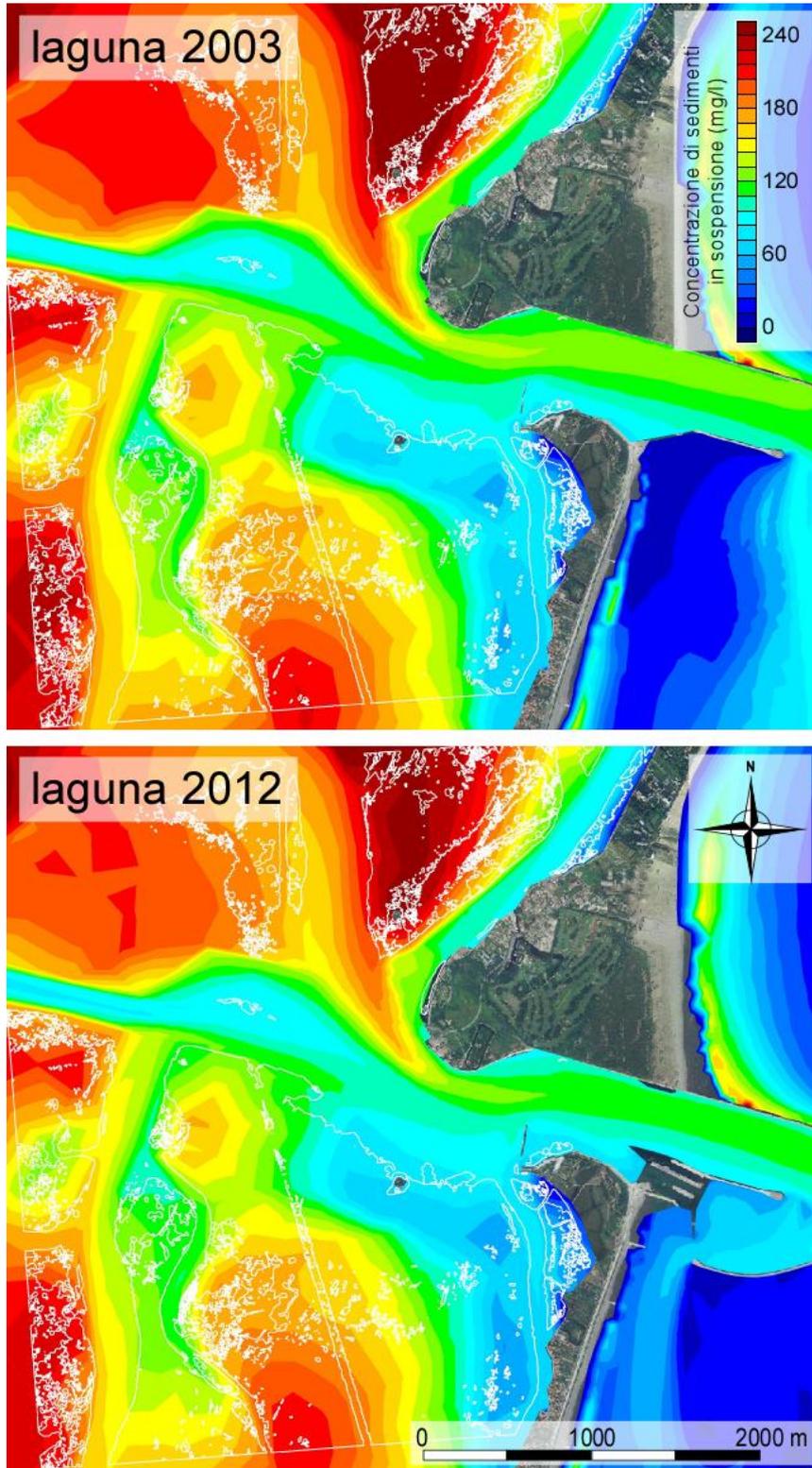


Figura 63 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuppi delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di flusso alla bocca di Malamocco indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

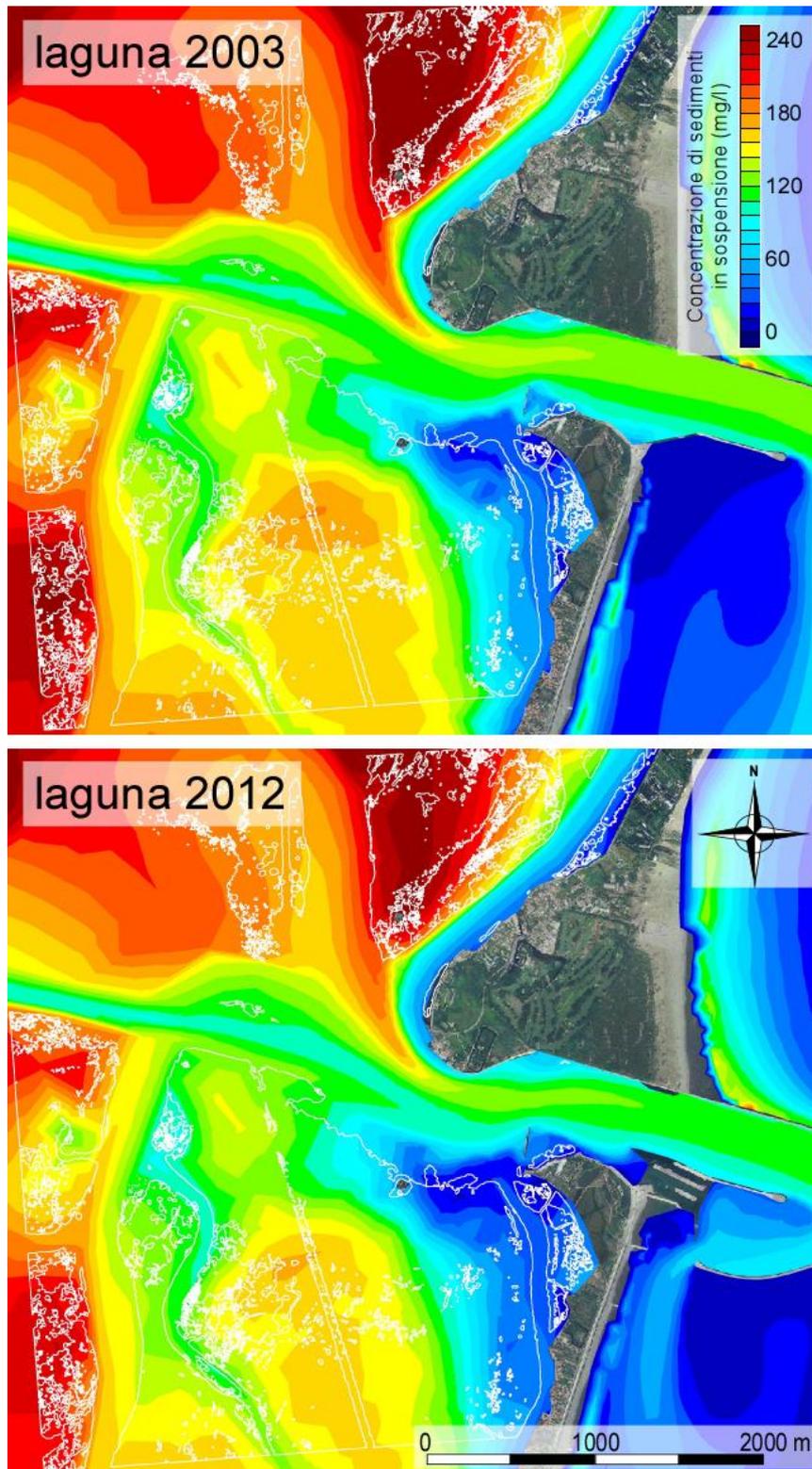


Figura 64 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di riflusso alla bocca di Malamocco indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla 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

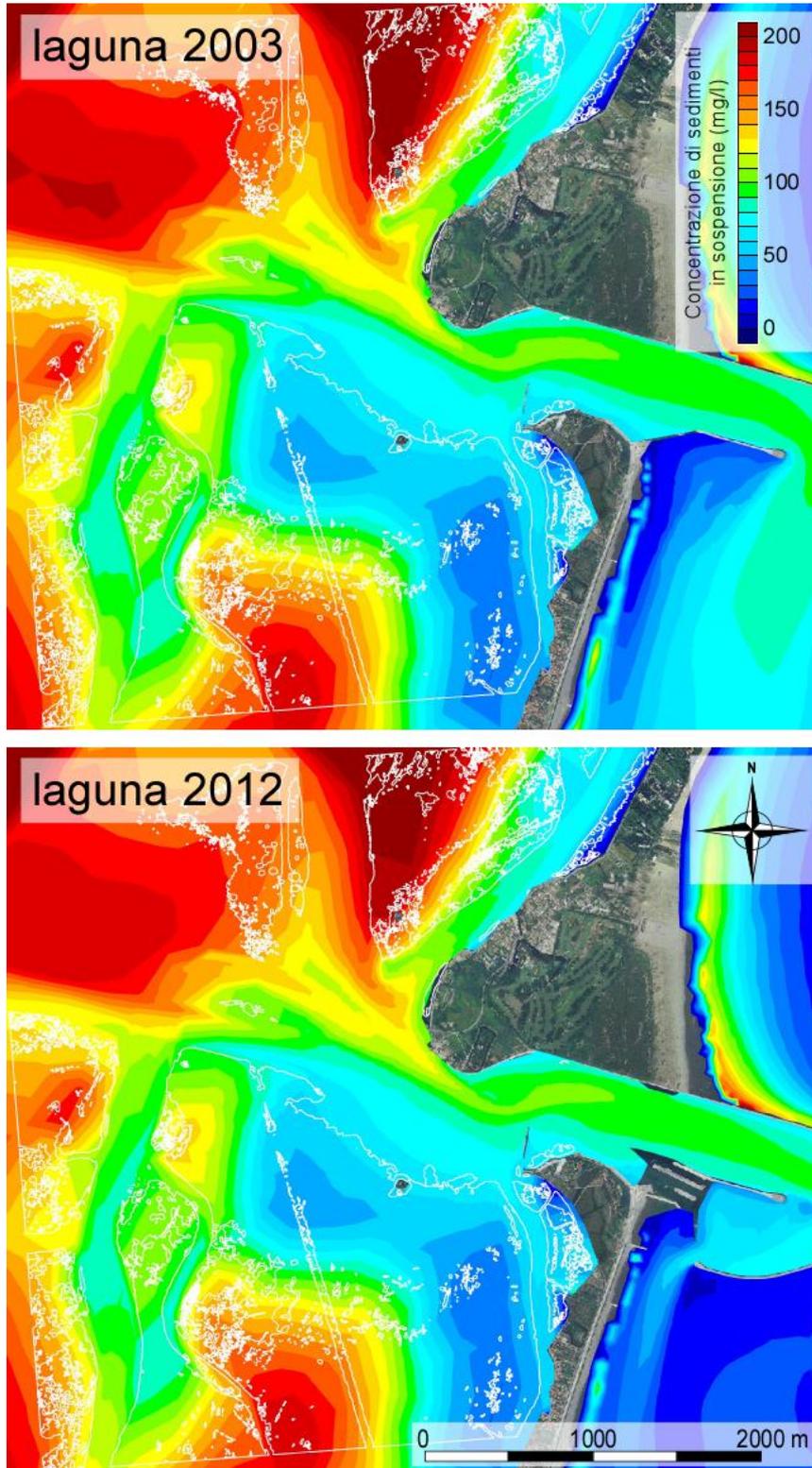


Figura 65 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involucri delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di flusso alla bocca di Malamocco indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

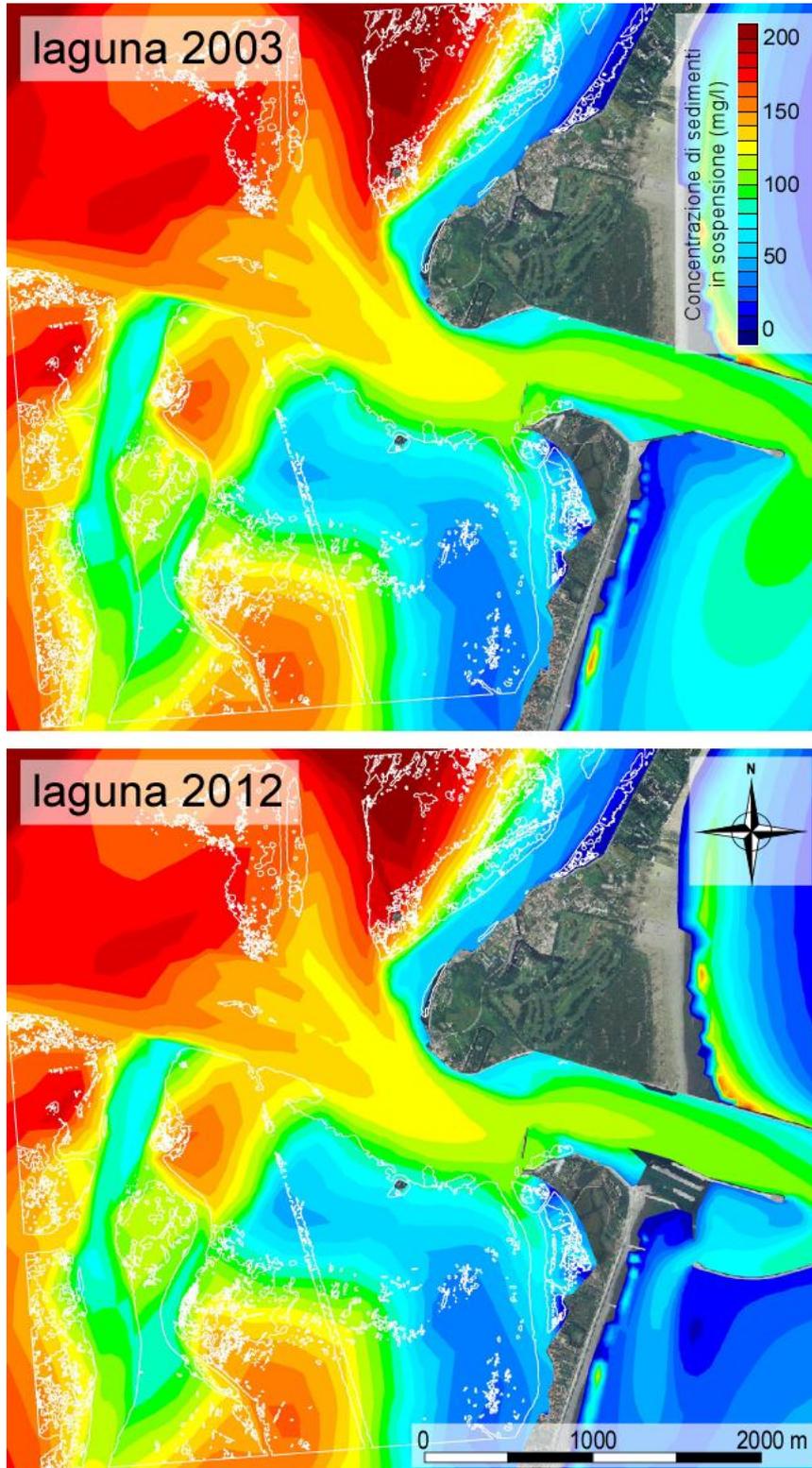


Figura 66 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involucri delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione in condizioni di riflusso alla bocca di Malamocco indotte dall'effetto combinato di correnti e moto ondoso per le configurazioni precedente (laguna2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

## 7 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 Lido e Malamocco.

Per quanto riguarda la bocca di Lido, ad eccezione di alcune discrepanze sull'entità delle velocità misurate rispetto a quelle calcolate con il modello in corrispondenza del bassofondo, riconducibili, in buona sostanza, alle incertezze legate alla batimetria utilizzata per quotare il reticolo di calcolo nell'area in esame, i confronti relativi alle portate lungo il canale S. Nicolò e all'oscillazione dei livelli in punti diversi del bacino di Lido risultano molto soddisfacenti.

