



**Attività di ricerca per la mitigazione dei
processi eutrofici nella Laguna di Orbetello:**
*Studio sulla stima del bilancio dei nutrienti e sul
modello numerico della circolazione
idrodinamica*

Relazione finale tecnico-scientifica

DATA: 16/07/2018

Sommario

Premessa	4
1. Il problema dell'eutrofizzazione	5
2. Il bilancio dei nutrienti.....	6
3. Gli input dei nutrienti	7
3.1. Le acque di runoff dal bacino imbrifero	7
3.1.1. Il bacino imbrifero della laguna di Orbetello.....	8
3.1.2. L'utilizzo della modellistica	12
3.1.2.1. Descrizione di SWMM	12
3.1.2.2. Costruzione del progetto.....	19
3.1.2.3. Risultati della modellazione	23
3.1.2.4. Analisi di sensitività dei parametri che determinano la qualità delle acque.....	26
3.1.2.5. Risultati delle simulazioni aggiuntive	28
3.2. Gli scarichi degli allevamenti ittici	31
3.2.1. Le aziende coinvolte	33
3.2.1. Stima dei carichi influenti in laguna	37
3.3. Gli eventuali scarichi delle acque reflue.....	39
3.4. Le deposizioni atmosferiche	41
3.5. Apporto dal canale di Fibbia dovuto al fiume Albegna	43
4. Gli output dei nutrienti.....	45
4.1. La rimozione di azoto per denitrificazione nei sedimenti.....	45
4.2. I flussi in uscita tramite i canali	51
4.3. Il pesce pescato	52
4.4. Le alghe rimosse	53
5. Bilancio riassuntivo.....	55
6. L'ossigeno in laguna.....	56
7. Modello idrodinamico della laguna di Orbetello	61
7.1. Obiettivi dello studio	61
7.2. Metodologia e attività svolte	61

7.3.	Inquadramento del sito oggetto dello studio	64
8.	Il modello numerico MIKE 21 FM	66
8.1.	Dati batimetrici	67
8.2.	Dati anemometrici	68
8.2.1.	Dati anemometrici per la simulazione degli scenari caratteristici	68
8.2.2.	Dati anemometrici per la simulazione degli scambi annuali.....	73
8.3.	Dati idrometrici.....	74
8.3.1.	Dati idrometrici per la simulazione di scenari caratteristici di marea	75
8.3.2.	Dati idrometrici per la simulazione degli scambi annuali con il mare	77
8.4.	Portate del fiume Albegna.....	77
9.	Scenari di circolazione lagunare e scambi con l'esterno indotti da condizioni marea e venti tipici	79
9.1.	Dominio di calcolo per la forzante marea	79
9.2.	Dominio di calcolo per forzante di vento	80
9.3.	Metodologia e discussione dei risultati delle simulazioni degli scenari tipici di vento e marea.....	81
9.3.1.	Livelli idrici risultanti dalle forzanti di vento	86
9.3.2.	Velocità delle correnti risultanti dalle forzanti di vento	89
9.3.3.	Portate indotte dalle forzanti di vento.....	91
9.3.4.	Livelli idrici e velocità delle correnti risultanti dalla forzante di marea	95
9.3.5.	Portate risultanti dalla forzante marea	100
10.	Ricostruzione della circolazione lagunare durante un anno tipo.....	102
10.1.	Dominio di calcolo per la simulazione di un anno di eventi.....	102
10.2.	Metodologia e discussione dei risultati delle simulazioni del campo idrodinamico annuale	104
10.2.1.	Portate scambiate con il mare durante un anno	106
10.3.	Effetto delle griglie installate sui canali di Fibbia, Nassa e Ansedonia sui flussi e reflussi mareali	109
10.4.	Portate scambiate con il mare in regime naturale con la presenza delle griglie presso tutti i canali	111
10.5.	Influenza dei pompaggi sui livelli medi giornalieri della Laguna.....	114
10.6.	Validazione del modello numerico nel ricostruire l'idrodinamica lagunare	115

