



Progetto <p style="text-align: center;"><b>TCLV-S</b>  <b>Venis Cruise 2.0</b>  <b>Nuovo Terminal Crociere di Venezia</b>  <b>Bocca di Lido</b></p>	Opere marittime e strutture <b>Studio Ing. Bruno Ballerini</b> Via Caffaro, 27 16124 GENOVA Tel.: +39 010 2091295 e-mail: studioballerini@gmail.com <p style="text-align: right;">Ing. B. Ballerini</p>
Sito <p style="text-align: center;">Venezia</p>	Logistica <b>DP Consulting S.r.l.</b> Via Palladio Andrea 31021 MOGLIANO VENETO (TV) Tel.: +39 041 457219 e-mail: depiccoli.c@gmail.com <p style="text-align: right;">Sig. C. De Piccoli</p>
Committenti  <b>DUFERCO SVILUPPO S.r.l.</b> Via Armando Diaz, 248 25010 SAN ZENO NAVIGLIO (BS) Tel.: +39 030 21691 e-mail: <a href="mailto:info@dufercosviluppo.com">info@dufercosviluppo.com</a> <p style="text-align: right;">rappresentante società: Prof. Antonio Gozzi</p>	Progetto di inserimento paesaggistico <b>Studio Associato Cristinelli &amp; Cristinelli</b> 3294, Cannareggio 30121 VENEZIA Tel.: +39 041 710238 e-mail: g.cristinelli@studiocristinelli.it <p style="text-align: right;">Prof. G. Cristinelli</p>
<b>DP Consulting S.r.l.</b> <b>DP CONSULTING S.r.l.</b> Via Palladio Andrea 31021 MOGLIANO VENETO (TV) Tel.: +39 041 457219 e-mail: depiccoli.c@gmail.com <p style="text-align: right;">rappresentante società: Sig. Cesare De Piccoli</p>	Aspetti autorizzativi e ambientali <b>D'Apollonia S.p.A.</b> Via San Nazaro, 19 16145 GENOVA Tel.: 010 3628148 e-mail: marco.compagnino@dapollonia.it <p style="text-align: right;">Ing. M. Pedullà Ing. M. Compagnino</p>
Responsabile del progetto  <b>DUFERCO ENGINEERING S.p.A.</b> Via Armando Diaz, 248 25010 SAN ZENO NAVIGLIO (BS) Tel.: +39 010 8930843 e-mail: info@eng.duferco.com <p style="text-align: right;">Ing. E. Palmisani</p>	Studio Idrodinamico <b>IPROS Ingegneria Ambientale S.r.l.</b> Corso del Popolo, 8 35131 PADOVA Tel.: 049 660647 e-mail: ipros@ipros.it <p style="text-align: right;">Ing. B. Matticchio</p>
	Geologo <b>AD GEO Sistemi per l'Ambiente</b> Strada di Pilege, 85 36100 VICENZA Tel.: +39 0444 8098661 e-mail: diego.albanese@inforgea.com <p style="text-align: right;">Dott. Geol. D. Albanese</p>

Titolo  
**6.4. Studio idrodinamico preliminare**

Solo per uso esterno			
Autorizzato per:	Autorizzato da:	Ufficio:	Data
Richiesta d'Offerta			
Ordine			
Costruzione			
Approvazione Cliente			
Informazioni			

0	05/03/14	Prima emissione	B. Matticchio	E. Castelli	E. Palmisani
Rev.	Data	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato

Codici gestionali				Identificazione documento				Pag.	di	
<b>G.1.8.0</b>	<b>ST</b>	<b>000</b>	<b>TS</b>	<b>TCLV</b>	<b>000</b>	<b>IPRO</b>	<b>S</b>	<b>0040</b>	<b>1</b>	<b>21</b>
Sistema	Fase	Area	Tipologia	Progetto	Lotto	Società	D/S	Numero		

DP Consulting S.R.L. – DUFERCO ITALIA HOLDING S.p.A.

STUDIO IDRODINAMICO PRELIMINARE PER  
LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO TERMINAL  
CROCIERISTICO NELLA BOCCA DI LIDO  
DELLA LAGUNA DI VENEZIA

ELABORATO

SCALA

FILE

IP140228\_TCLV\_idroRF.doc

DATA

**Febbraio 2014**

**Relazione**

ESECUZIONE:

**IPROS**



INGEGNERIA AMBIENTALE

ING. PAOLO PERETTI



ING. BRUNO MATTICCHIO



## INDICE

1. Premessa .....	3
2. Descrizione del modello .....	5
3. Condizioni al contorno .....	8
4. Risultati delle simulazioni .....	9
4.1. Effetti sui livelli di marea in laguna .....	9
4.2. Effetti sulle portate fluenti .....	9
4.3. Effetti sui campi di velocità .....	10
4.4. Interazioni tra le correnti di marea e i fondali .....	16
4.5. Effetto della presenza delle navi all'ormeggio .....	18
5. Bibliografia .....	20

## 1. Premessa

L'intervento proposto prevede la realizzazione del terminal marittimo all'interno della Bocca di Lido, sul lato Nord-Occidentale, come è schematicamente rappresentato nella planimetria di Figura 1.

Il terminal è costituito da un pontile di ormeggio, della lunghezza di 940 m e della larghezza di 34 m, opportunamente strutturata per consentire l'ormeggio delle grandi navi da crociera (5 complessivamente).

Il pontile si sviluppa parallelamente alla Diga Nord, a circa 220 m di distanza da questa, ed è collegata alla terraferma mediante un collegamento viario di emergenza che si appoggia alla conterminazione del "porto rifugio" realizzato nell'ambito delle opere complementari al sistema delle barriere mobili per la difesa di Venezia dall'acqua alta.

Il limite Nord-Occidentale del pontile dista circa 500 m dalla grande isola artificiale realizzata al centro della Bocca e alla quale saranno ancorate le barriere mobili che realizzeranno gli sbarramenti previsti per il canale di Treporti, da una parte, e di Porto S. Nicolò, dall'altra.

Il pontile è sostenuto da cassoni cilindrici di 7 m di diametro, solidarizzati tra loro a 3 a 3 da una platea di fondazione di 70 cm di spessore, in file distanziate di 30 m l'una dall'altra. In questo modo la struttura risulta permeabile alle correnti di marea in ingresso e in uscita dalla laguna.

Alla realizzazione del pontile si accompagna l'intervento di dragaggio dei fondali nella porzione della bocca in cui avranno luogo le manovre di accesso e di ormeggio delle navi crocieristiche. L'estensione dell'area oggetto di dragaggio è di circa 0.50 km<sup>2</sup>. La quota prevista per i fondali in tale area è di -10.0 m s.l.m..

Per analizzare gli effetti idrodinamici dell'intervento è stato impiegato un modello matematico bidimensionale in grado di descrivere la circolazione delle correnti di marea e valutare le possibili interferenze fra opere e le correnti.

Il modello utilizzato, basato sul metodo degli elementi finiti, è stato messo a punto dal prof. L. D'Alpaos dell'Università di Padova, ed è stato specificamente sviluppato per studiare l'idrodinamica e la morfodinamica di bacini a marea poco profondi, caratterizzati da una topografia del fondo fortemente irregolare. Esso è stato diffusamente impiegato negli anni recenti per condurre numerose indagini e studi di tipo idraulico e morfologico sulla laguna di Venezia.

Nel caso in esame è stata utilizzata la schematizzazione della laguna predisposta sulla base dei più recenti dati batimetrici disponibili, tenendo conto dell'inserimento delle dighe foranee realizzate al largo delle tre bocche della laguna (le "lunate") e del recente inserimento delle strutture di ancoraggio delle barriere mobili (stato di fatto 2012).

Per valutare gli effetti dell'intervento proposto, è stata predisposta una nuova schematizzazione della bocca di Lido, nella quale la griglia di calcolo è stata modificata localmente in modo da descrivere la geometria delle nuove opere portuali.

In questa fase preliminare, le analisi sono state effettuate considerando un evento di marea reale, di particolari caratteristiche di ampiezza, verificatosi il 16-17 febbraio 1979. Si tratta di un evento scelto fra quelli considerati dal Comune di Venezia negli studi condotti nel momento dell'avvio del progetto delle opere alle bocche di porto, in quanto produceva valori particolarmente sostenuti delle velocità nelle bocche stesse.