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 bassofondi presentano qualche discrepanza, riconducibile, anche in questo caso, alle incertezze legate alla batimetria utilizzata per quotare il reticolo di calcolo nell'area oggetto dei rilievi.

Un'ulteriore verifica del campo di moto idrodinamico riprodotto mediante il modello bidimensionale è stata condotta attraverso l'applicazione di un modello lagrangiano sviluppato dal Dipartimento ICEA. Il modello lagrangiano ha permesso di riprodurre le traiettorie percorribili dalle droghe lagrangiane rilasciate in prossimità dei bassofondi durante le campagne di misura svolte fino ad ora. In particolare, un primo confronto è stato svolto confrontando i risultati del calcolo con i dati raccolti nel corso della campagna di misure del 22 dicembre 2011 (Studio B.6.72 B/7), mentre altri confronti hanno interessato le droghe lagrangiane rilasciate nel corso delle tre campagne di misura realizzate nel presente anno di attività. Tutti i confronti realizzati tra le traiettorie calcolate con il modello lagrangiano e i percorsi effettivamente seguiti dalle droghe hanno evidenziato un accordo più che soddisfacente, ad ulteriore dimostrazione della capacità del modello bidimensionale di riprodurre correttamente il campo di moto idrodinamico in prossimità dei bassofondi.

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, con particolare riferimento alle bocche di Lido e Malamocco.

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 fase di sizigia e l'altra in fase 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 dei bacini dominati dalle bocche di Lido e di Malamocco nelle due configurazioni *ante* e *post operam*, sia in fase di sizigia sia in fase di quadratura.

Il confronto tra le portate calcolate con il modello in condizioni di sizigia evidenzia un incremento delle portate uscenti dalla bocca lungo il canale S. Nicolò e un incremento generalizzato delle velocità massime in fase di riflusso lungo il canale. Tale incremento, dell'ordine dei 40-50 cm/s, ma

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

che raggiunge localmente valori massimi di 80 cm/s, arriva a lambire le praterie lungo i margini dei bassofondi che si affacciano sul canale S. Nicolò. La prateria situata dietro l'isola artificiale sperimenta un aumento generalizzato delle velocità, osservabile sia in fase di riflusso che in fase di flusso, su tutta la porzione più vicina al canale S. Nicolò, con picchi di intensità che si localizzano sul margine più vicino all'isola di circa 20 cm/s. La porzione di prateria più vicina al canale Treporti, invece, risulta più protetta rispetto al 2003. Su di essa, infatti, la velocità riduce la propria intensità durante la fase di flusso, per poi mantenersi pressoché invariata durante la fase di riflusso della marea.

In condizioni di quadratura la portata totale scambiata dalla bocca di Lido con il mare non presenta variazioni di rilievo. In questa condizione, tuttavia, parte della portata fluente all'interno del canale Treporti viene richiamata verso il canale S. Nicolò attraverso il canale artificiale scavato a ridosso dell'isola artificiale, producendo un incremento delle velocità pari mediamente a 30-50 cm/s lungo tutto il margine della prateria che segue dapprima il canale artificiale stesso e poi il canale S. Nicolò. Fatta eccezione per un modesto incremento di velocità (10 cm/s) lungo il margine della prateria situata in prossimità del forte S. Andrea, in condizioni di quadratura non si evidenziano ulteriori variazioni di rilievo delle velocità in prossimità delle praterie a fanerogame.

Analogamente a quanto rilevato per i campi di velocità, in condizioni di sizigia si osserva un apprezzabile incremento degli sforzi tangenziali al fondo lungo i margini delle praterie delimitanti il canale S. Nicolò. In condizioni di quadratura, invece, incrementi apprezzabili degli sforzi tangenziali si osservano lungo il nuovo canale scavato alle spalle dell'isola artificiale e in prossimità dei margini della prateria che lambiscono il canale.

I risultati del calcolo evidenziano, invece, una apprezzabile riduzione della portata massima fluente attraverso la bocca di Malamocco, di entità maggiore in condizioni di sizigia, in seguito alla costruzione delle opere di difesa delle acque alte. La costruzione delle opere, infatti, ha prodotto un immediato restringimento della sezione su fondali equivalenti a quelli del 2003, comportando, nel breve periodo, una riduzione della portata scambiata dalla bocca con il mare. Tale riduzione, di entità maggiore nella fase di riflusso della marea, trova riscontro anche nella apprezzabile riduzione delle velocità (15-20 cm/s) che caratterizza il canale principale di bocca.

L'analisi dei campi di velocità massima alla bocca di Malamocco evidenzia, in prossimità delle praterie a fanerogame, solo qualche riduzione localizzata delle velocità di modesta entità rispetto alla configurazione *ante operam*. L'unica eccezione è rappresentata dalla prateria situata a ridosso della Palada delle Ceppe, dove, in prossimità del margine orientale, si evidenziano apprezzabili incrementi delle velocità massime soprattutto in condizioni di sizigia (25-30 cm/s). Differenze di qualche rilievo sulla distribuzione planimetrica degli sforzi tangenziali si osservano sostanzialmente lungo il canale principale in prossimità della bocca, dove si verificano riduzioni di circa 1-2 Pa rispetto alla configurazione *ante operam*.

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 delle concentrazioni massime di sedimenti in sospensione condotto in prossimità alla bocca di Lido non emergono differenze sostanziali, con riferimento sia alla marea di sizigia sia alla marea di quadratura. L'unica eccezione è costituita dalla prateria collocata dietro l'isola artificiale che, risultando protetta dall'isola stessa, esibisce una riduzione generalizzata dei fenomeni di risospensione dei sedimenti rispetto al 2003.

In prossimità della bocca di Malamocco, invece, le differenze tra le concentrazioni di sedimenti in sospensione sono diverse nel caso si consideri una marea di sizigia o una marea di quadratura. In particolare, in condizioni di sizigia si osserva una riduzione generalizzata, seppur contenuta, delle concentrazioni in corrispondenza dell'intera area occupata dalle praterie a fanerogame, mentre, in

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

condizioni di quadratura, si osservano riduzioni localizzate delle concentrazioni di modesta entità per le praterie situate a nord della bocca e nessuna variazione di rilievo per le praterie situate a sud della bocca.

## 8 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
- 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. 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 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 alle bocche di Lido e Malamocco 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 44).

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.

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

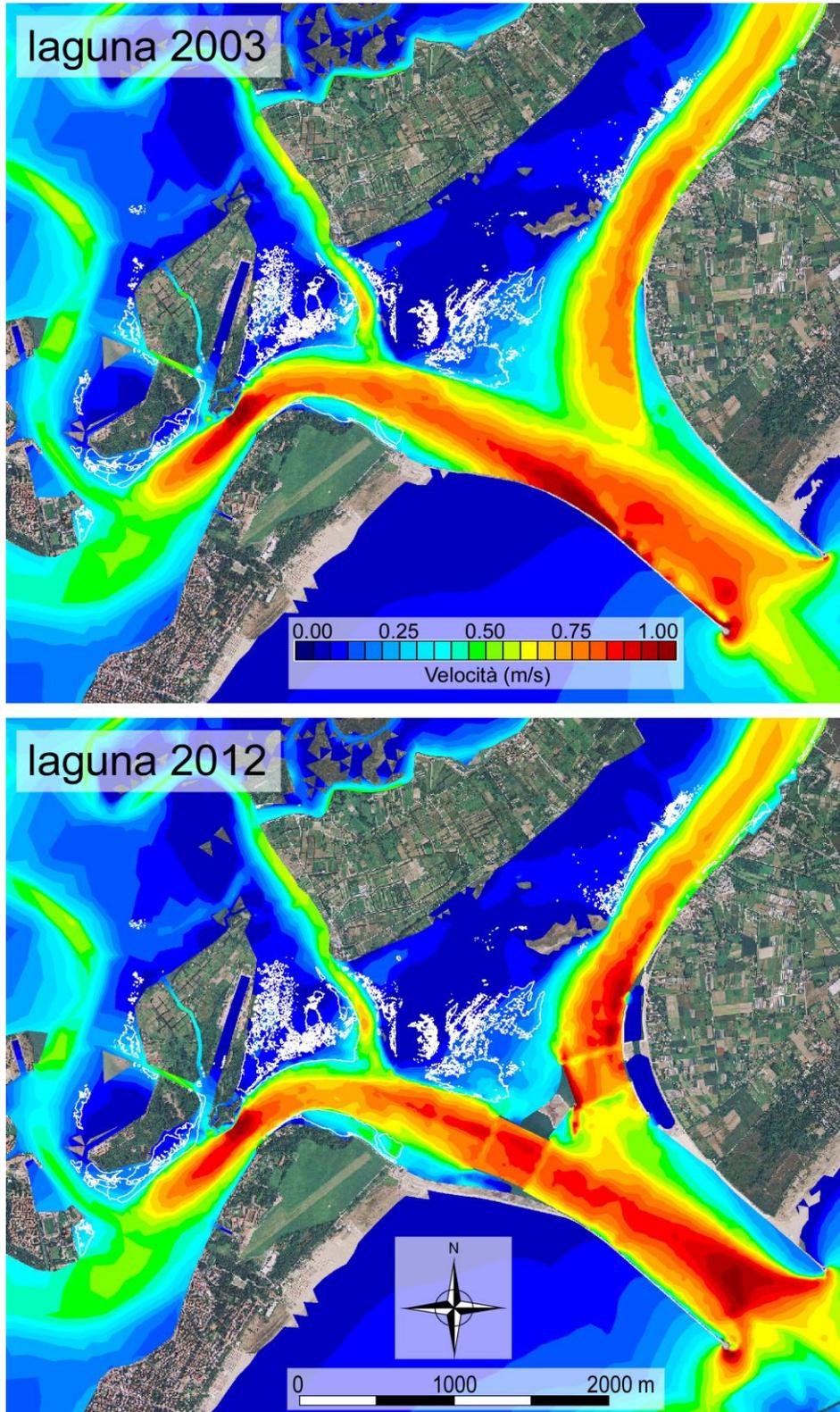


Figura 67 – Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi delle velocità massime in fase di flusso alla bocca di Lido calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

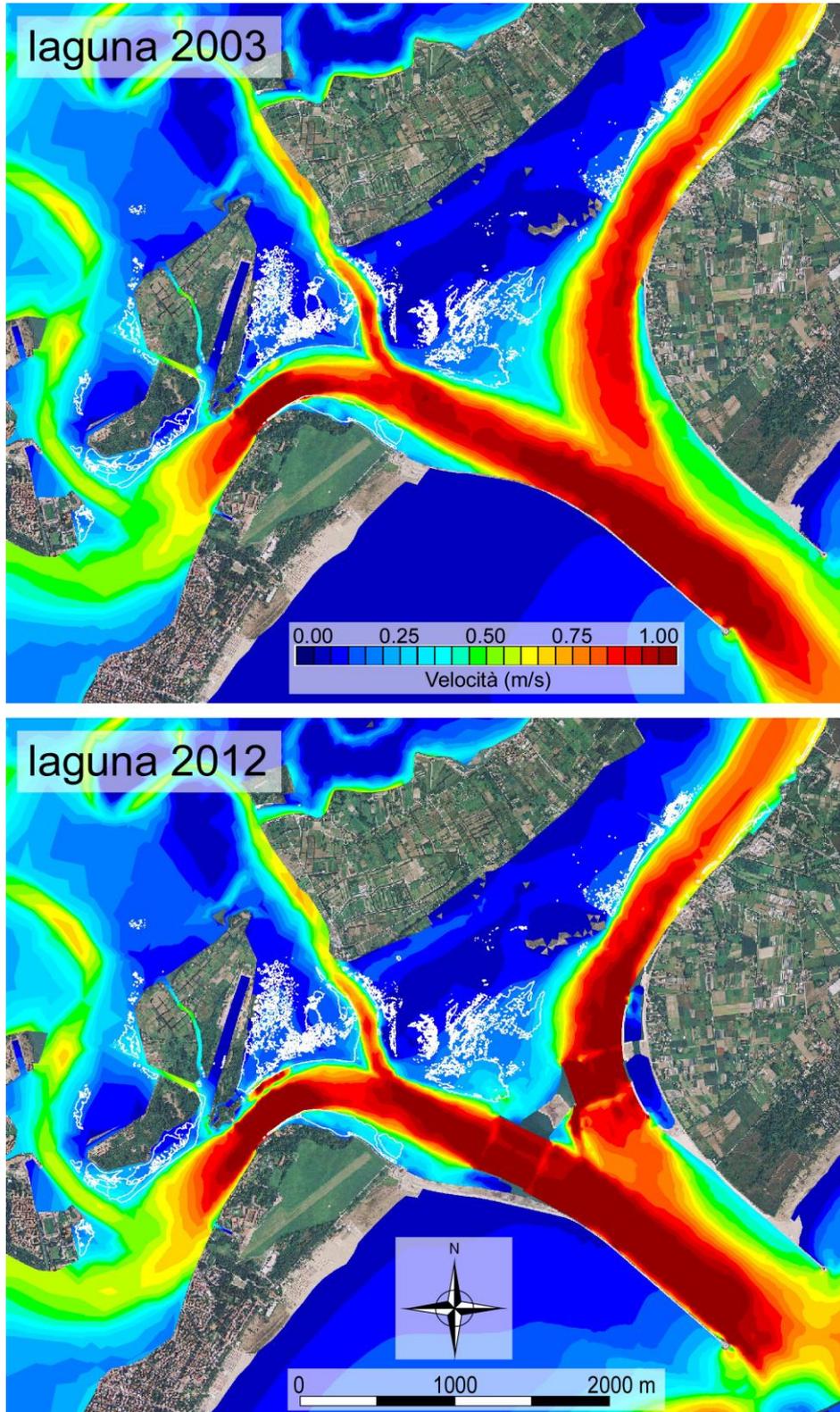


Figura 68 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi delle velocità massime in fase di riflusso alla bocca di Lido calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