10.7. Contributo del flusso e reflusso semidiurno e diurno mareale sulle portate in ingresso in laguna.....	117
10.8. Valutazione circa l'eventuale implementazione della rete di monitoraggio idrodinamico esistente.....	119
11. Applicazione del modello per la previsione dell'efficacia di ipotesi di intervento	120
11.1. IPOTESI 1: Escavo di nuovi canali interni.....	120
11.2. IPOTESI 2: Escavo e allargamento dei canali esistenti	122
11.3. IPOTESI 3: Allargamento dei canali esistenti ed escavo di nuovi canali interni.....	123
11.4. Metodologia e discussione dei risultati delle simulazioni delle ipotesi di intervento	124
11.4.1. Analisi comparativa degli effetti derivanti dall'attuazione dell'ipotesi di intervento sul campo di correnti lagunari.....	124
Bibliografia.....	127
ALLEGATO A – Schede di scenari tipici della laguna di Orbetello nella condizione attuale...	131

Premessa

La Regione Toscana (in seguito Regione) e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (in seguito DICEA) hanno sviluppato un accordo di collaborazione scientifica per "attività di ricerca per la mitigazione dei processi eutrofici nella Laguna di Orbetello".

Il suddetto accordo è finalizzato a perseguire i seguenti obiettivi comuni:

- Completamento della raccolta ed analisi critica della documentazione esistente;
- Valutazione circa l'eventuale implementazione della rete di monitoraggio esistente;
- Attività di ricerca finalizzata alla stima del bilancio dei nutrienti;
- Ipotesi di modalità gestionali finalizzate a ridurre gli apporti dei nutrienti e/o incrementarne l'uscita accompagnata da analisi costi-benefici;
- Costruzione di un modello idrodinamico della laguna a partire dagli studi di modellistica idrodinamica effettuati in passato dal DICEA;
- Simulazione e valutazione di:
 - scenari tipici di circolazione idrica all'interno della laguna e scambi con l'esterno.
 - scambi e idrodinamica indotti da un anno di eventi.
 - ipotesi di intervento per il miglioramento della circolazione lagunare

Per la conduzione delle ricerche elencate, il DICEA si è organizzato coordinando le attività che, per le specifiche competenze, vengono condotte dal gruppo di Ingegneria Sanitaria-Ambientale (resp. Scientifico Prof. C. Lubello) e dal gruppo di Ingegneria Marittima (resp. Scientifico Prof. L. Cappietti).

Responsabili scientifici

Claudio Lubello

Lorenzo Cappietti

Gruppo di lavoro

Iacopo Ducci

Ilaria Crema

Valentina Vannucchi

Marco Montagni

Giuseppe Cocchi

Tommaso Lotti

Riccardo Gori

Stefano Dugheri

1. Il problema dell'eutrofizzazione

Il termine eutrofizzazione, che proviene dal greco eutrophia (eu=buono, trophòs=nutrimiento), individua uno stato di arricchimento da nutrienti per i corpi idrici. Le lagune costiere sono ecosistemi caratterizzati da una produttività primaria 10-15 volte superiore a quella delle aree continentali (Carrada and Fresi, 1988; Duarte, 1995; Valiela, 1995). Ciò è dovuto alla presenza di un'intensa attività microbica che, degradando le sostanze organiche, permette di riciclare i nutrienti in essa presenti (Mann, 1988; Sorokin et al., 1996). A ciò si aggiunga lo stock elevatissimo che viene ad essere disponibile nello strato sedimentario del fondale e che può tornare facilmente ad essere bio-disponibile al variare delle condizioni ambientali locali. Su questo stato nutrizionale si instaura una complessa rete alimentare che, più di altri sistemi marini, è collegata alla dinamica dei produttori bentici e planktonici (Mann, 1988; Izzo and Hull, 1991; Borum and Sand-Jensen, 1996).