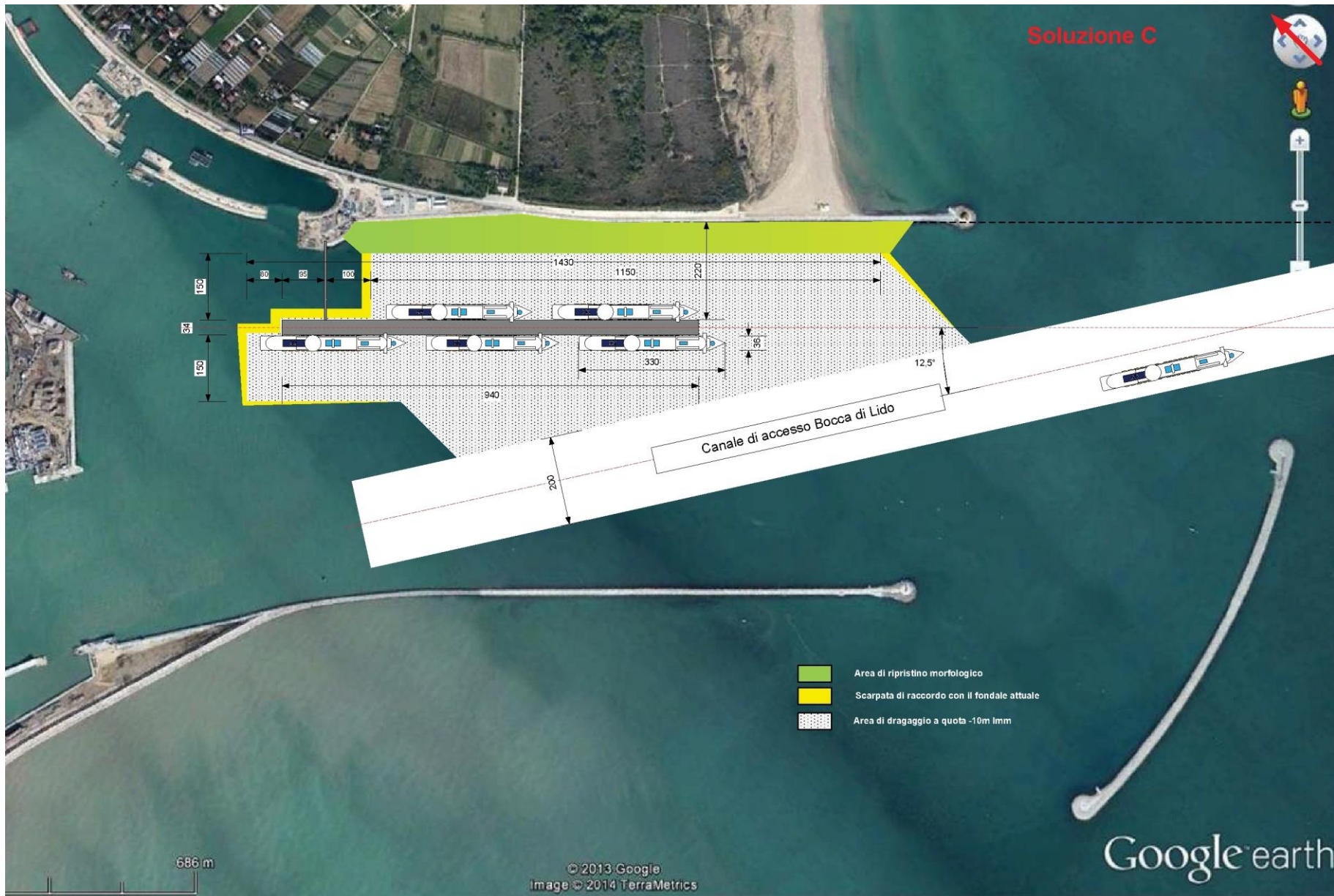


Figura 1 – Planimetria dell'intervento proposto

## 2. Descrizione del modello

Come richiamato in premessa, il modello matematico utilizzato per le indagini è stato predisposto dal prof. L. D’Alpaos dell’Università di Padova ed è stato impiegato per condurre numerose indagini sugli aspetti idrodinamici e idro-morfologici che caratterizzano la Laguna di Venezia.

Il modello è basato su di uno schema numerico ad elementi finiti che risolve, in un dominio bidimensionale, le equazioni differenziali del moto di una corrente a superficie libera su bassi fondali, formulate in modo da poter essere applicate anche ad aree parzialmente asciutte o che possono essere allagate o prosciugate durante l’evoluzione del fenomeno indagato. Si tratta di uno schema di calcolo pensato in modo specifico per simulare al meglio i caratteri morfologici e morfodinamici della laguna di Venezia e la propagazione delle maree al suo interno, come è stato ampiamente dimostrato in questi anni dalle sue numerose applicazioni.

Esso consente di rappresentare gli aspetti generali e locali del campo di moto, evidenziando tra l’altro gli eventuali fenomeni di separazione di corrente indotti dalla presenza di strutture particolari quali possono essere le dighe che armano le bocche di porto, le dighe foranee (le “lunate”), il pontile di ormeggio previsto nella soluzione progettuale qui esaminata.

Per le specifiche tecniche del modello si rimanda alla letteratura tecnica, di cui in bibliografia sono citati alcuni titoli ([1], [2], [3], [4], [5], [6]).

Il reticolo di calcolo del modello (Figura 2) riproduce l’intera laguna di Venezia (circa 420 km<sup>2</sup>), e include un ampio braccio di mare all’esterno delle bocche che consente alla corrente in ingresso (fase di marea crescente o di flusso) e in uscita (fase di marea decrescente o di riflusso) di svilupparsi correttamente senza essere influenzata in modo significativo dalle condizioni al contorno imposte sulla frontiera del dominio.

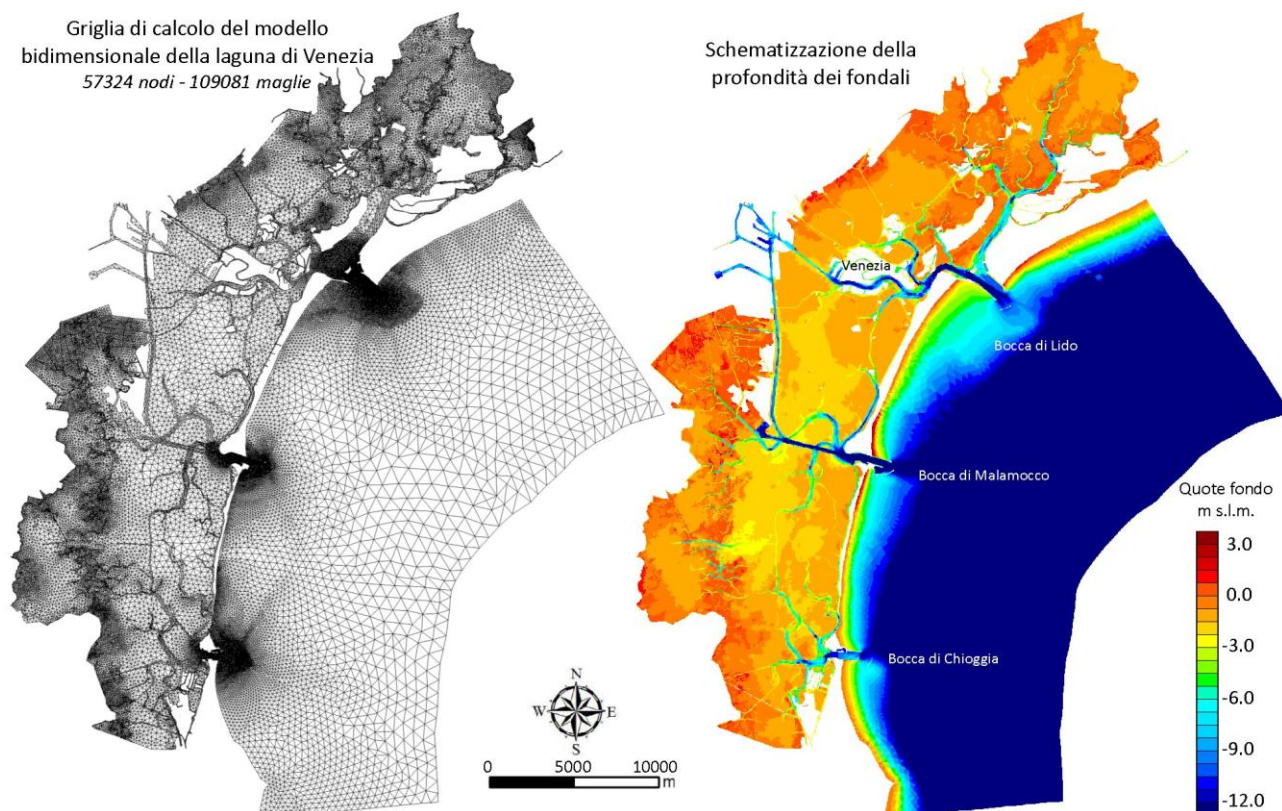


Figura 2 – Griglia di calcolo del modello matematico bidimensionale della Laguna di Venezia

La griglia del modello, di tipo non strutturato a celle triangolari, consente di variare la risoluzione spaziale del calcolo in modo da incrementare il dettaglio del campo di moto nelle zone di maggiore interesse, mantenendo nel contempo entro livelli accettabili l'onere di calcolo.

Il modello è stato recentemente aggiornato nell'intorno delle tre bocche di porto da una parte per rappresentare la conformazione dei fondali ricavata dai dati batimetrici più recenti, dall'altra per tenere conto delle variazioni alla geometria delle bocche lagunari determinate dagli interventi per la realizzazione degli sbarramenti con le paratoie mobili.

In Figura 3 è rappresentato un particolare della griglia nell'intorno della Bocca di Lido, da cui si evince che il modello descrive sia la presenza della diga foranea all'esterno della bocca (la "lunata") sia il complesso dei manufatti che compongono lo sbarramento con le paratoie mobili, tra cui l'isola centrale che divide il canale in due rami (S. Nicolò e Treporti), i rialzi del fondale in corrispondenza della sede delle paratoie, il porto rifugio sul lato Nord Est.

Le dimensioni dei lati delle maglie triangolari, relativamente grandi in mare e nei bassifondi lagunari, sono alquanto ridotte all'interno della bocca allo scopo di descrivere con un certo dettaglio i fenomeni di circolazione locale. Le dimensioni minime delle maglie nell'intorno dei delle testate dei moli e dei manufatti di supporto alle barriere mobili sono dell'ordine di 20 m.