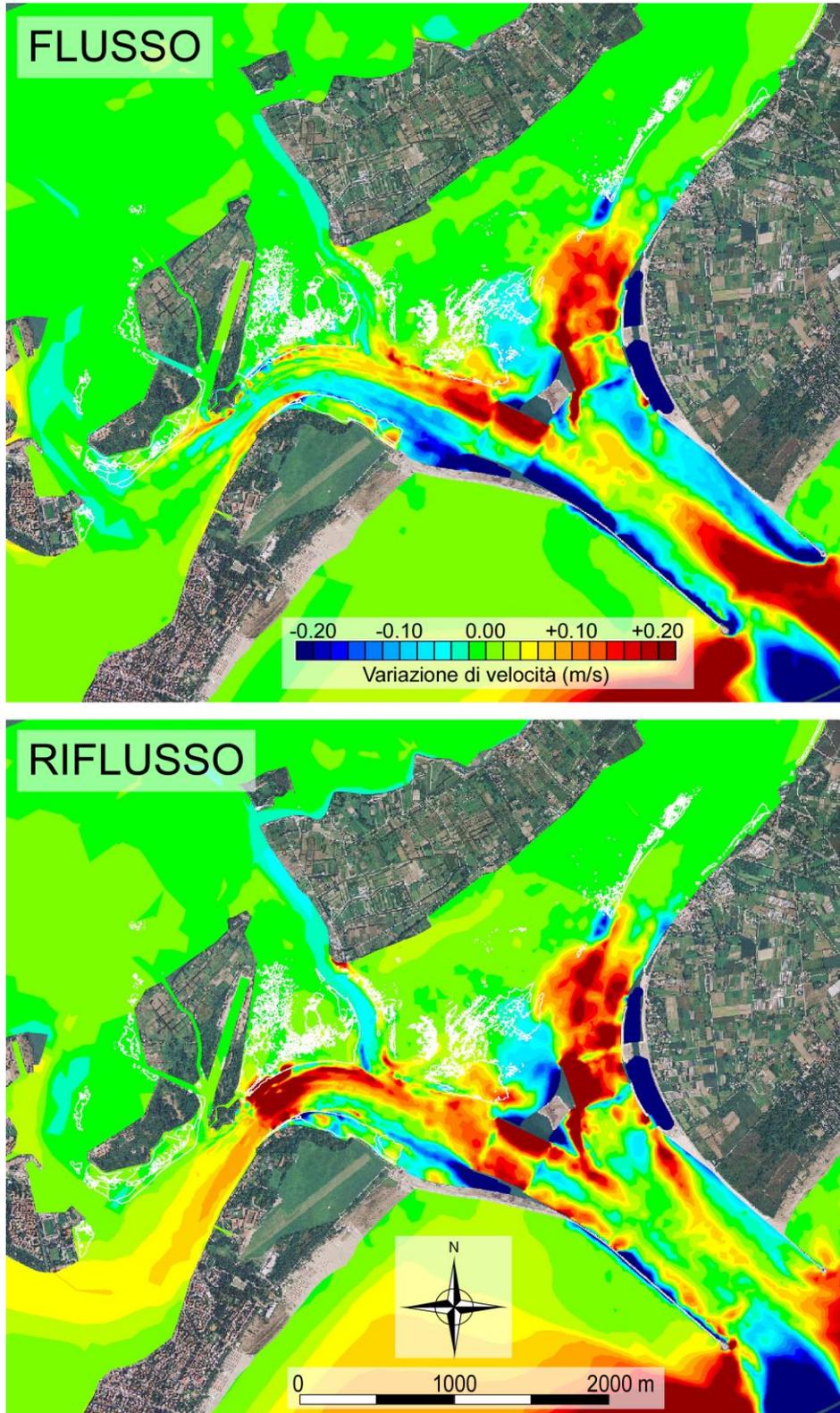


Figura 69 – Marea di sizigia. Variazione delle velocità massime in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Lido calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

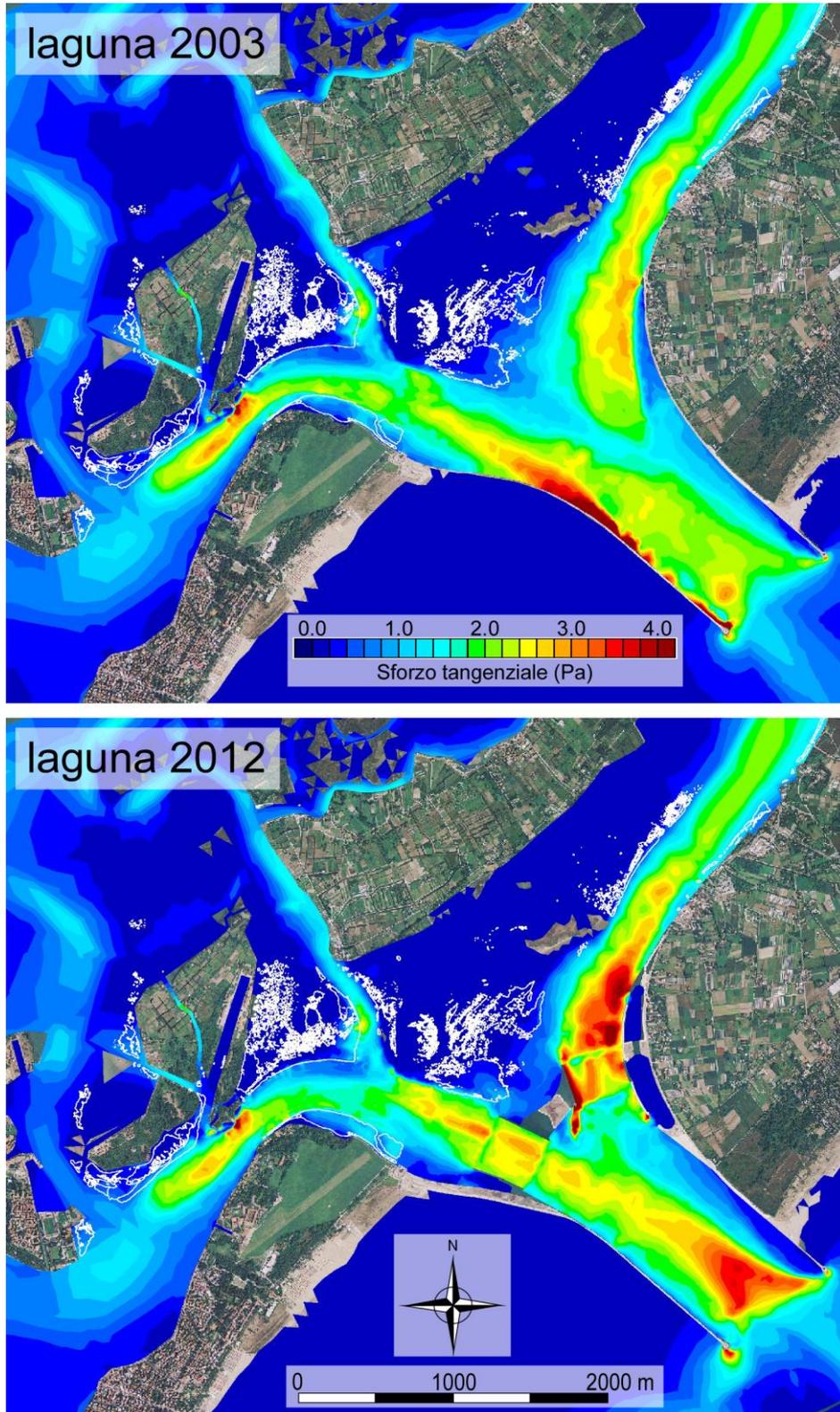


Figura 70 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di flusso alla bocca di Lido calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

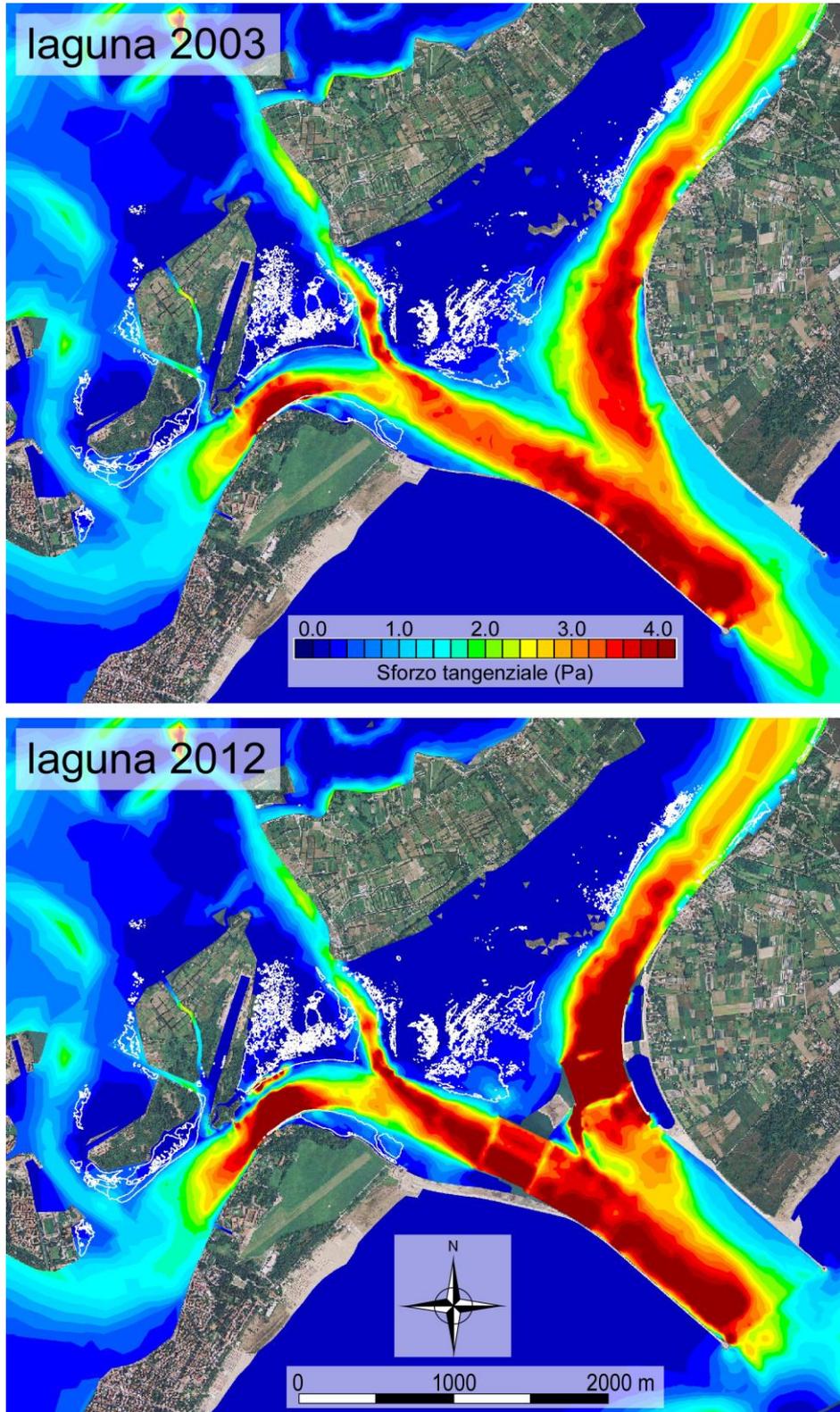


Figura 71 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involucri degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di riflusso alla bocca di Lido calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere alle bocche.