Fra il 1975 ed il 1993 la laguna conobbe sempre più frequenti fenomeni di eutrofizzazione (Cognetti et al., 1978; Lenzi e Angelini, 1984; TEI, 1989; Bucci et al., 1992; Cartei and Innamorati, 1997) con pronunciati blooms algali accompagnati da crisi anossiche e da una progressiva sostituzione delle specie fanerogame con le pleustofite. Le crisi furono spesso accompagnate dalla morte di organismi aerobici, come nel 1986 e 1993 quando si stimarono perdite di pesci per, rispettivamente, 150 e 90 tonnellate (Lenzi, 1992; Innamorati, 1998). Le problematiche legate all'eutrofizzazione delle acque della laguna di Orbetello sono associate ad una serie di cause che hanno comportato nel tempo l'accumulo di nutrienti all'interno del corpo lacustre. I contaminanti ambientali, non solo quindi i nutrienti, sono derivati dalle diverse attività (civili e produttive) che si sono svolte nel bacino imbrifero, ed all'interno dello stesso corpo idrico, per un periodo di tempo molto lungo e senza alcuna forma di controllo. È probabile, in particolare, che un ruolo rilevante sia stato svolto dall'attività di una fabbrica di concimi chimici costruita agli inizi del '900, in riva alla Laguna, a ridosso della stazione ferroviaria, che terminò definitivamente le sue attività solo alla fine degli anni '80. Le attività della fabbrica furono la causa, dell'iscrizione della parte orientale della laguna di ponente tra i Siti di Bonifica di Interesse Nazionale (SIN) (Orbetello – Area ex Sitoco; art. 14 comma, lettera p-decies della Legge 31 luglio 2002 n. 179 "Disposizioni in materia ambientale"), sito perimetrato ai sensi dell'art. 1 comma 4 della Legge 9 dicembre 1998 n. 426 con decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio del 2 dicembre 2002,

e pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 72 del 27/03/2003 ed attualmente esteso a tutta la superficie lagunare.

Non sono tuttavia da sottovalutare gli innumerevoli altri apporti come quelli degli scarichi urbani cui si è posto rimedio con la costruzione di una rete fognaria dedicata ed il convogliamento dei reflui in un depuratore che scarica al di fuori della laguna. Tuttavia permangono gli allevamenti ittici che scaricando i propri reflui (uno direttamente in laguna, gli altri nei canali di collegamento con il mare) rappresentano tuttora un elemento di apporto nutrizionale non trascurabile su cui non sembrano siano trovate soluzioni definitive adeguate (Lenzi et al., 2003).

2. Il bilancio dei nutrienti

Il processo eutrofico è innescato da un'ipernutrizione del corpo idrico, cioè ad uno sbilanciamento del bilancio dei nutrienti che afferiscono al corpo idrico. Facendo riferimento ad uno specchio lacustre come quello della laguna di Orbetello, si ha una serie di input e di output dal sistema che dovrebbero essere misurati per valutare, per esempio su base annuale, eventuali fenomeni di accumulo. Misurare o, al limite, stimare ingressi ed uscite non è affatto semplice perché sono molteplici i percorsi che possono essere seguiti da nutrienti per raggiungere il corpo idrico o per uscirne da esso. Nella figura seguente sono riportati i principali elementi da tenere in considerazione per la misura nel bilancio dell'azoto, nel caso specifico della laguna di Orbetello.

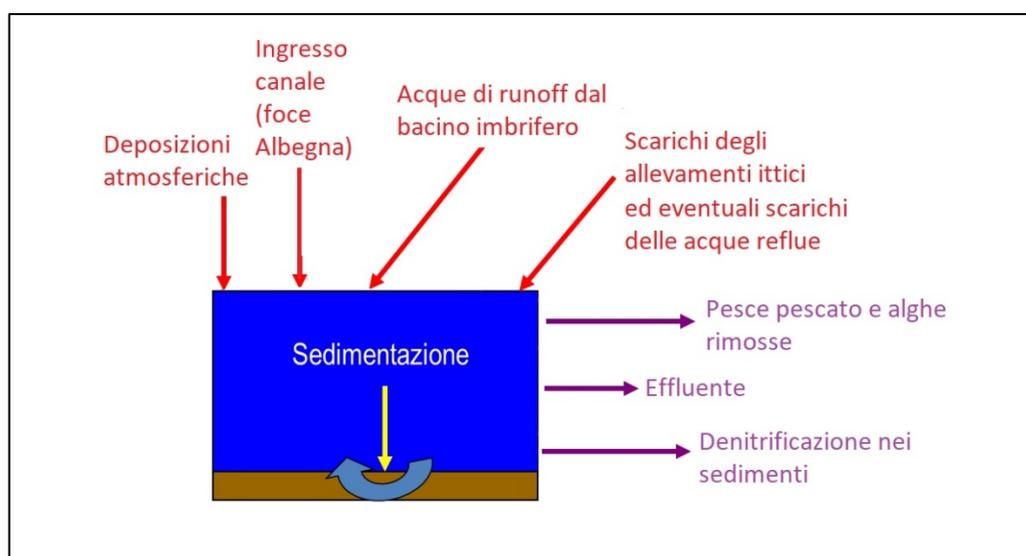


Figura 1 – Schematizzazione del bilancio dell'azoto.