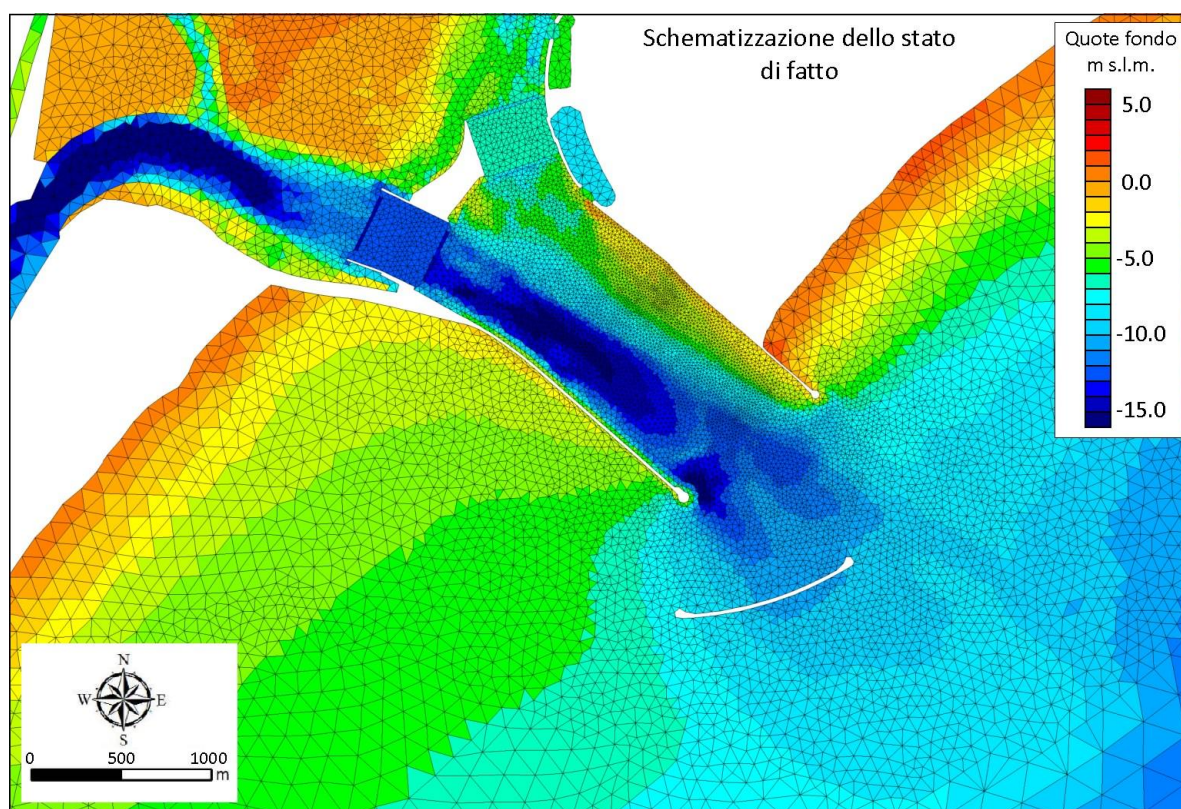


Figura 3 – Bocca di Lido: schematizzazione dello stato di fatto

Nel caso in esame, per rappresentare l'inserimento dei manufatti previsti dal progetto del terminal marittimo (TCLV), si è provveduto a modificare localmente il reticolo di calcolo del modello in modo da schematizzare la geometria delle opere e le variazioni sulla profondità dei fondali.

Il risultato ottenuto è rappresentato in Figura 4. Si evince in particolare come l'intervento determini un approfondimento generalizzato sul lato orientale della bocca, dove è previsto che i fondali siano portati alla quota di -10.0 m s.l.m.. Si nota inoltre come la dimensione delle maglie sia stata ridotta notevolmente dove è prevista la realizzazione del pontile di ormeggio. Infatti, per

schematizzare l'effetto idrodinamico del pontile, il modello è stato costruito in modo da rappresentare l'ingombro dei singoli cassoni cilindrici consentendo tuttavia alle correnti di attraversare il manufatto nei varchi tra un cassone e l'altro. Per questa ragione nell'intorno del manufatto stesso la dimensione delle celle di calcolo è stata ridotta a circa 5 m.

Per rappresentare, sia pur in prima approssimazione data la natura preliminare del progetto, le resistenze idrauliche indotte dall'ingombro del pontile, che è immersa fino alla quota -3.50 m s.l.m., sono stati utilizzate speciali procedure incluse nel modello che descrivono il funzionamento di elementi "in pressione".

Analogamente è stata utilizzata per descrivere le resistenze indotte dalla navi crocieristiche all'ormeggio. Queste, infatti, avendo lunghezza di oltre 300 m, larghezza di circa 35 m e pescaggio massimo di circa 8.5 m, possono esercitare delle resistenze non trascurabili sulle correnti di flusso e di riflusso nella bocca.

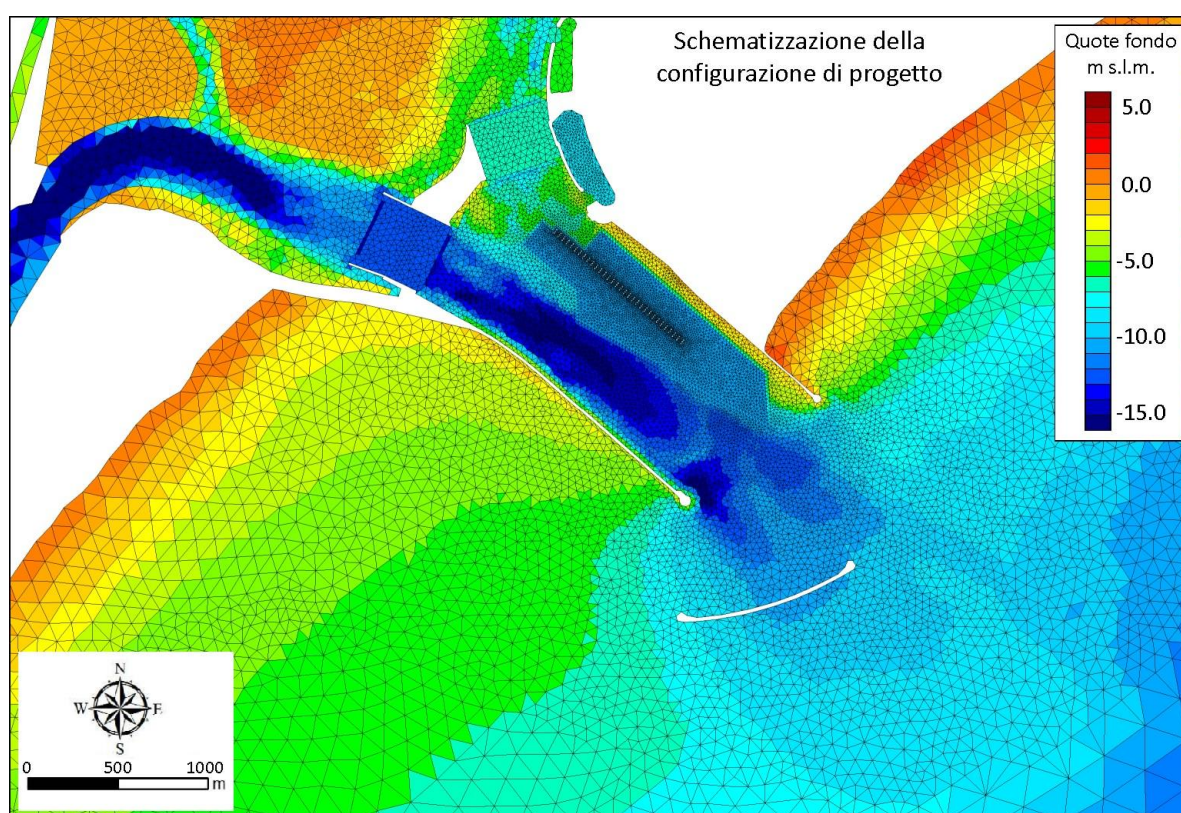


Figura 4 – Bocca di Lido: schematizzazione della configurazione di progetto

Il confronto dei risultati forniti dal modello matematico per alcune grandezze idrodinamiche significative relativamente alle diverse configurazioni implementate consente di evidenziare, quantomeno in via preliminare, gli effetti delle variazioni introdotte dal progetto sia sul comportamento idraulico generale della laguna sia sui caratteri locali del campo di moto.

Pur essendo il modello a fondo fisso, i risultati delle simulazioni numeriche permettono anche di formulare qualche considerazione di inquadramento sui possibili effetti erosivi della corrente, in particolare in prossimità delle strutture che, essendo aggirate dalla corrente stessa, possono innescare fenomeni di separazione e di ricircolo



### 3. Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno per le simulazioni consistono essenzialmente nell'imposizione dell'andamento del livello di marea sui nodi del contorno aperto del dominio di calcolo, posto sul bordo esterno al largo. Non sono stati considerati sfasamenti tra la marea nei diversi punti dell'Adriatico, non essendo rilevanti gli effetti che questi possono produrre ai fini delle valutazioni richieste.

Il contorno interno del dominio di calcolo lungo la terraferma è stato considerato impermeabile alle correnti. Non sono stati perciò considerati gli apporti provenienti dai corsi d'acqua che si immettono in laguna, né le eventuali portate derivate per alimentare le valli da pesca, non essendo queste componenti rilevanti per gli aspetti oggetto delle indagini.

La marea di riferimento utilizzata per i calcoli è quella registrata dal mareografo Diga Sud Lido, (situato in mare, a ridosso della diga foranea che delimita sul lato Sud la bocca di Lido) nei giorni 15-17 febbraio 1979 (Figura 5). Come richiamato precedentemente, si tratta di una delle maree selezionate dal Comune di Venezia per effettuare gli studi idrodinamici nel momento dell'avvio del progetto delle opere alle bocche di porto, in quanto produce valori particolarmente sostenuti delle velocità nelle bocche stesse.



Figura 5 – Andamento della marea utilizzata per le simulazioni

Dal grafico di Figura 5 si evince che si tratta di una marea caratterizzata da un picco di altezza pari a 114 cm sul riferimento di Punta della Salute, il che corrisponde ad una situazione di “acqua alta” abbastanza frequente a Venezia nel periodo invernale, e da una notevole ampiezza dell'oscillazione semidiurna, in cui la fase ascendente ha un'escursione massima di 105 cm, seguita da una fase discendente di 85 cm.

Si tratta di escursioni tra le più ampie tra quelle che si possono verificare a Venezia e che costituiscono pertanto condizioni idonee per inquadrare in linea generale il problema, almeno in questa fase di indagini preliminari.

Con le condizioni sopra illustrate le simulazioni sono state condotte per una durata di 3 giorni, dalle ore 0:00 del 15/2 alle ore 0:00 del 18/2, essendo peraltro il primo giorno dedicato alla fase di avviamento del modello. Il time step di calcolo adottato è stato di 1 s.