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

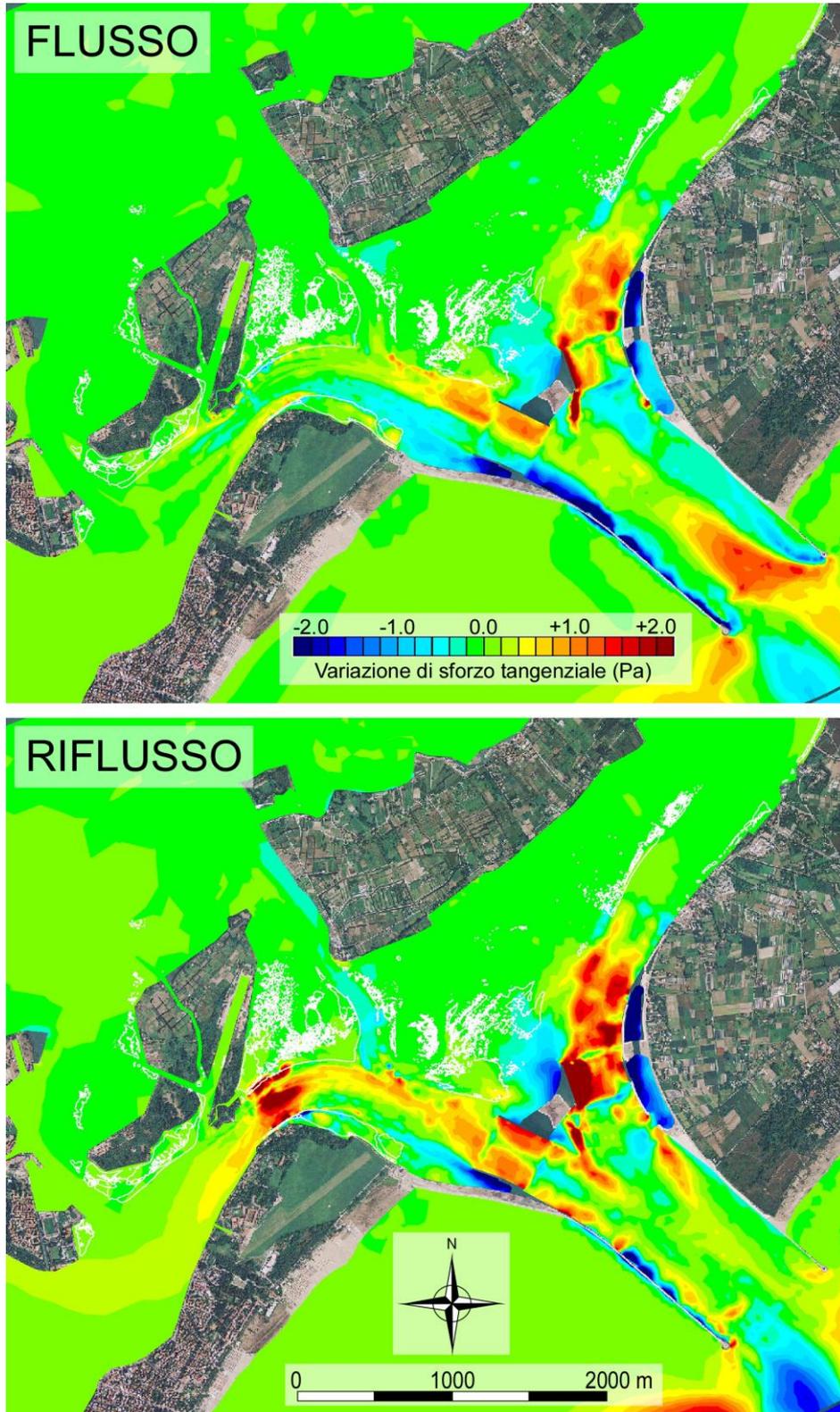


Figura 72 - Marea di sizigia. Variazione degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Lido calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

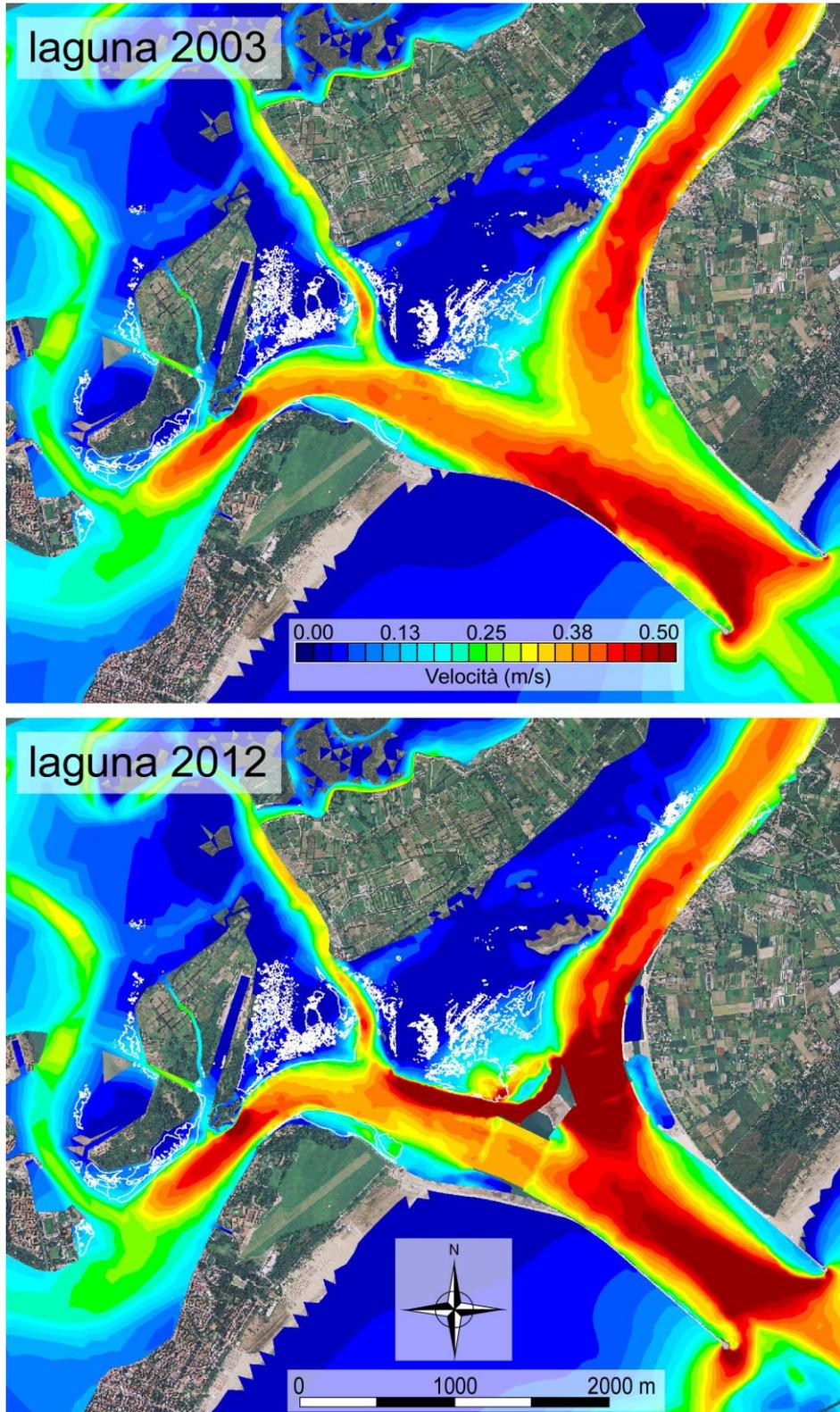


Figura 73 - Marea di quadratura. Confronto tra gli inviluppi delle velocità massime in fase di flusso alla bocca di Lido calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

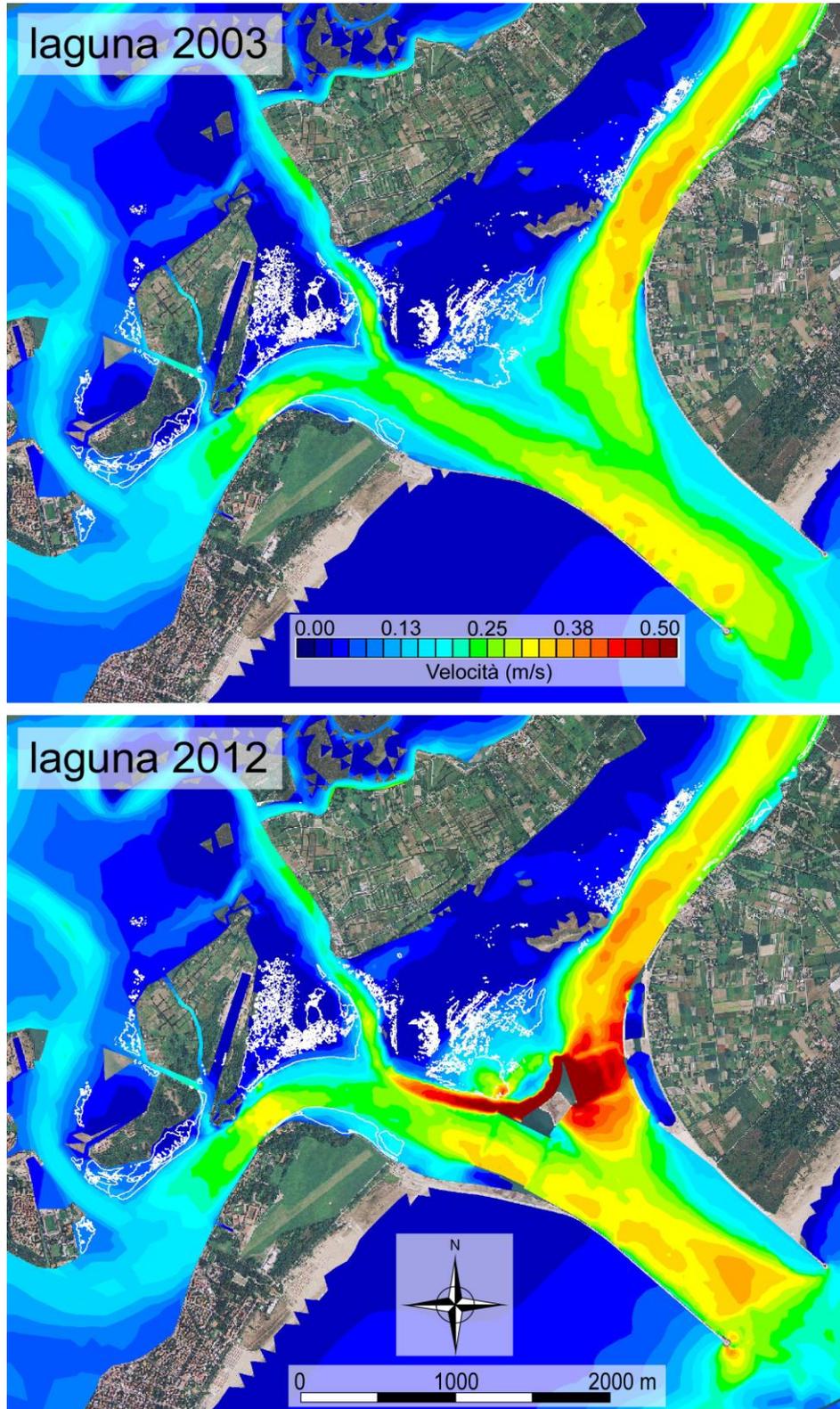


Figura 74 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involuipi delle velocità massime in fase di riflusso alla bocca di Lido calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

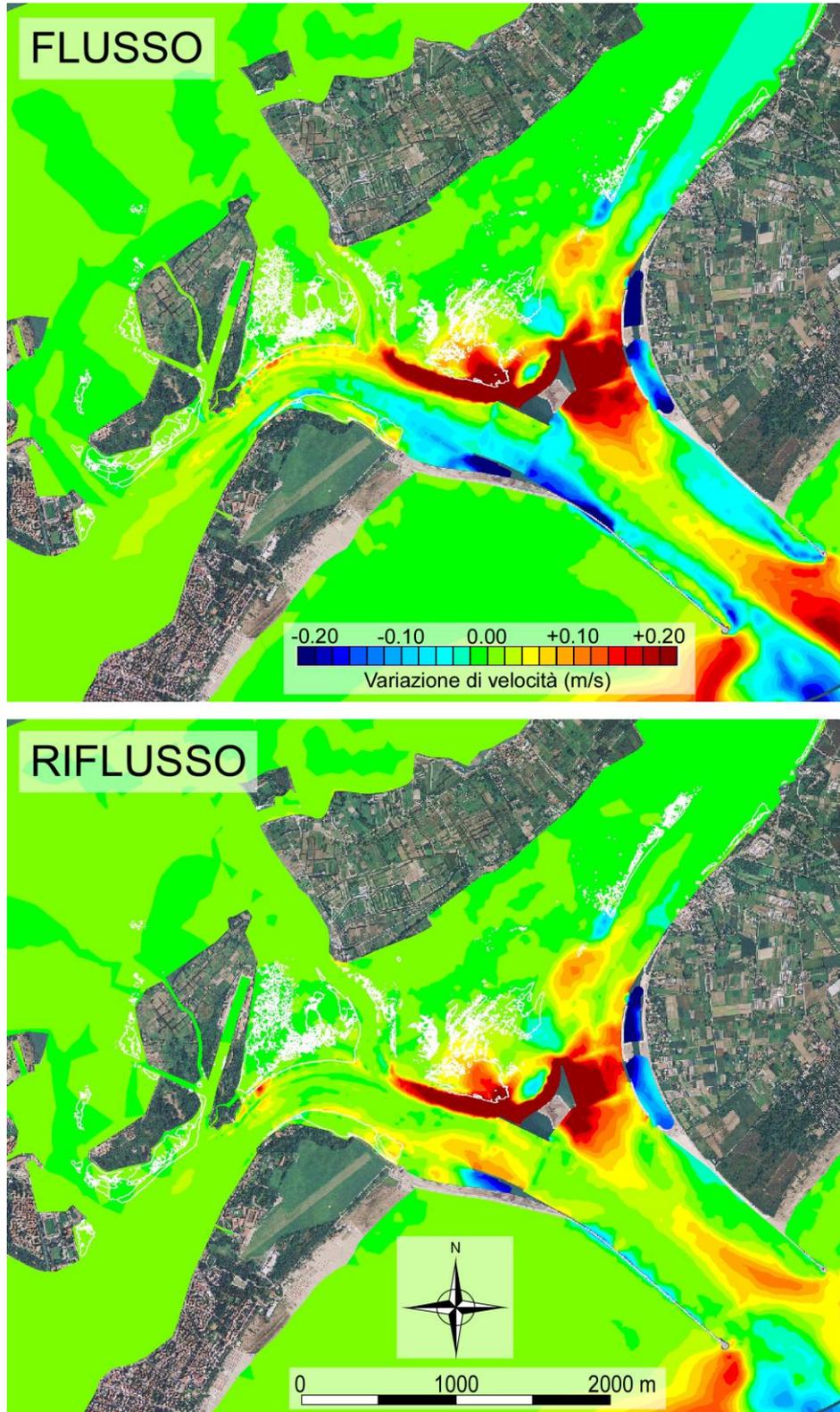


Figura 75 - Marea di quadratura. Variazione delle velocità massime in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Lido calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

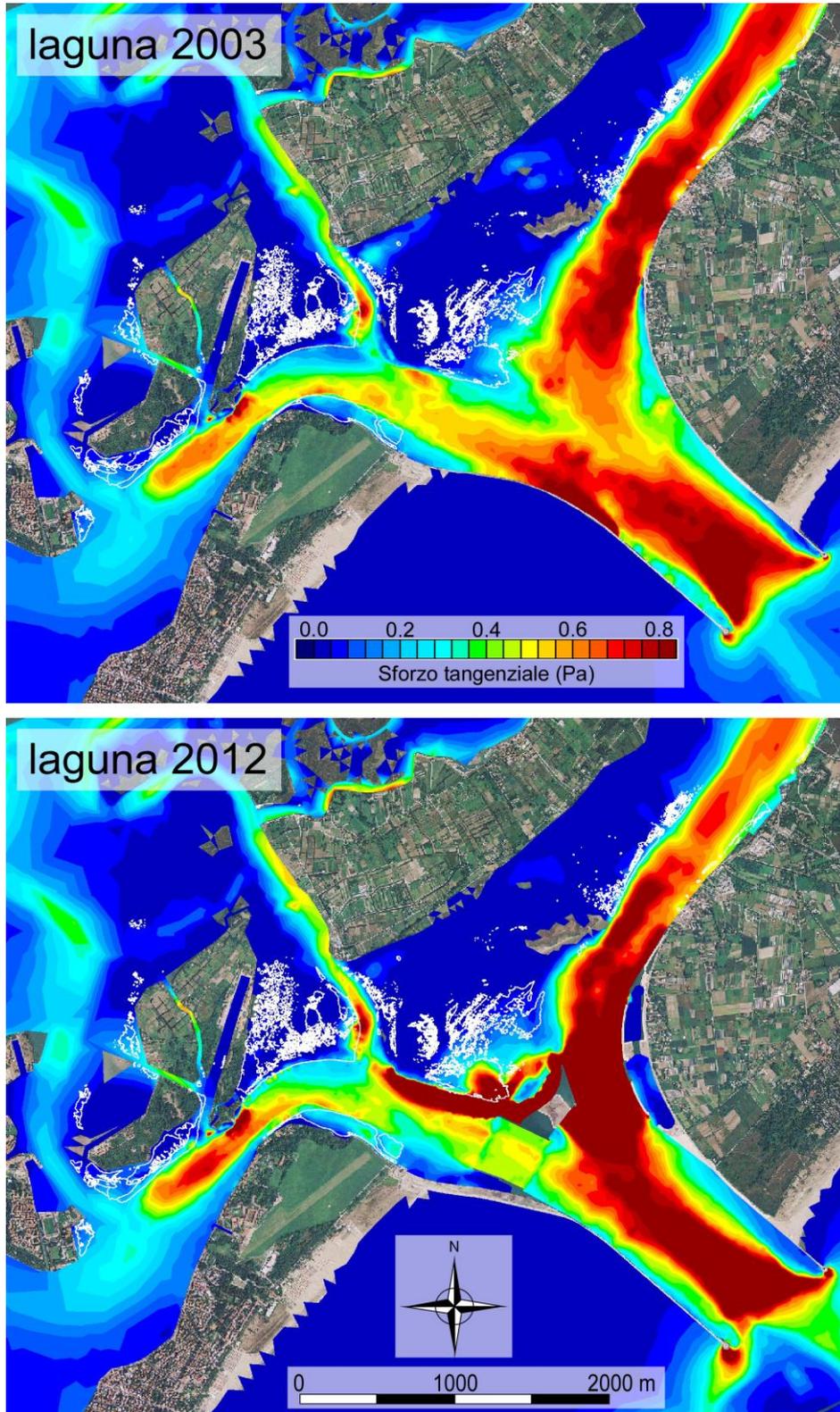


Figura 76 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involucri degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di flusso alla bocca di Lido calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

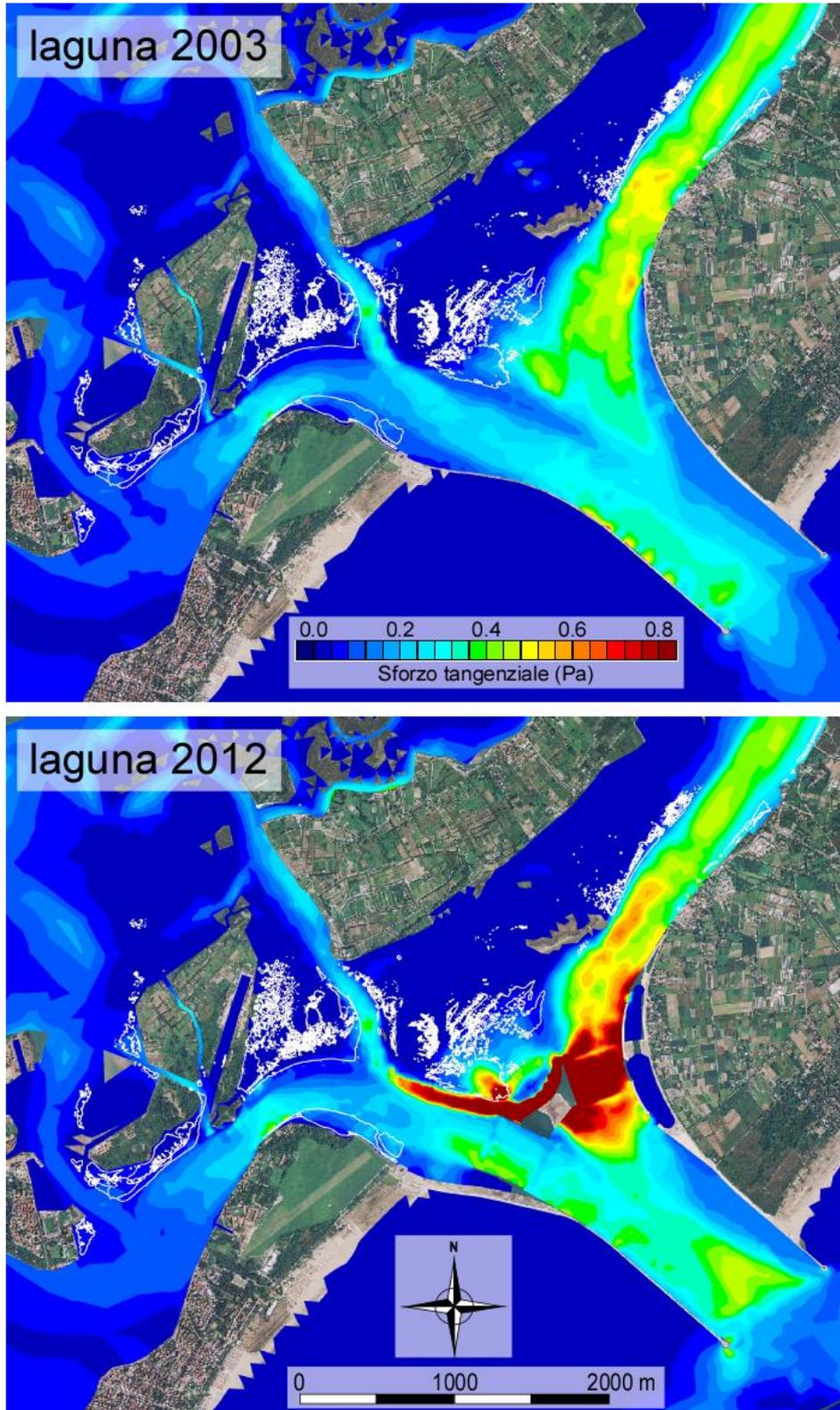


Figura 77 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involuipi degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di riflusso alla bocca di Lido calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

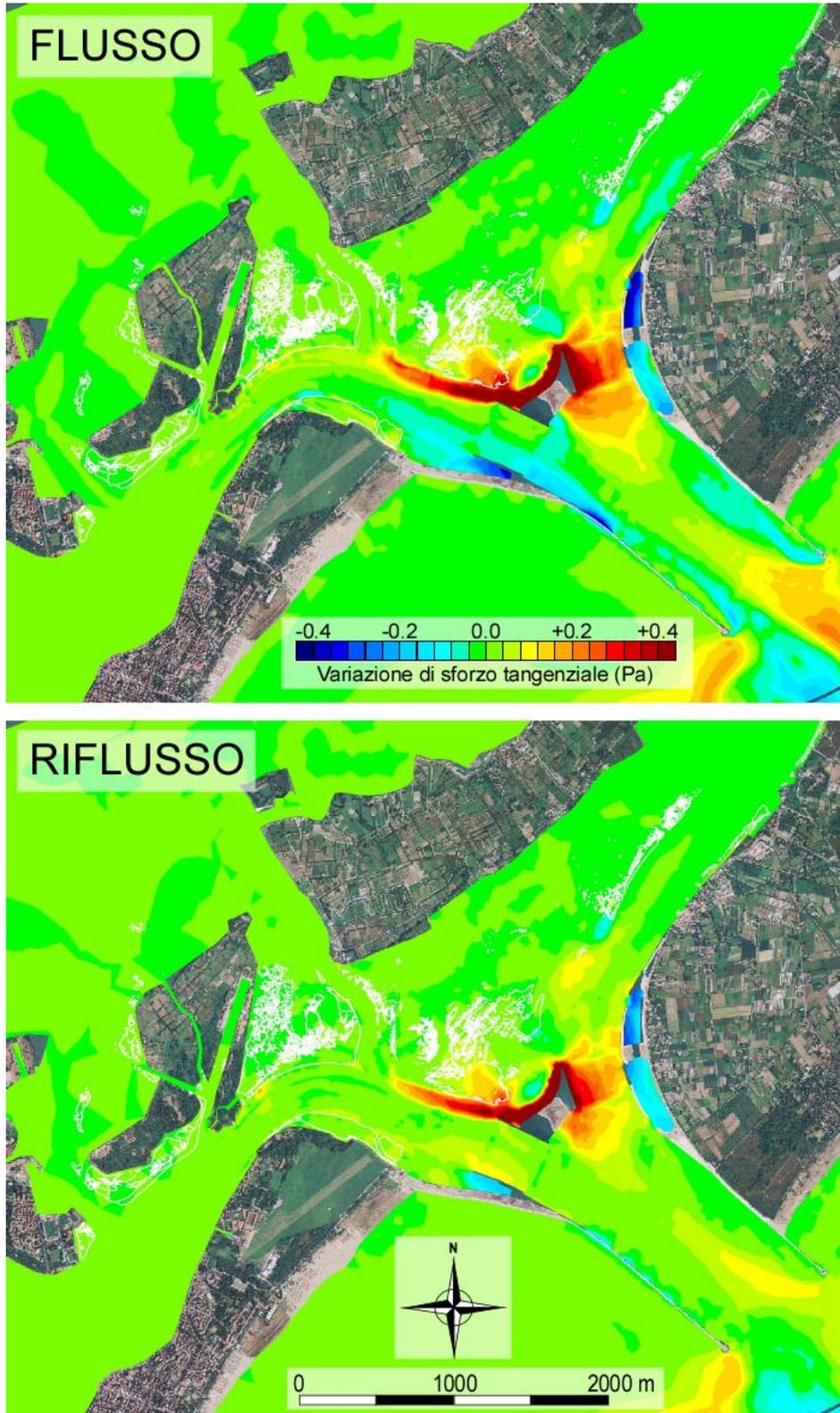


Figura 78 - Marea di quadratura. Variazione degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Lido calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

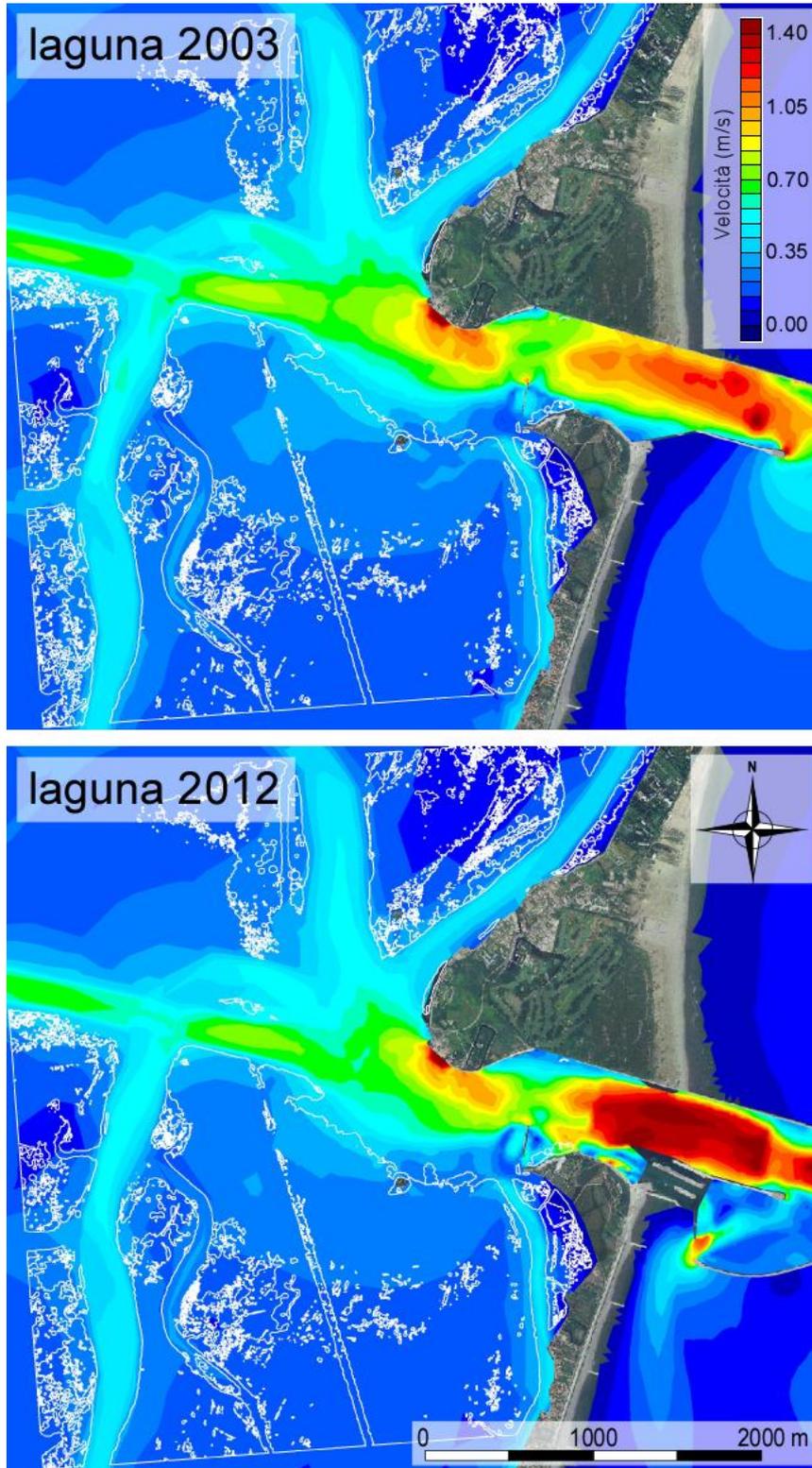


Figura 79 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involucri delle velocità massime in fase di flusso alla bocca di Malamocco calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