## 4. Risultati delle simulazioni

### 4.1. Effetti sui livelli di marea in laguna

Per quanto riguarda i livelli di marea, i calcoli effettuati con le modalità descritte al punto precedente mostrano che l'effetto dell'intervento è del tutto trascurabile. Infatti, come si evince dal grafico di Figura 6, le curve relative al livello calcolato nel centro storico di Venezia (presso il mareografo di Punta della Salute) nello stato di fatto e nella situazione di progetto sono praticamente indistinguibili tra di loro. Si osserva per entrambi i casi una leggera amplificazione dell'oscillazione ed un ritardo di fase rispetto al segnale in mare di circa 1 ora, come accade normalmente nella propagazione delle maree all'interno della laguna di Venezia.

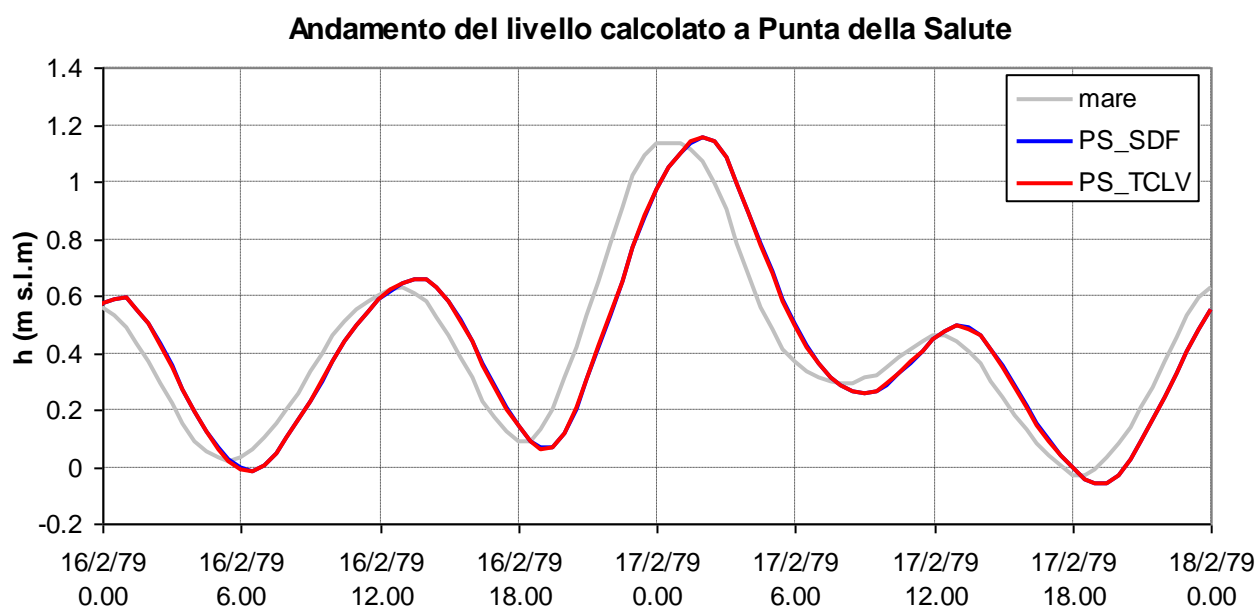


Figura 6 – Confronto tra i livelli calcolati a Punta della Salute, nella simulazione relativa allo stato di fatto (SDF) e in quella relativa alla situazione di progetto (TCLV).

Se ne conclude che le opere proposte per l'ormeggio delle navi crocieristiche non modificano l'andamento dei livelli all'interno della laguna, come del resto era prevedibile considerando che le opere stesse non hanno caratteristiche che possano incrementare in modo rilevante le resistenze al moto complessive della bocca di Lido.

### 4.2. Effetti sulle portate fluenti

Anche gli effetti dell'intervento sulle portate fluenti attraverso la Bocca di Lido e attraverso i due canali in cui questa si divide (Canale di S. Nicolò e Canale di Treporti) sono, in base al calcolo, praticamente trascurabili.

A questo riguardo, in Figura 7 è messo a confronto l'andamento delle portate fluenti calcolate nello stato di fatto e nello scenario di progetto attraverso tre sezioni che intercettano i flussi che percorrono la Bocca e i due canali suddetti.

Dal grafico si evince in primo luogo che le portate massime che attraversano la Bocca di Lido nelle ipotesi assunte sono di quasi 9000 m<sup>3</sup>/s in fase di flusso entrante e di circa 8000 m<sup>3</sup>/s in fase di flusso uscente. Si tratta di portate che sono sostanzialmente le massime che possono percorrere la

Bocca per azione della marea. Di queste, circa il 67% è scambiato attraverso il C. di S. Nicolò, mentre il 33% fluisce lungo la direttrice di Treporti.

In secondo luogo il grafico mostra in tutta evidenza che, in base ai calcoli modellistici, non si osservano differenze apprezzabili tra le portate calcolate per lo stato di fatto e per la configurazione di progetto.

Questo conferma quanto già riscontrato in base all'analisi dei livelli di marea, ossia che le opere proposte per l'ormeggio delle navi crocieristiche non introducono resistenze idrauliche rilevanti nella bocca di Lido, e comunque non tali da modificare apprezzabilmente né l'entità delle portate fluenti né la ripartizione di tali portate tra i due canali di S. Nicolò e di Treporti.

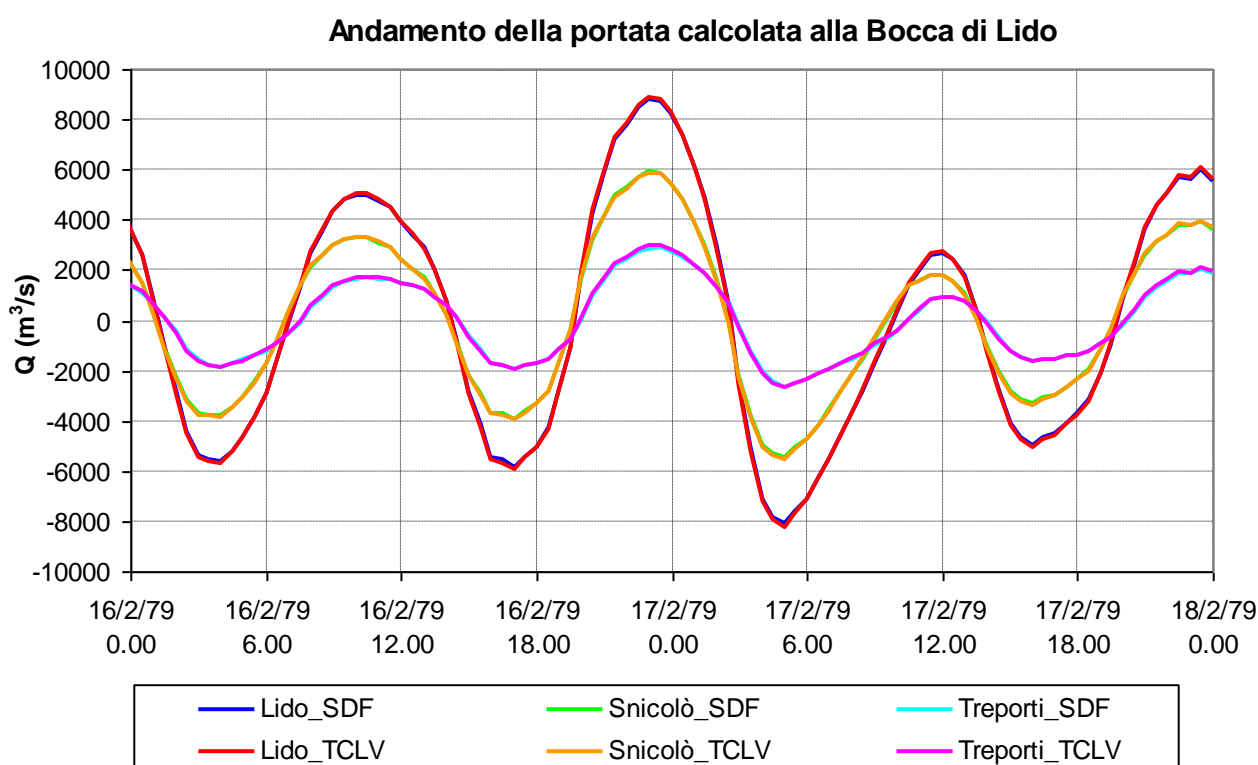


Figura 7 – Confronto tra le portate calcolate nella Bocca di Lido e nei due canali in cui essa si divide (S. Nicolò e Treporti), nella simulazione relativa allo stato di fatto (SDF) e in quella relativa alla situazione di progetto (TCLV).

### 4.3. Effetti sui campi di velocità

Per evidenziare le variazioni sul campo di moto nella Bocca di Lido indotta dalle opere previste sono state estratte dalle simulazioni le mappe rappresentative delle situazioni di massimo flusso entrante ed uscente. In tali situazioni si possono evidenziare gli eventuali effetti locali delle opere anche in condizioni in cui, come nel caso in esame, non si manifestano significative variazioni dei parametri che hanno un significato complessivo sulla idrodinamica lagunare come i livelli di marea e le portate fluenti.

Nelle Figura 8 e Figura 9 sono riportati e messi a confronto tra loro i campi di velocità ottenuti per le due configurazioni esaminate negli istanti di massimo flusso entrante e di massimo flusso uscente. Per la marea considerata, tali istanti si verificano, rispettivamente, alle ore 23:00 del 16/2 e alle ore 5:00 del 17/2.

Nelle mappe, il modulo della velocità è rappresentato con una scala di colori, mentre la direzione della corrente è rappresentata con frecce di lunghezza unitaria.

Le immagini mostrano come l'aspetto dominante della circolazione nella Bocca di Lido sia rappresentato dagli ampi fenomeni vorticosi che si sviluppano in corrispondenza della "lunata" esterna realizzata di fronte alla bocca.

Il fenomeno è particolarmente accentuato durante la fase di flusso entrante (Figura 8), quando esso si accompagna anche alla formazione di vorticità all'interno delle testate di entrambi i moli foranei. In questa fase la corrente entrante, che si immette nella bocca dai due varchi creati dalla "lunata", tende a concentrarsi al centro del canale, dove le velocità assumono i valori più elevati.