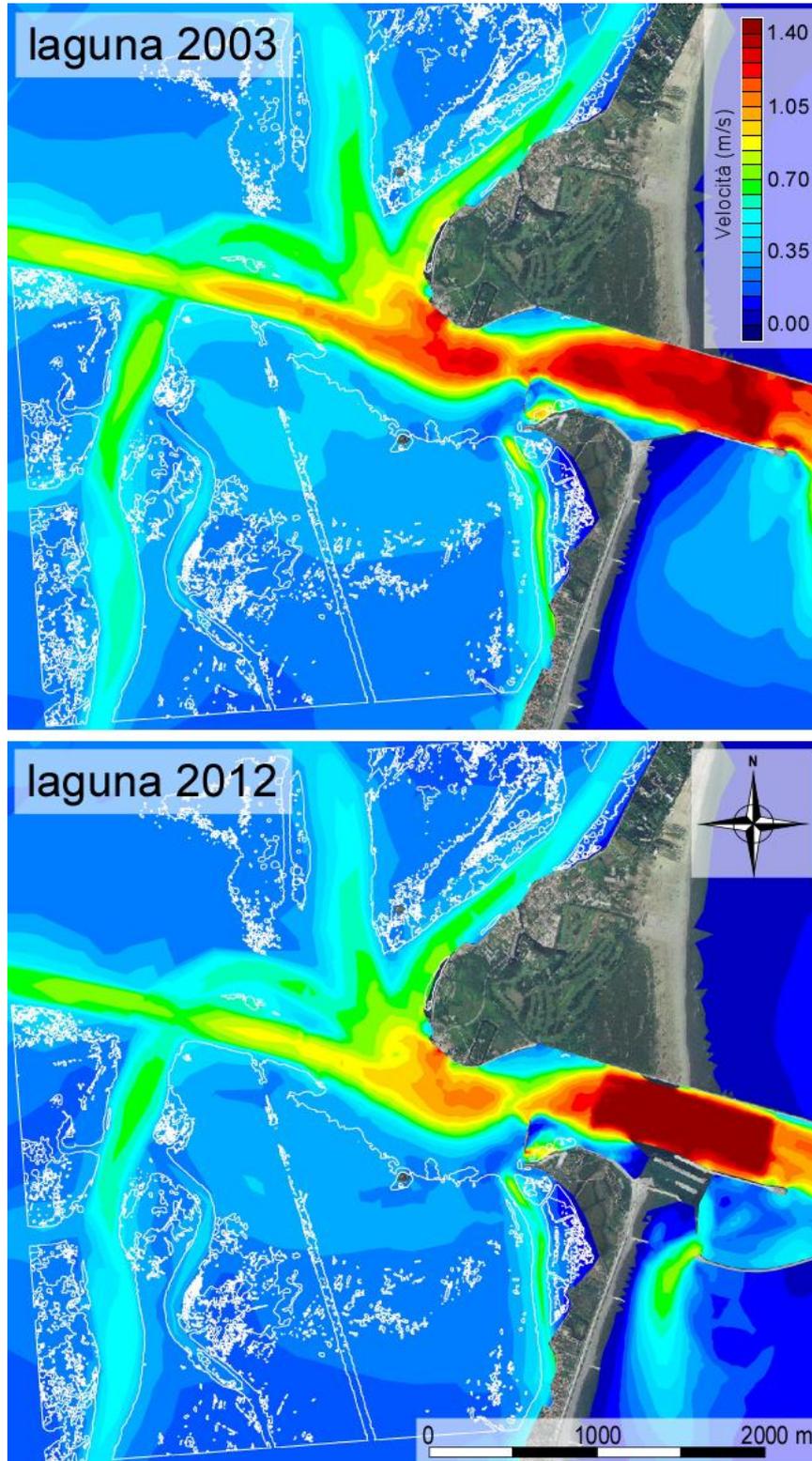


Figura 80 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi delle velocità massime in fase di riflusso alla bocca di Malamocco calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

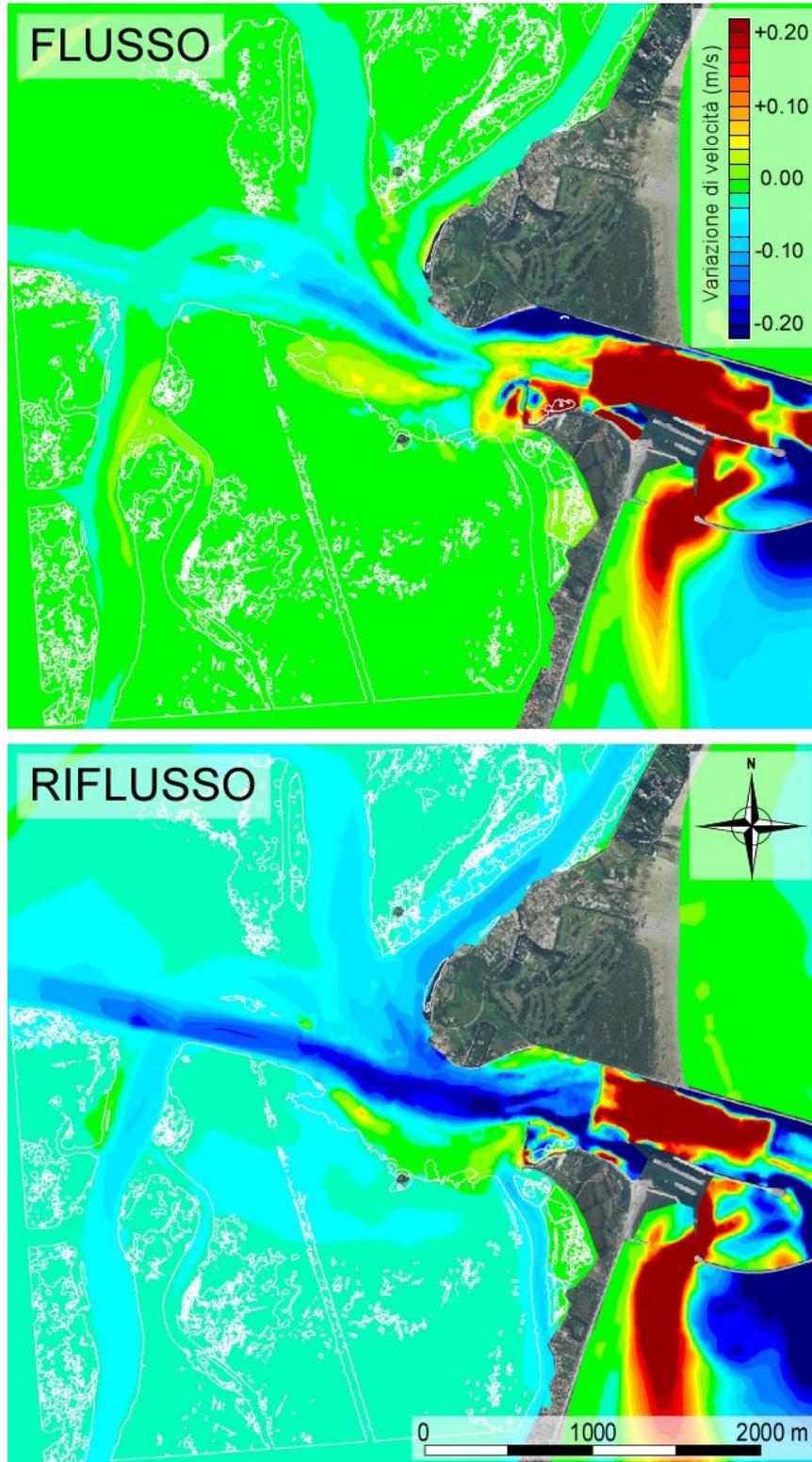


Figura 81 - Marea di sizigia. Variazione delle velocità massime in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Malamocco calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

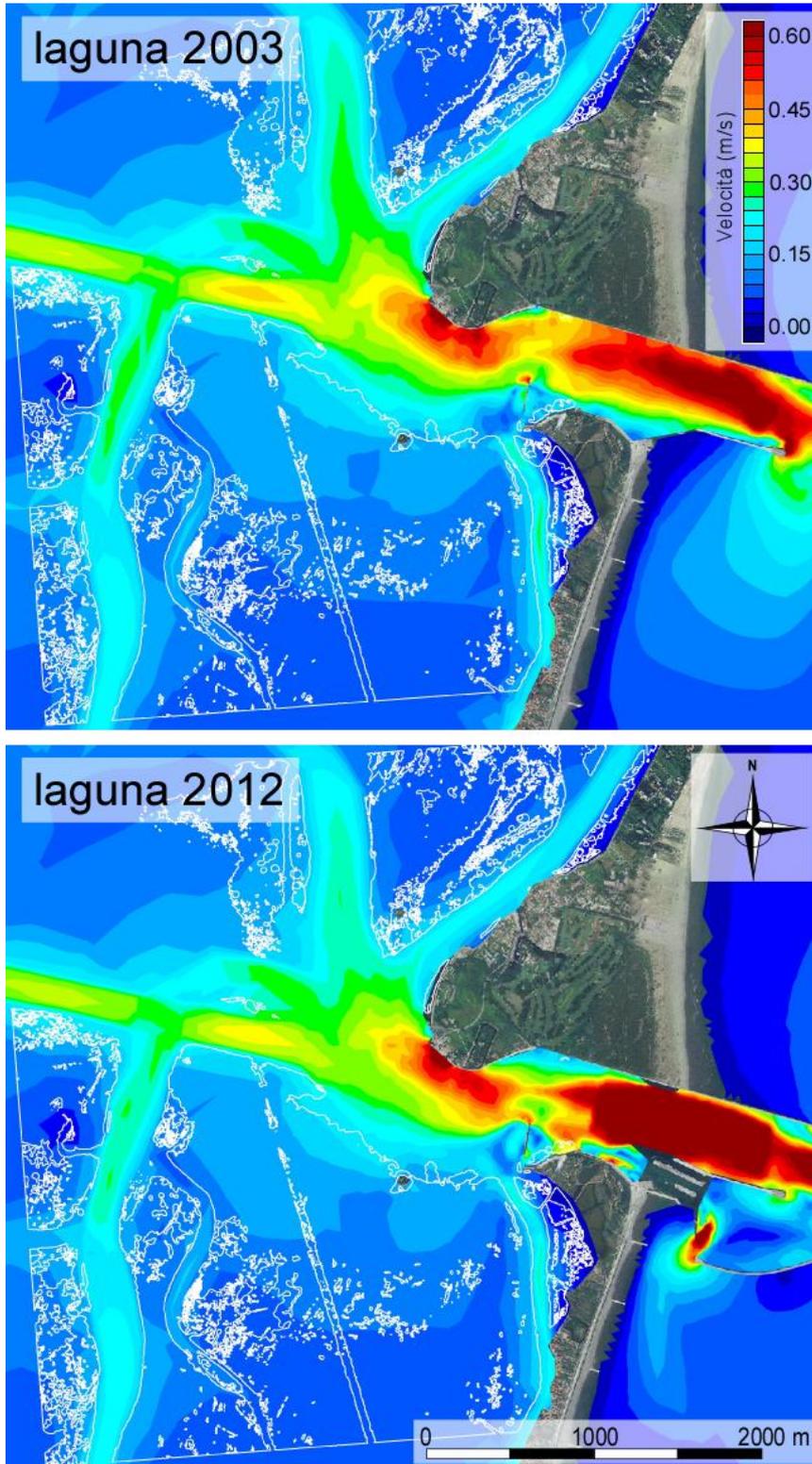


Figura 82 - Marea di quadratura. Confronto tra gli inviluppi delle velocità massime in fase di flusso alla bocca di Malamocco calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

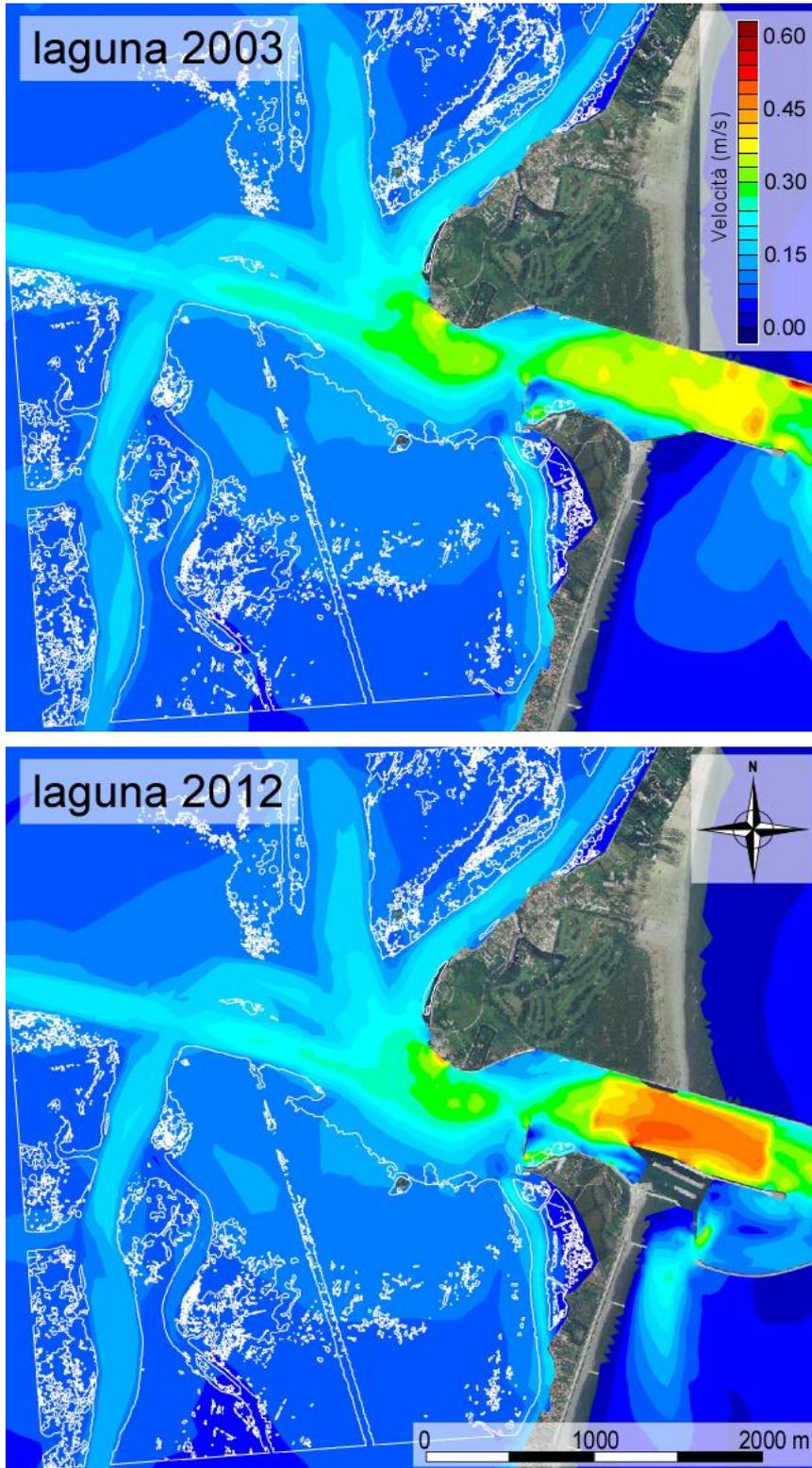


Figura 83 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involuipi delle velocità massime in fase di riflusso alla bocca di Malamocco calcolate con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

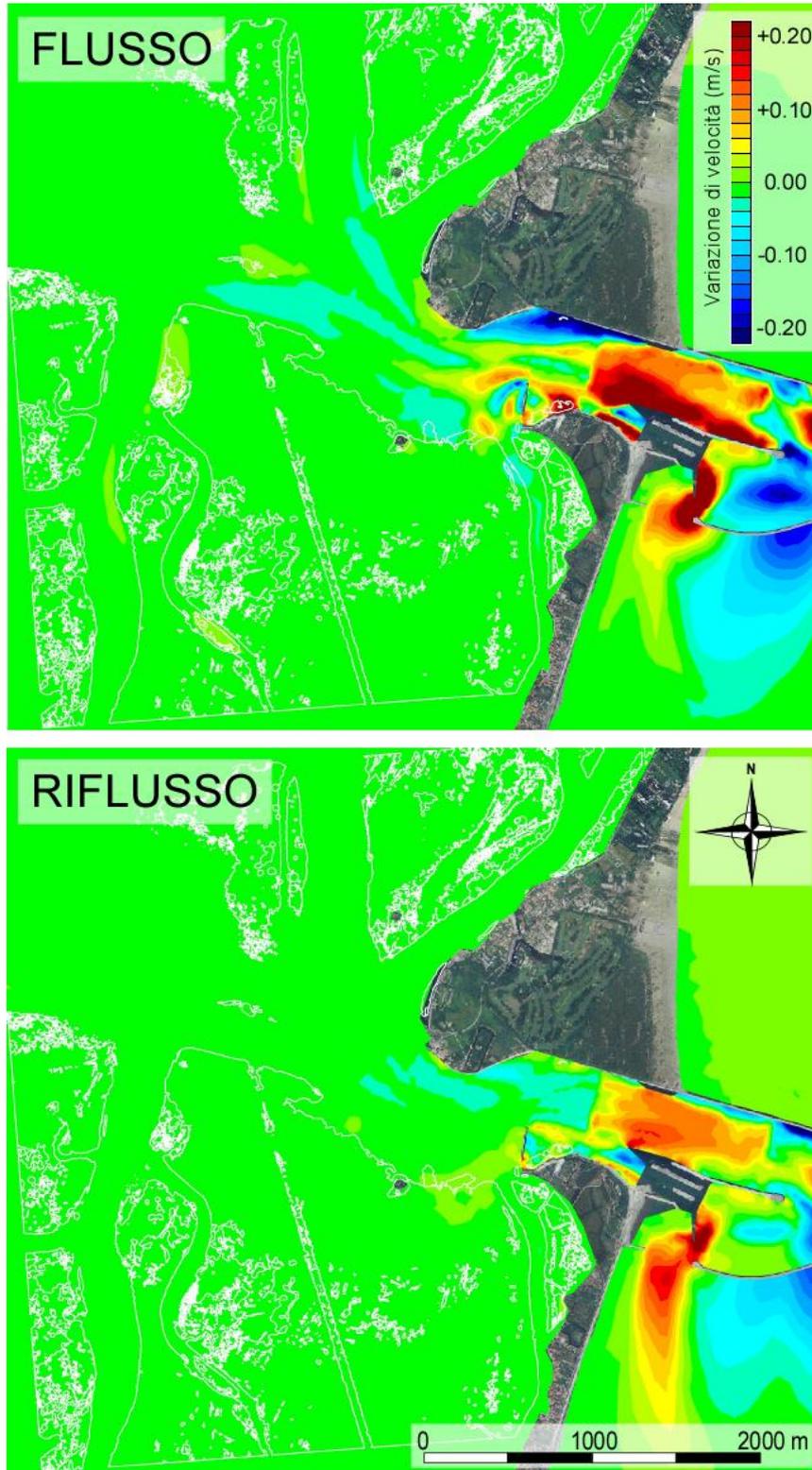


Figura 84 - Marea di quadratura. Variazione delle velocità massime in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Malamocco calcolate con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

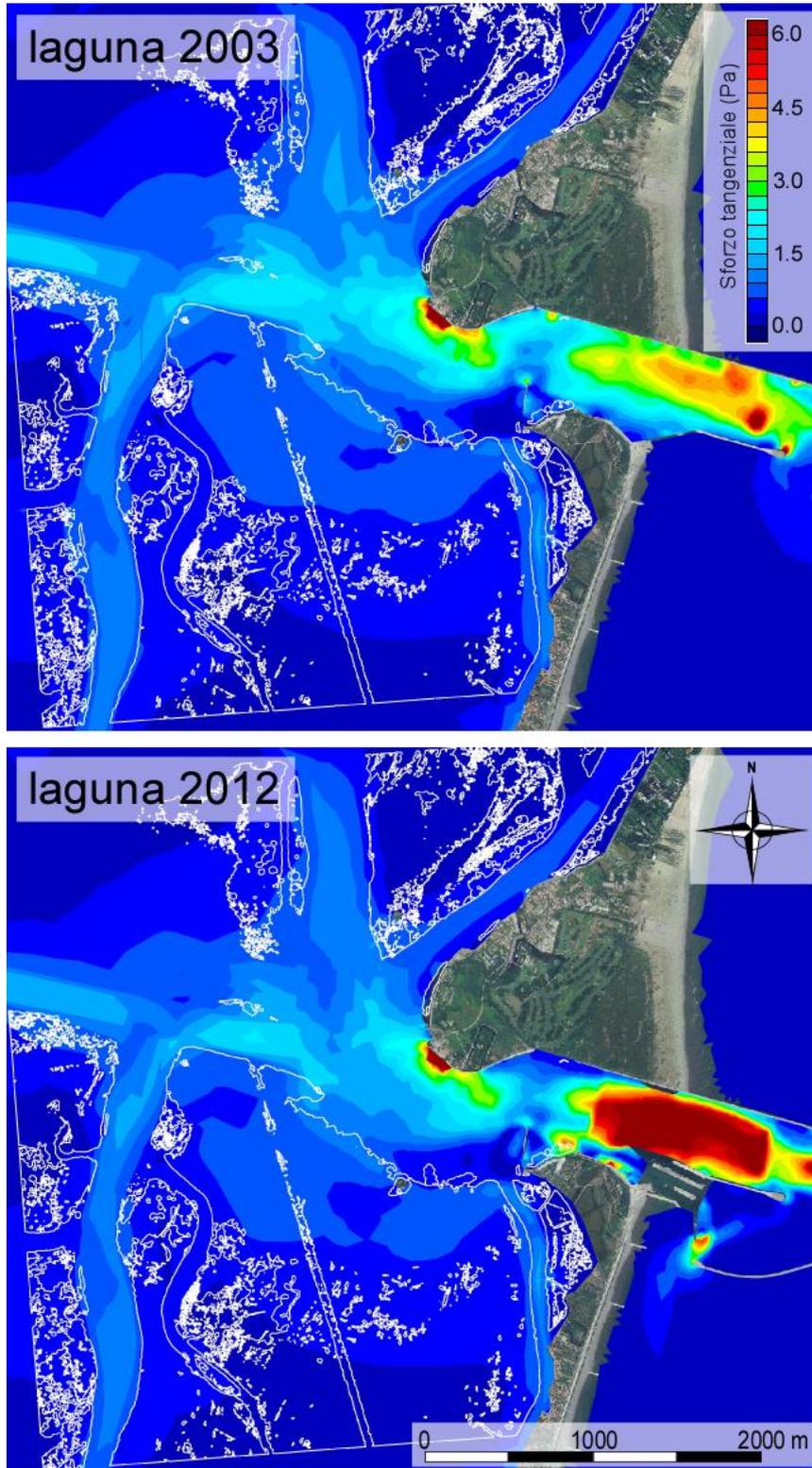


Figura 85 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di flusso alla bocca di Malamocco calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

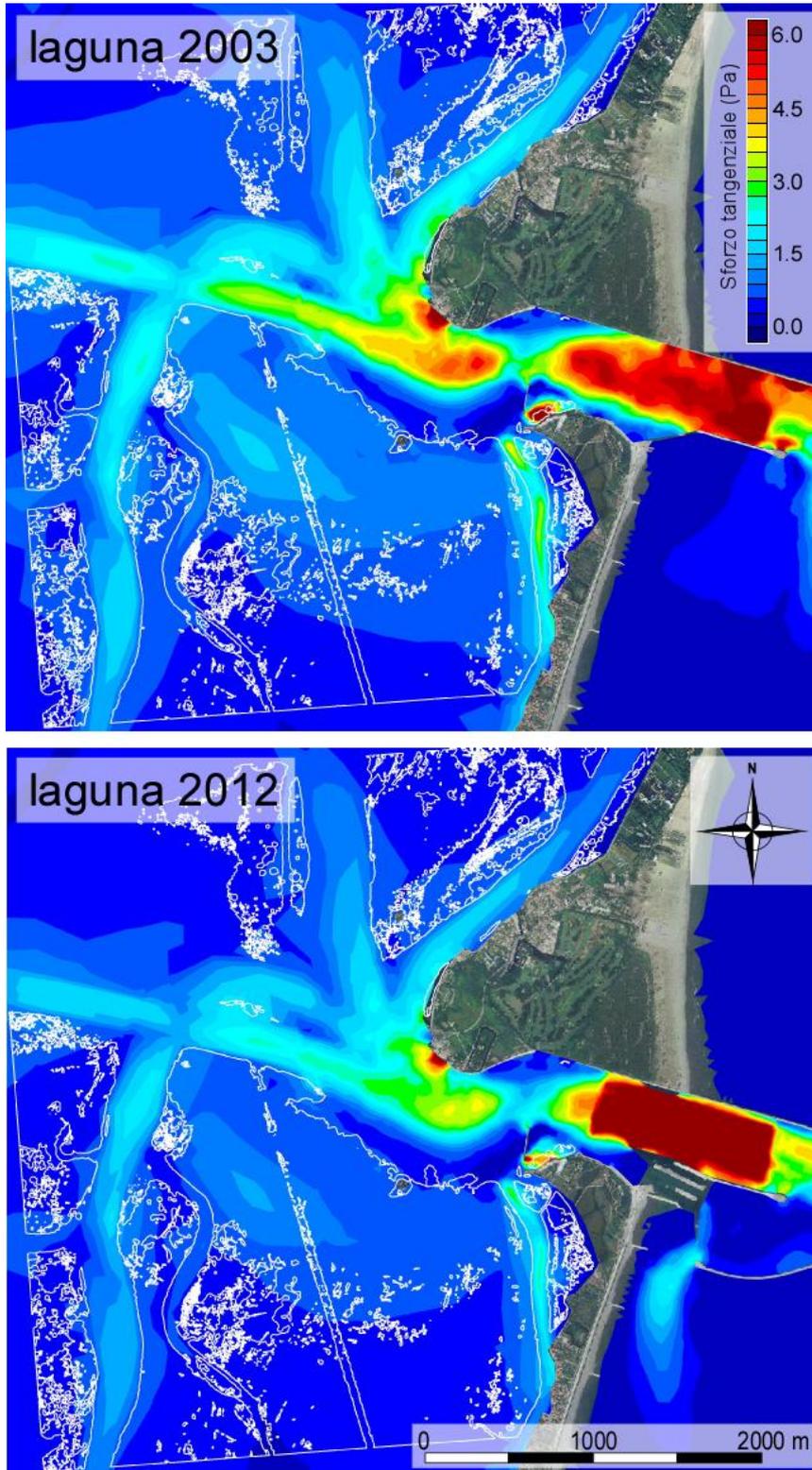


Figura 86 - Marea di sizigia. Confronto tra gli involuipi degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di riflusso alla bocca di Malamocco calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