Nella fase di flusso uscente (Figura 9) le velocità massime che si riscontrano sono generalmente inferiori a quelle valutate in fase di flusso entrante. Questo dipende in parte dal fatto che, per la marea considerata, la portata massima di riflusso è inferiore a quella massima di flusso, e in parte dal diverso assetto della corrente nella parte più esterna del canale di bocca. Il getto in uscita, infatti, si espande maggiormente nel canale stesso, prima di interferire con la "lunata", che lo divide in due parti indirizzate verso NE e verso SW.

Il confronto tra i campi di velocità relativi allo stato di fatto e quelli relativi alla situazione di progetto evidenzia differenze di modesta rilevanza.

Nella fase di flusso entrante si riscontra che il filone della corrente risulta solo leggermente spostato verso NE, verosimilmente a causa del fatto che il dragaggio dei fondali per l'accesso delle navi favorisce maggiormente l'espansione della corrente sul lato NE del canale di bocca, dove oggi i fondali sono più scarsi.

Ne consegue che nel canale principale, spostato verso la diga Sud, le velocità risultano leggermente inferiori a quelle che competono allo stato di fatto. Come si è visto in precedenza, peraltro, questa circostanza non produce effetti significativi sulla ripartizione delle portate che imboccano i due varchi di S. Nicolò e di Treporti.

Nella zona delle previste opere portuali si rileva che la scelta di disporre il pontile parallelamente alla direzione della corrente e la conformazione filtrante del manufatto consentono di fatto un'interferenza minima tra l'opera e le correnti di marea sia in ingresso che in uscita.

Non si notano, infatti, né zone di particolare concentrazione della velocità, né locali formazioni di zone di ricircolo.

Nei grafici di Figura 10 è riportato l'andamento del modulo della velocità in 5 punti significativi scelti all'interno della bocca ed in corrispondenza della zona di intervento. Nella Tabella 1 sono riportati i valori numerici delle velocità massime negli stessi 5 punti.

In base a tali elaborati si ha ulteriore conferma del fatto che le variazioni indotte dall'intervento sulle velocità massime nella bocca sono nel complesso di modesta entità.

Nel punto P1, presso la testata del molo Sud, la realizzazione dell'intervento produce un certo incremento della velocità massime in fase di flusso (da 1.53 m/s a 1.66 m/s), ma una certa riduzione delle stesse in fase di riflusso (da 1.12 a 0.99 m/s).

Analoghe variazioni, sia pur rispetto a valori assoluti inferiori, si rilevano per il punto P2, posto all'ingresso della Bocca ma spostato verso il lato NE.

Anche nel punto P5, che si colloca nel canale di S. Nicolò in prossimità del manufatto che sostiene le barriere mobili, non si osservano rilevanti variazioni tra le due configurazioni esaminate,

essendo in entrambi i casi le velocità massime dell'ordine di 1.20 m/s in fase di flusso e di poco più di 1.0 m/s in fase di riflusso.

Nei punti P3 e P4 che si trovano lungo il pontile, nella zona di ormeggio delle navi, per effetto dell'intervento non si hanno apprezzabili variazioni di velocità tra lo stato di fatto e lo stato di progetto. In entrambi i casi le velocità massime sono dell'ordine di 0.6 ÷ 0.7 m/s.

In base al calcolo, in definitiva, le variazioni sui valori puntuali della velocità indotte dalla presenza delle opere portuali previste non sono molto rilevanti. La distribuzione e l'intensità delle correnti di marea dovrebbe perciò assumere, ad opere realizzate, caratteri non molto diversi da quelli che si riscontrano attualmente.

In particolare, in relazione alle manovre delle navi per l'accesso al nuovo terminal marittimo, i valori massimi che si possono prevedere per le correnti durante le maree di sizigia sono dell'ordine di 1.5÷1.7 m/s nel varco di accesso compreso tra le due testate, e di 0.7÷1.1 m/s lungo il pontile di ormeggio.

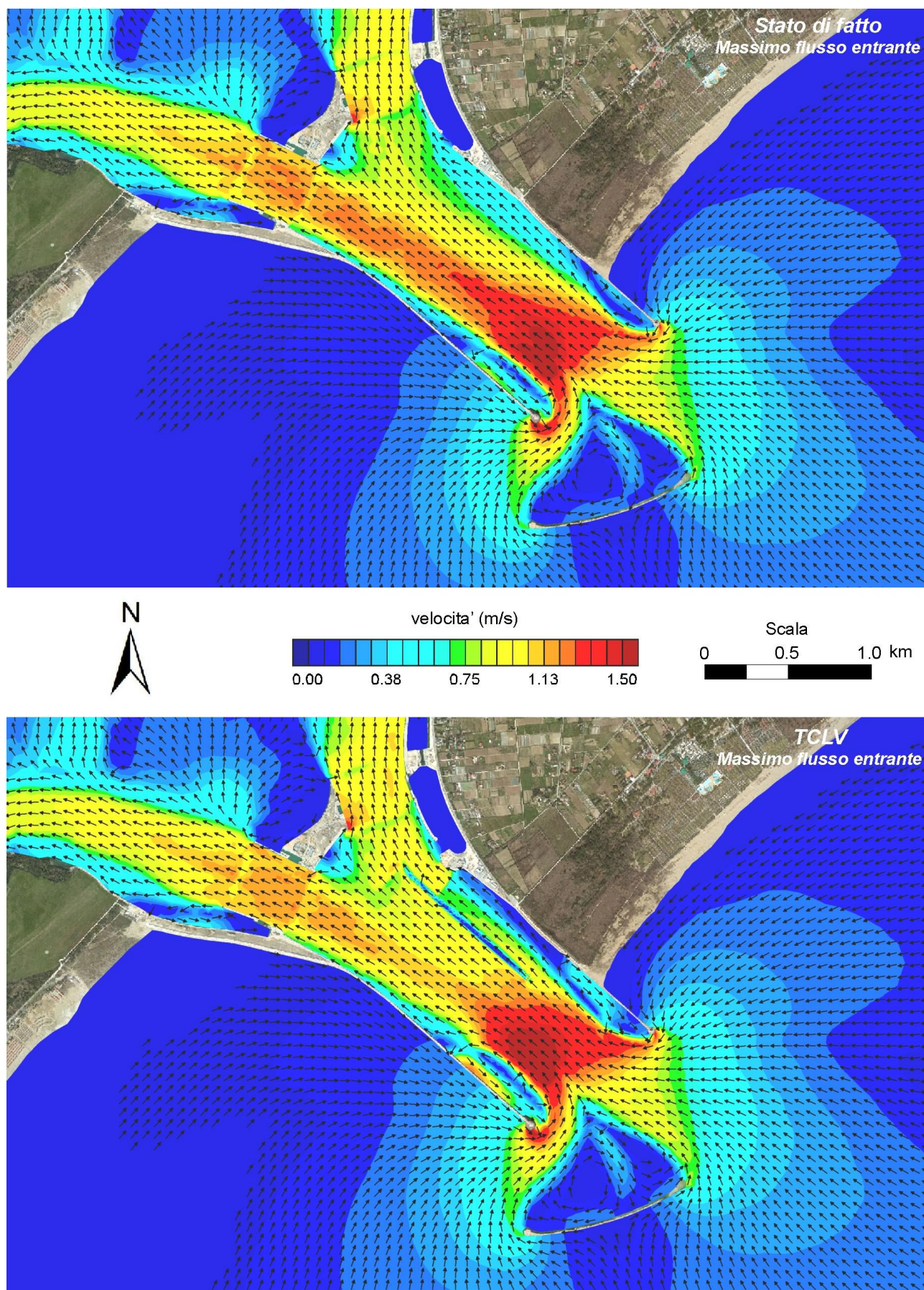


Figura 8 – Campi di velocità calcolati nella fase di massimo flusso entrante nella simulazione relativa allo stato di fatto (SDF) e in quella relativa alla situazione di progetto (TCLV).

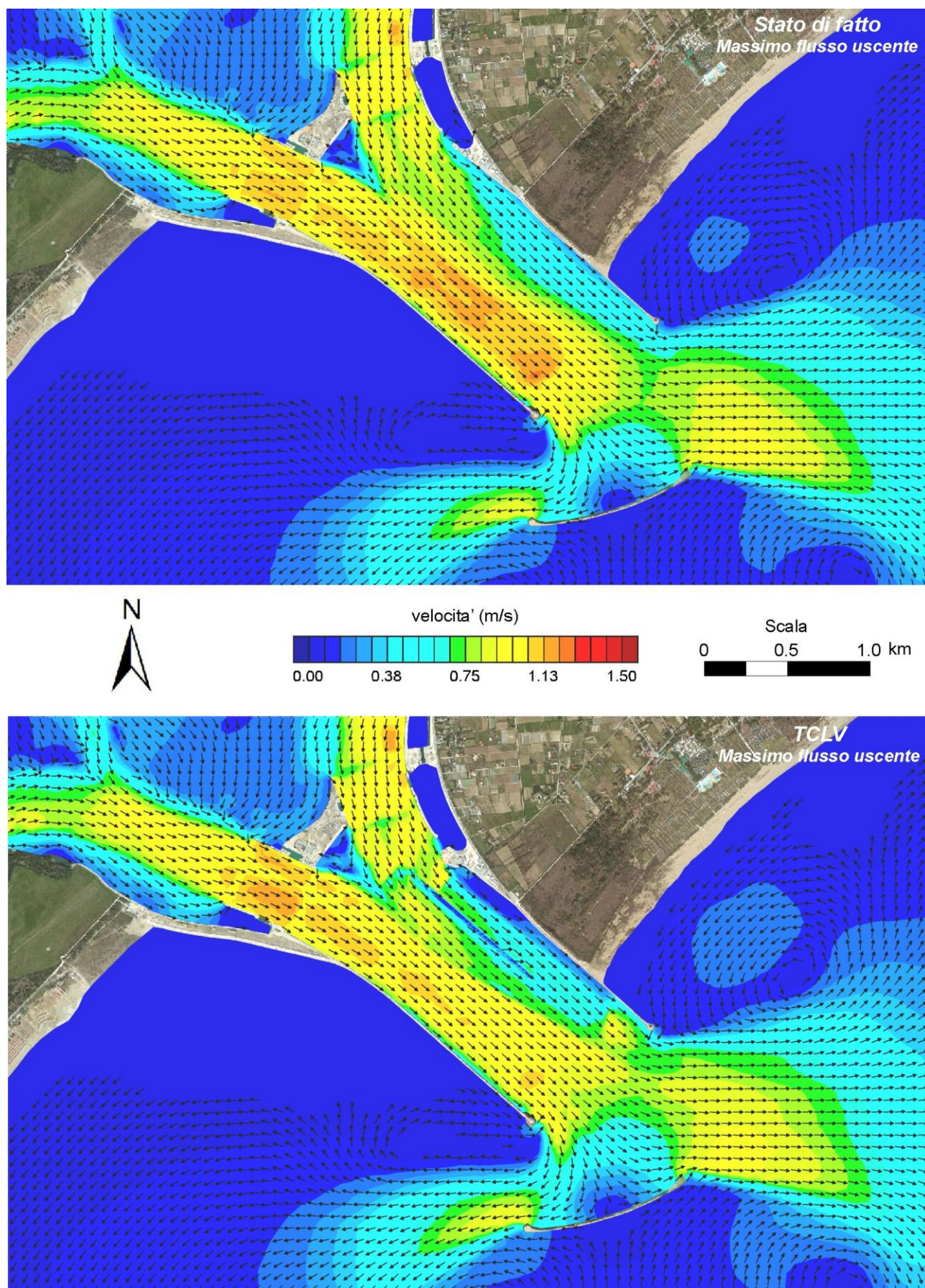


Figura 9 – Campi di velocità calcolati nella fase di massimo flusso uscente nella simulazione relativa allo stato di fatto (SDF) e in quella relativa alla situazione di progetto (TCLV).

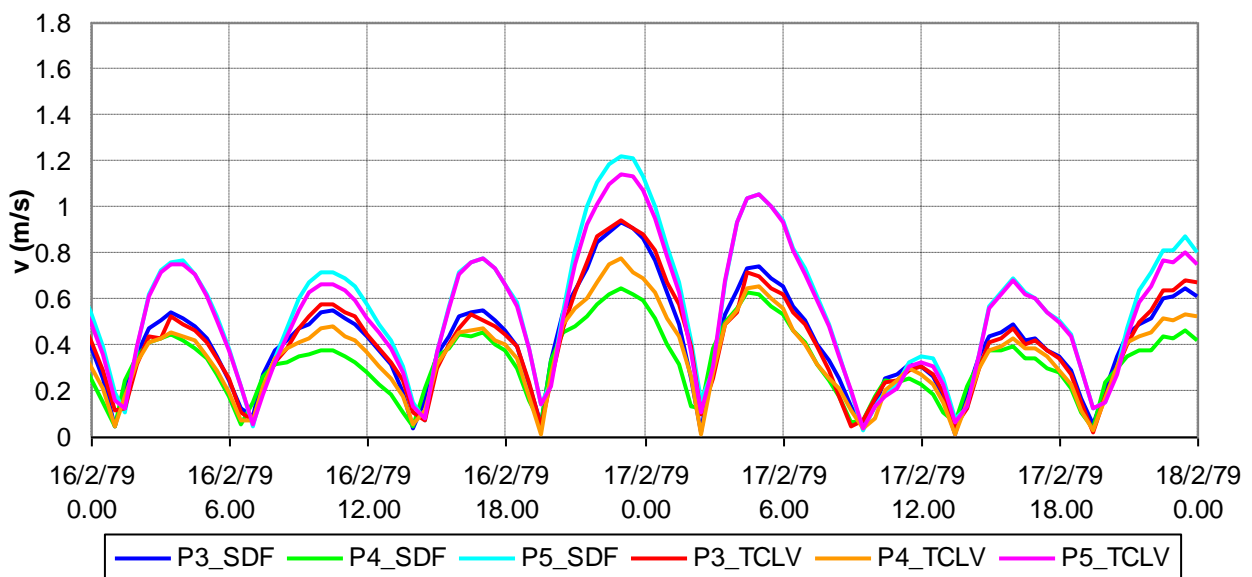
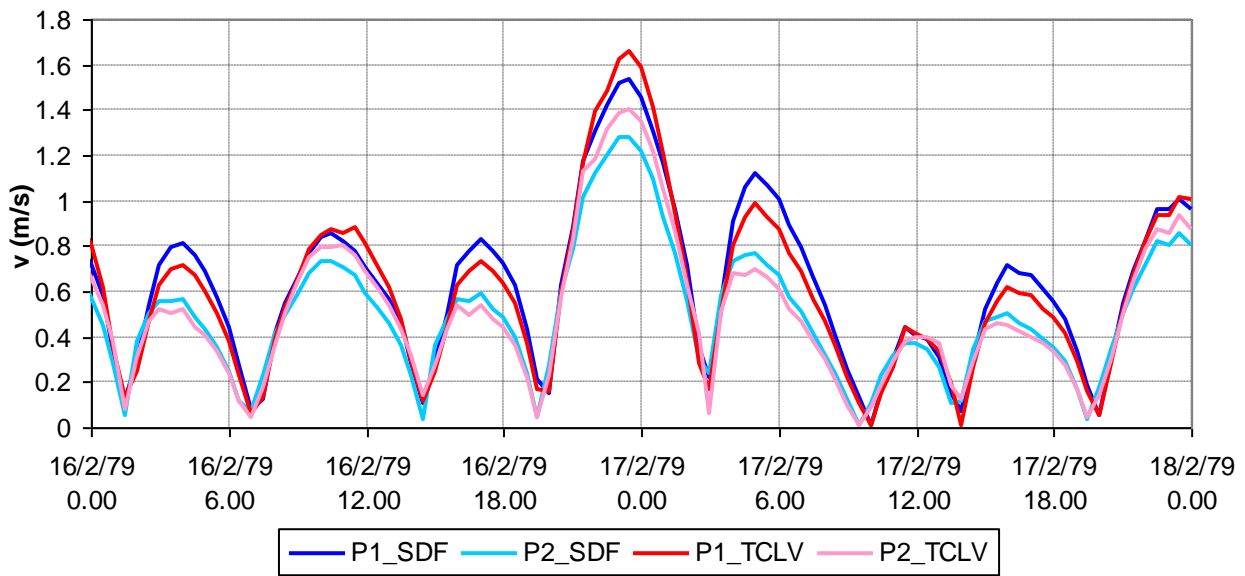
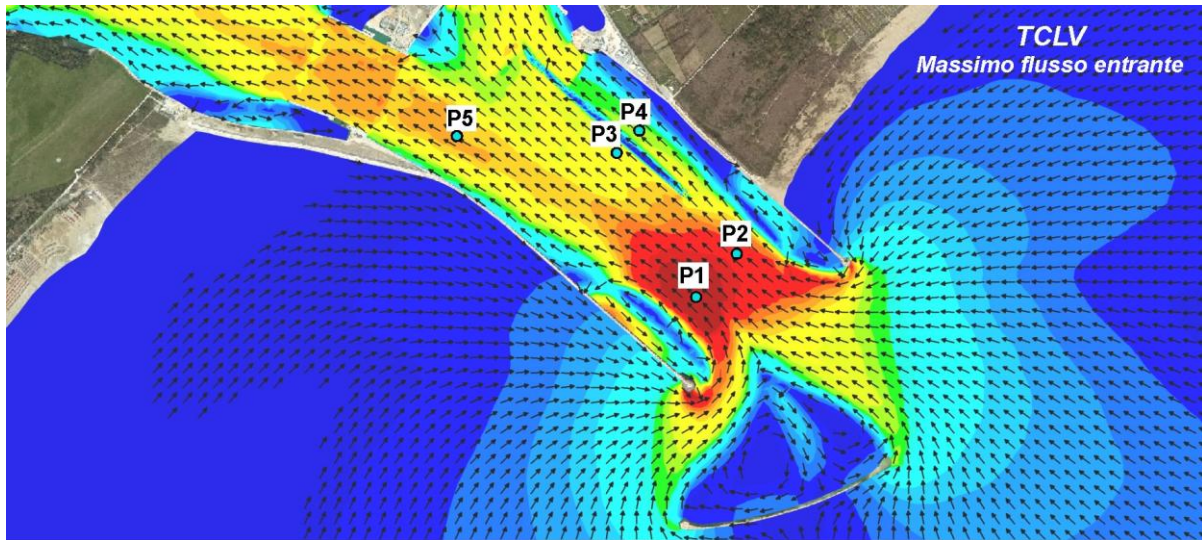


Figura 10 – Andamento del modulo della velocità calcolato nella simulazione relativa allo stato di fatto (SDF) e in quella relativa alla situazione di progetto (TCLV) nei 5 punti indicati.



		<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>
<b>stato di fatto</b>	<i>v max entrante</i>	1.53	1.28	0.94	0.64	1.20
	<i>v max uscente</i>	1.12	0.76	0.74	0.62	1.05
<b>progetto TCLV</b>	<i>v max entrante</i>	1.66	1.40	0.94	0.77	1.13
	<i>v max uscente</i>	0.99	0.70	0.71	0.65	1.05

Tabella 1 – Valori massimi della velocità della corrente (in m/s) calcolati nei 5 punti indicati in Figura 10.

#### 4.4. Interazioni tra le correnti di marea e i fondali

Il modello matematico utilizzato, pur valutando la dinamica delle correnti in ipotesi di fondo fisso, consente comunque di ottenere alcune valutazioni sull'interazione tra le correnti di marea e i fondali delle bocche, che sono per loro natura mobilitabili dalle correnti stesse. E' possibile infatti ottenere dal calcolo la distribuzione degli sforzi tangenziali distribuiti esercitati dalla corrente sul fondo.

In particolare, nel caso in esame, è stato calcolato l'involuppo dei valori massimi degli sforzi tangenziali al fondo per i cicli di marea considerati.