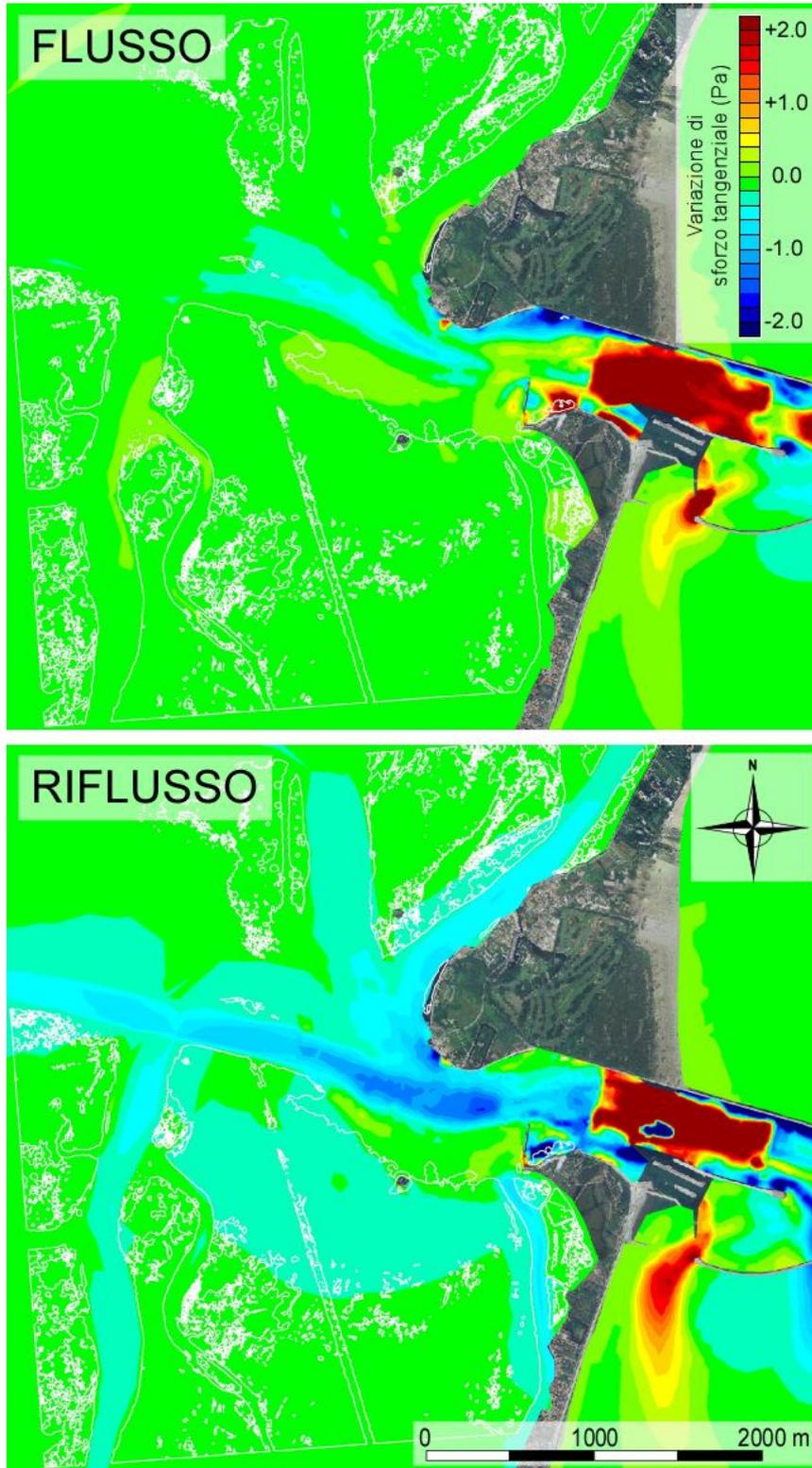


Figura 87 - Marea di sizigia. Variazione degli sforzi tangenziali massimi in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Malamocco calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

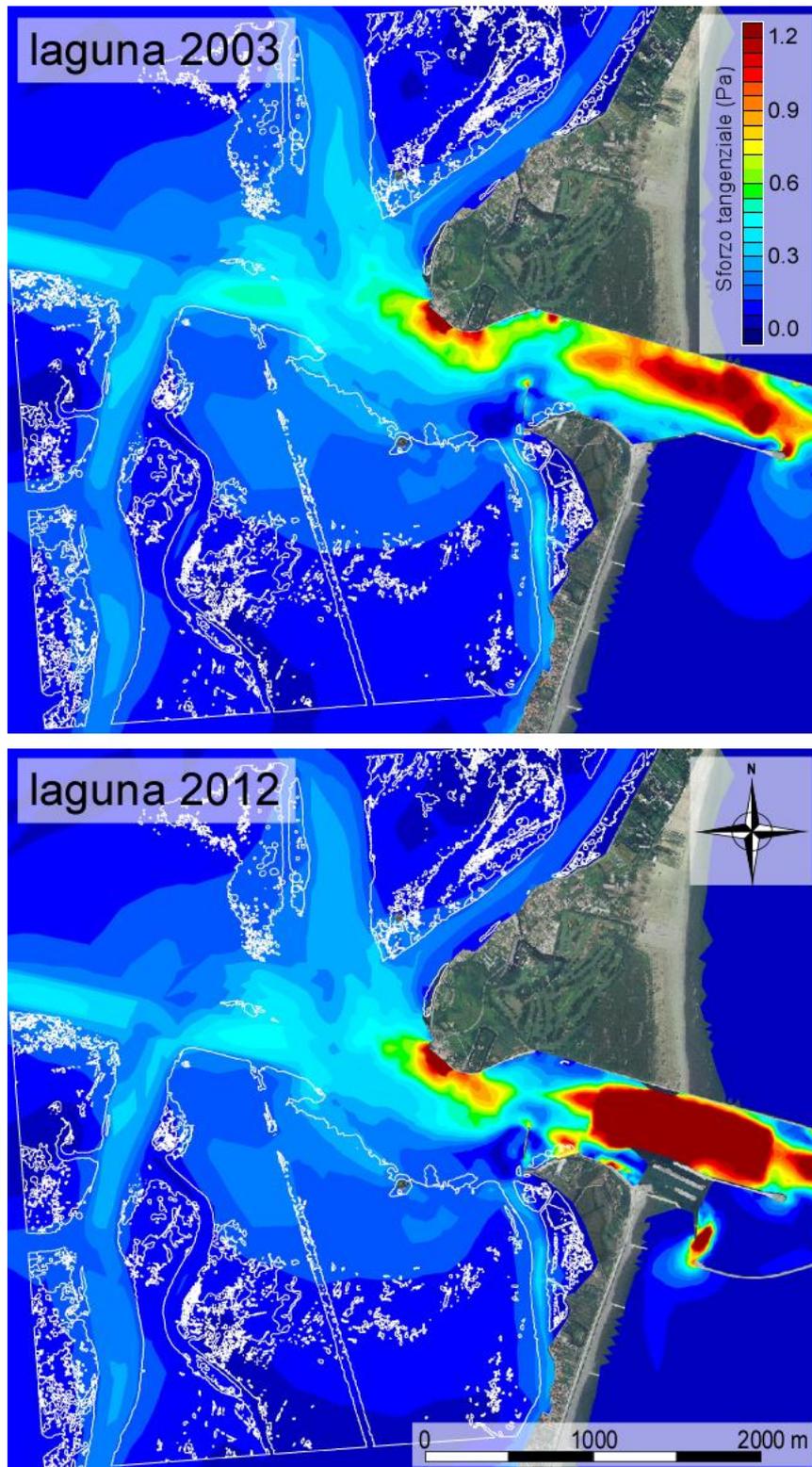


Figura 88 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involuipi degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di flusso alla bocca di Malamocco calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

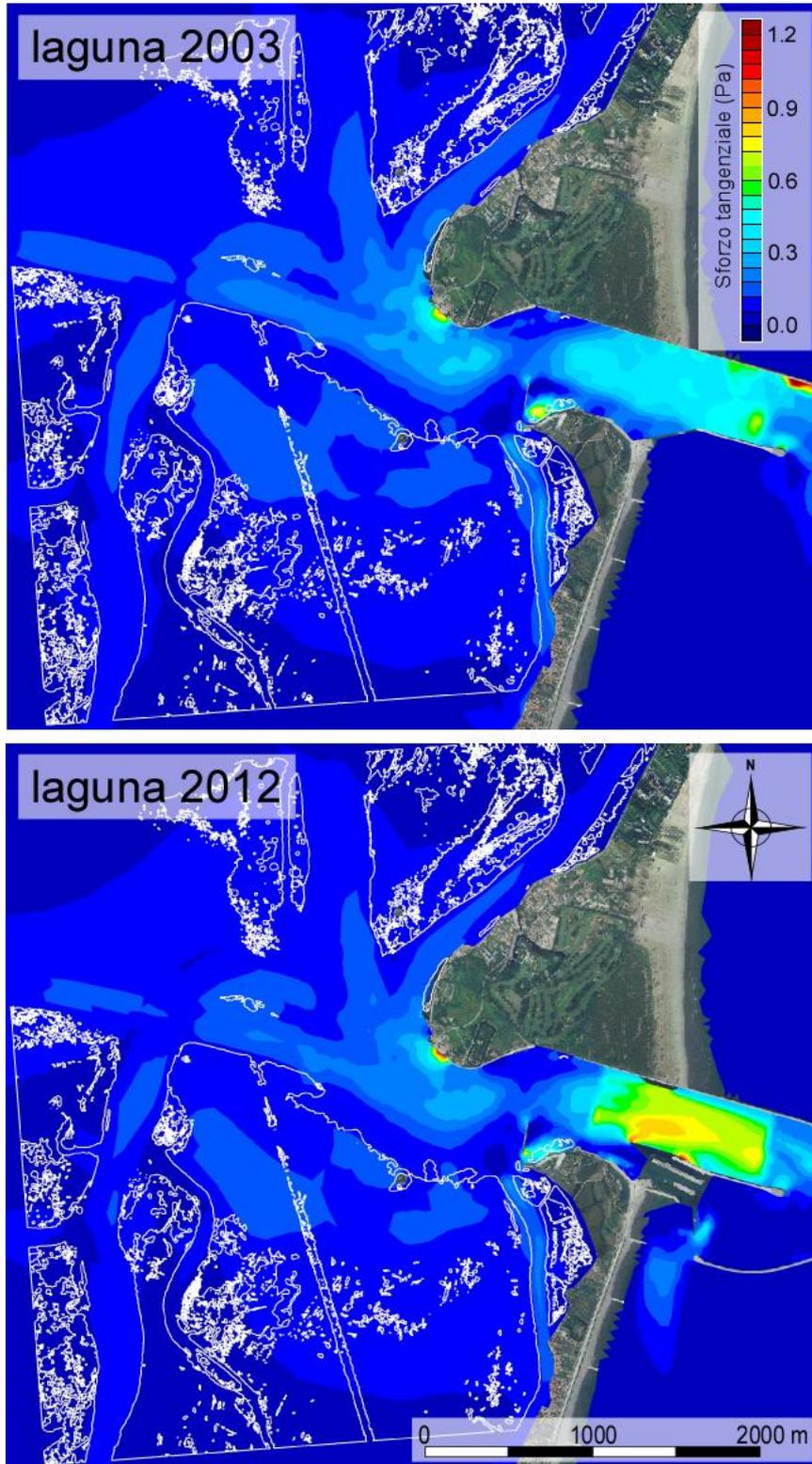


Figura 89 - Marea di quadratura. Confronto tra gli involuipi degli sforzi tangenziali al fondo massimi in fase di riflusso alla bocca di Malamocco calcolati con il modello per le configurazioni precedente (laguna 2003) e successiva (laguna 2012) alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.

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

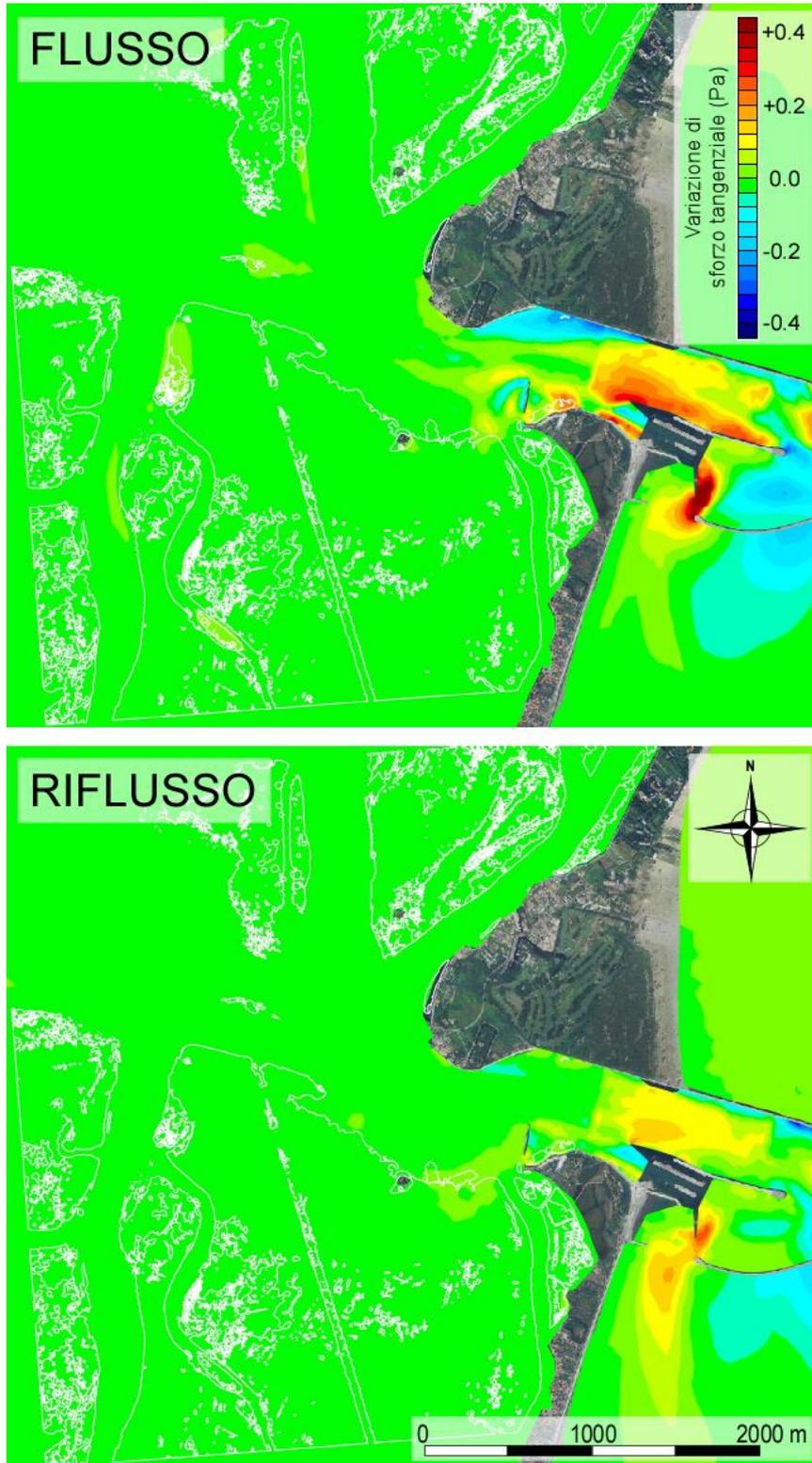


Figura 90 - Marea di quadratura. Variazione degli sforzi tangenziali massimi in fase di flusso (in alto) e di riflusso (in basso) alla bocca di Malamocco calcolati con il modello per le configurazioni precedente e successiva alla costruzione delle opere di difesa dalle acque alte.