I risultati ottenuti sono illustrati, con una rappresentazione a scala di colori, nella Figura 11, in cui sono messi a confronto i risultati per lo stato di fatto e per la configurazione di progetto.

Anche in questo caso le immagini mettono in evidenza che la realizzazione del terminal crocieristico, così come è stato concepito, non dovrebbe portare a variazioni rilevanti nella distribuzione degli sforzi tangenziali sui fondali della Bocca di Lido, rispetto allo stato di fatto.

E' importante osservare, tuttavia, che già attualmente gli sforzi tangenziali determinati dalla corrente raggiungono localmente valori compresi tra 4 e 6 Pa, e valori anche superiori in corrispondenza dell'imboccatura.

Si tratta di sforzi tangenziali apprezzabili, capaci di mobilitare i fondali qualora siano costituiti da materiali sostanzialmente incoerenti, privi di coesione. Poiché le sabbie presenti nella bocca possono mediamente classificarsi con diametri rappresentativi di 150÷200  $\mu\text{m}$ , durante i cicli di marea di maggiore ampiezza la corrente può trasportare questi sedimenti con conseguenze che devono essere tenute presente nella progettazione delle opere.

Localmente i processi erosivi possono essere particolarmente intensi e innescare sui fondali delle zone interessate da fenomeni di separazione di corrente e di ricircolo la formazione di fosse di un qualche rilievo, situazioni delle quali si trovano nel caso della laguna di Venezia esempi concreti.

Per quanto riguarda la configurazione di progetto, l'approfondimento dei fondali alla quota -10.0 m s.l.m. in tutta la zona portuale produrrà, oltre ad una riduzione della velocità della corrente nell'intorno del manufatto, anche una corrispondente riduzione degli sforzi al fondo.

Ciò nondimeno lungo il molo sarà necessario verificare, nelle fasi della progettazione, che le fondazioni dei cassoni cilindrici destinati a sostenere il pontile soprastante siano opportunamente concepite per far fronte all'azione erosiva della corrente, soprattutto nel tratto più esterno, verso l'imboccatura, dove gli sforzi tangenziali al fondo sono più elevati.

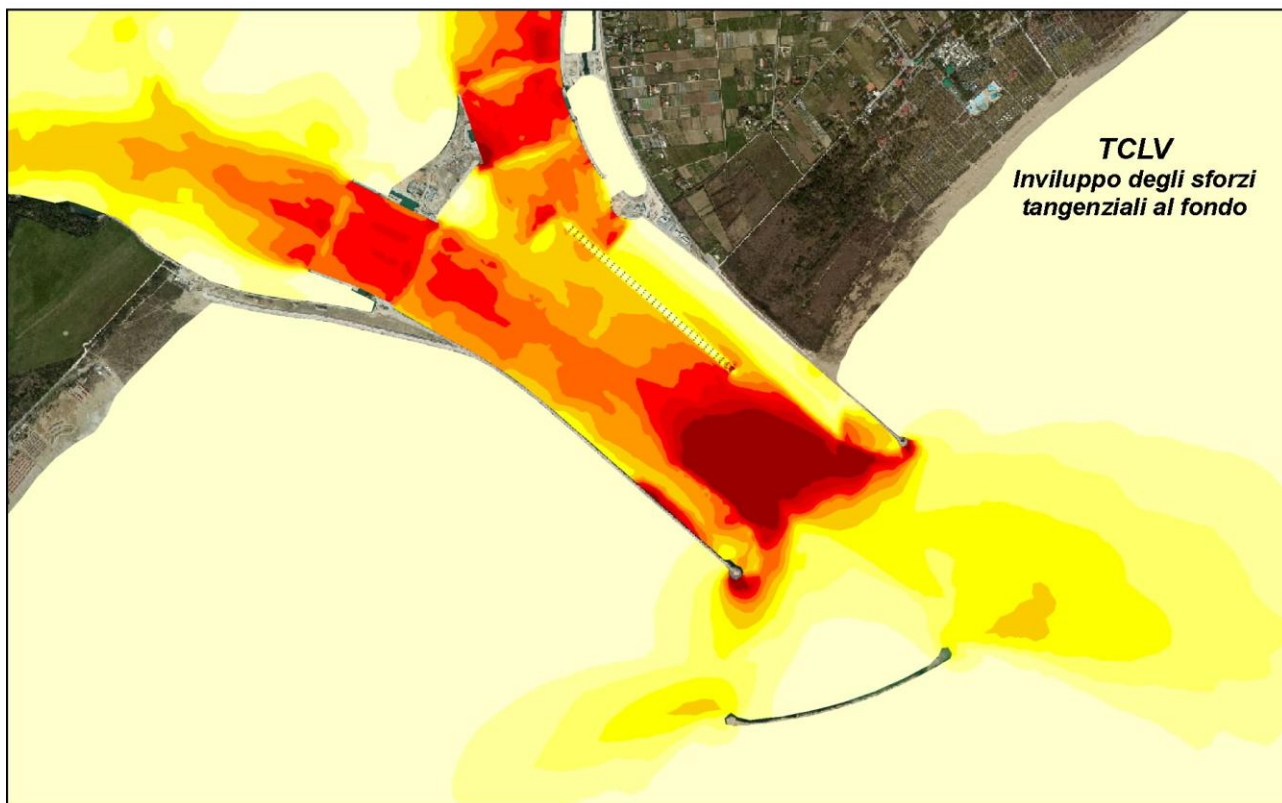
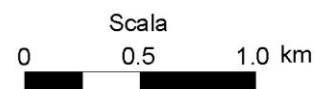
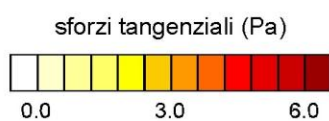
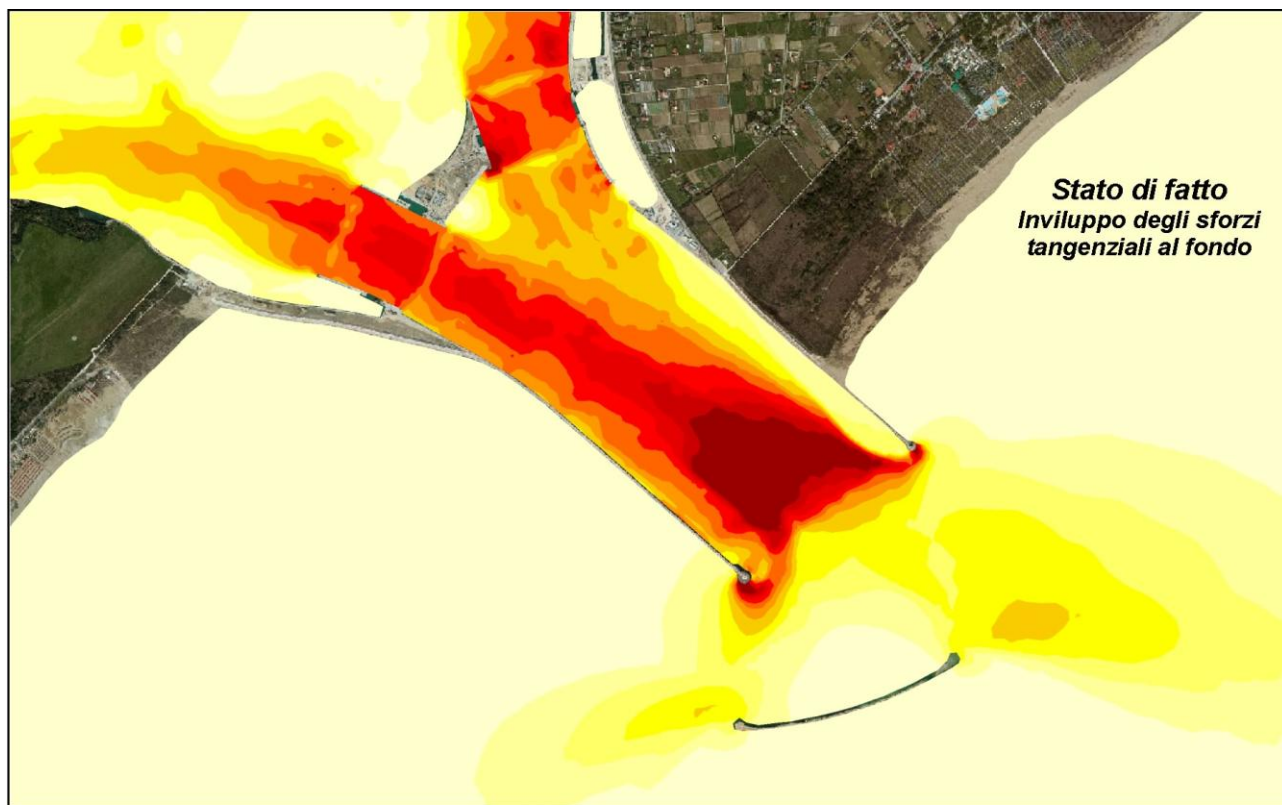


Figura 11 – Inviluppo dei massimi sforzi tangenziali al fondo calcolati nella simulazione relativa allo stato di fatto (SDF) e in quella relativa alla situazione di progetto (TCLV).

#### **4.5. Effetto della presenza delle navi all'ormeggio**

Un'ultima valutazione è stata condotta per verificare l'effetto sul campo di moto esercitato dalla presenza delle navi crocieristiche all'ormeggio.

Come è stato precedentemente richiamato, infatti, le navi all'ormeggio, previste nel numero massimo di 5, avendo lunghezza di oltre 300 m, larghezza di circa 35 m e pescaggio massimo di circa 8.5 m, potrebbero permanere all'ormeggio anche per 12 ore e potrebbero perciò influenzare in modo non trascurabile le correnti di flusso e di riflusso nella bocca.

E' stata perciò effettuata una ulteriore simulazione con il modello matematico modificando la geometria del reticolo di calcolo in modo da inserire l'ingombro determinato dalla presenza delle navi, disposte secondo lo schema rappresentato in Figura 1.

Come si è già detto precedentemente, il modello consente di rappresentare l'effetto della nave utilizzando degli elementi che funzionano "in pressione". In questo caso la quota del "cielo" di questi elementi è stata posta pari a -8.5 m, corrispondente al pescaggio delle navi di cui è previsto l'ormeggio.

Le mappe di Figura 12 rappresentano il campo di moto relativo alle fasi di massimo flusso entrante ed uscente nel caso in cui siano presenti le 5 navi all'ormeggio.

Se si confrontano queste mappe con quelle precedenti, relative allo stato di fatto e alla situazione di progetto (Figura 8 e Figura 9), si può concludere che le variazioni indotte dalla presenza delle navi assumono rilevanza principalmente in corrispondenza del pontile di ormeggio. Infatti in tale area la presenza delle navi esercita, come era prevedibile, un significativo ostacolo al flusso, che appare anche maggiore rispetto a quello esercitato dal pontile stesso.

In termini di circolazione generale nella Bocca, questo comporta che la diminuzione di resistenza lungo il lato NW del canale che si è riscontrata per la configurazione di progetto, legata al dragaggio dei fondali, sia parzialmente compensata dalle resistenze offerte dalla presenza delle navi, per cui la condizione risultante è quella di una distribuzione delle correnti più simile a quanto si osserva nello stato di fatto.

Nel dettaglio, peraltro, i campi di velocità non segnalano l'instaurarsi di zone a forte concentrazione di velocità o di marcati fenomeni di ricircolo, per cui la presenza delle navi all'ormeggio non sembra poter generare criticità in merito alle problematiche connesse con le correnti di marea.

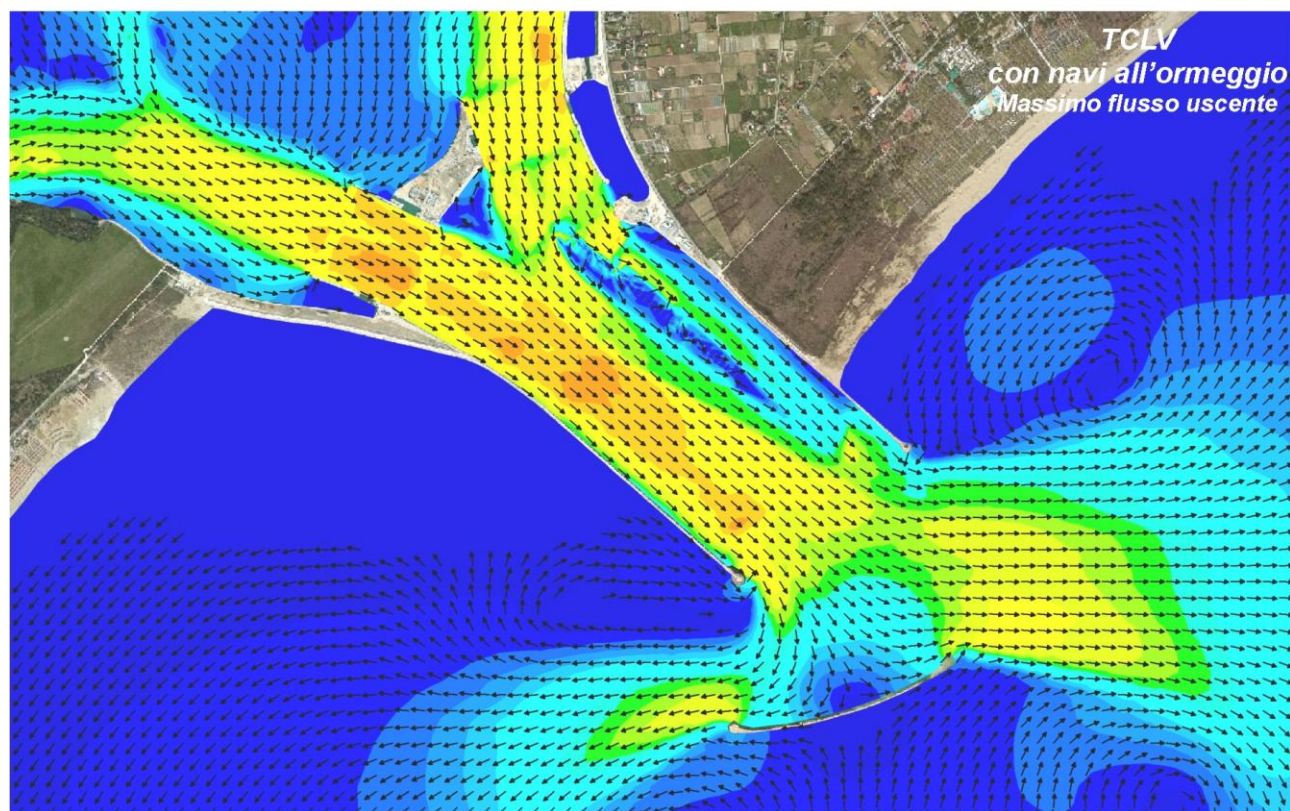
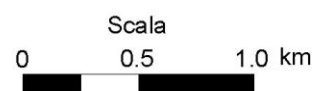
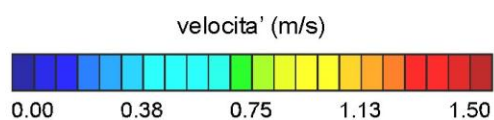
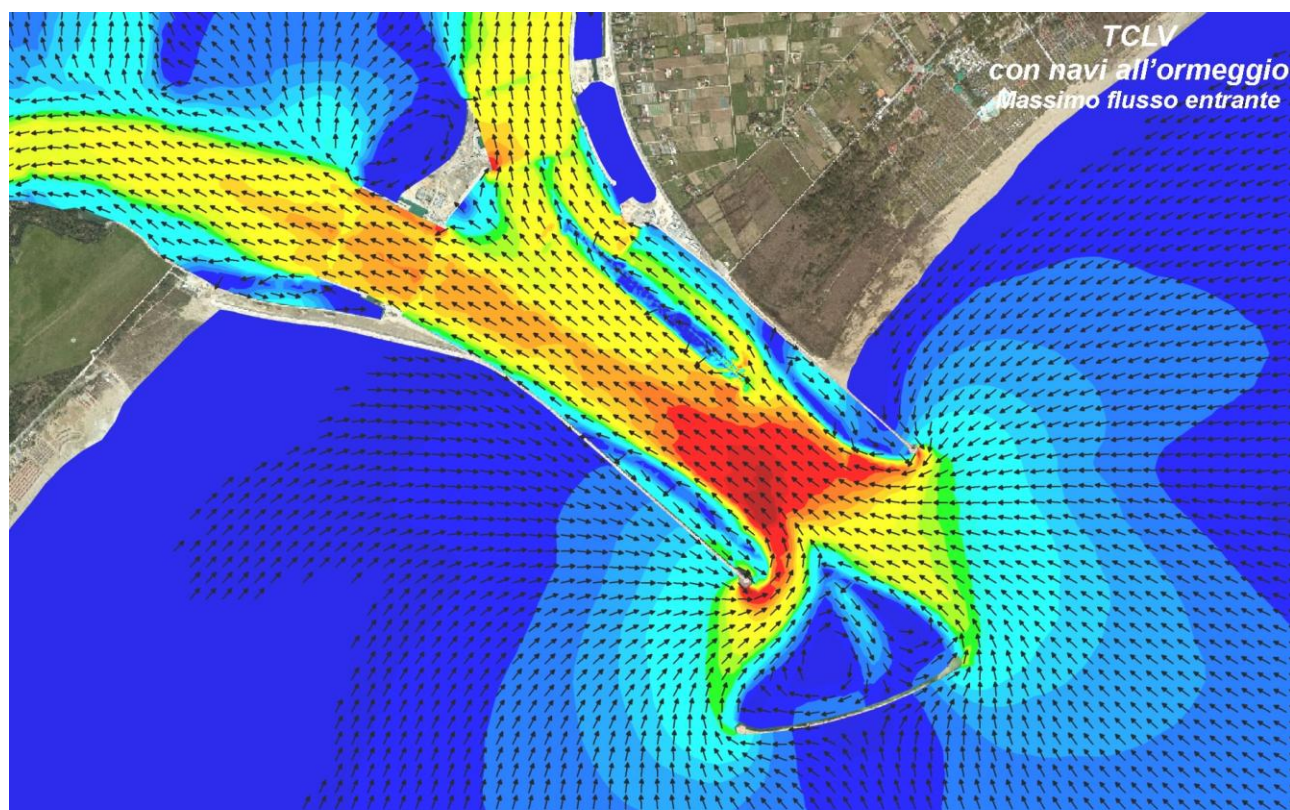


Figura 12 – Campi di velocità calcolati nelle fasi di massimo flusso entrante ed uscente nella simulazione relativa alla situazione di progetto (TCLV) considerando la presenza delle navi crocieristiche all'ormeggio.

## 5. Bibliografia

- [1] D'Alpaos, L. and A. Defina. "Modellazione matematica del comportamento idrodinamico di zone a barena solcate da una rete di canali minori". Estratto da *Rapporti e Studi, Ist. Veneto di Scienze, Lettere ed Arti*, 1995.
- [2] Defina, A., "Two-dimensional shallow flow equations for partially dry areas", *Water Resources Research*, vol.36, 11, 3251-3264, 2000.
- [3] Carniello, L., A. Defina. S. Fagherazzi, L. D'Alpaos, "A combined wind wave–tidal model for the Venice lagoon, Italy". *Journal of Geophysical Research*, vol. 110, f04007, doi:10.1029/2004jf000232, 2005.
- [4] D'Alpaos, L. and A. Defina. "Mathematical modeling of tidal hydrodynamics in shallow lagoons: A review of open issues and applications to the Venice lagoon", *Computers & Geosciences*, 33 (2007), pp. 476-496, doi:10.1016/j.cageo.2006.07.009.
- [5] Carniello, L., A. D'Alpaos, A. Defina, "Modeling wind waves and tidal flows in shallow microtidal basins". *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92 (2011) 263-276.
- [6] Carniello, L., A. Defina. 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.