Non tutte le voci hanno lo stesso peso, ma è buona norma, soprattutto in una prima fase di misura del bilancio non trascurare alcuna di esse poiché alcune ipotesi semplificative potrebbero essere fuorvianti. A seconda dei diversi corpi idrici le singole voci trovano una loro specifica particolareggiatura, che comporta attenzioni specifiche.

Nell'ampia documentazione disponibile sulla Laguna il controllo del bilancio dell'azoto trova uno spazio marginale. Il riferimento più recente è quello di Lenzi et al. (2003), aggiornato in una presentazione dello stesso primo autore che fa riferimento al 2008. Nel lavoro viene calcolato il bilancio dell'azoto che presenta ancora, nonostante gli interventi, un accumulo annuale di circa 10.000 kg. Ciò significherebbe che le azioni svolte non sono riuscite a modificare il segno del trend, che, continuando ad essere di accumulo, comporta anno dopo anno incremento del problema.

Per tale ragione in questo ambito si è proceduto ad una nuova e più completa valutazione del bilancio dei nutrienti (azoto e fosforo) tenendo conto della situazione attuale.

3. Gli input dei nutrienti

3.1. Le acque di runoff dal bacino imbrifero

Le acque pluviali di dilavamento di aree urbanizzate, o comunque adibite ad attività antropiche, rappresentano una fonte importante d'inquinamento dei corpi idrici ricettori. Le fonti di questo inquinamento sono strettamente legate alle caratteristiche degli ambienti con cui l'acqua di pioggia entra in contatto da quando si forma nell'atmosfera a quando, dopo essere caduta sul suolo, è raccolta da un sistema di drenaggio ed è scaricata in un corpo ricettore. Nell'attraversare l'atmosfera, le gocce di pioggia assorbono le sostanze ivi presenti e, se l'atmosfera è inquinata, anche la pioggia si carica di inquinanti (solidi sospesi, sostanze organiche, azoto, fosforo, cloruri, etc.). La pioggia, poi, una volta caduta al suolo, opera un dilavamento delle superfici del bacino, rimuovendo gli inquinanti che si sono accumulati sulle superfici stesse nel periodo asciutto antecedente l'evento. Laddove l'uso del suolo è caratterizzato prevalentemente da campi coltivati e vegetazione boschiva, come nel caso del bacino imbrifero della laguna di Orbetello, le sostanze dilavate derivano principalmente dai prodotti utilizzati in agricoltura (fertilizzanti, pesticidi, etc.) e dalle particelle che si depositano sulle superfici del suolo in tempo asciutto. Inoltre, nelle aree urbane, come il centro abitato di Orbetello, le sostanze dilavate comprendono, oltre alle

deposizioni atmosferiche, anche le emissioni del traffico, consistenti in prodotti di combustione e i residui dell'usura dei pneumatici, e i rifiuti solidi e liquidi (spazzatura, deiezioni animali, sversamenti accidentali di sostanze contaminanti) presenti, per le più varie cause, sulle superfici dilavate. La dinamica con cui le acque di dilavamento di origine meteorica si caricano di inquinanti è quindi estremamente complessa, coinvolgendo i diversi fenomeni che determinano l'accumulo degli inquinanti negli ambienti con cui l'acqua di pioggia viene in contatto, la loro rimozione esercitata dalla precipitazione e, infine, il loro trasporto operato dalle portate che defluiscono nel sistema di drenaggio. L'insieme di tutti questi fenomeni, nei quali intervengono in misura rilevante le caratteristiche dell'evento pluviometrico (intensità e altezza totale della precipitazione), determina la qualità delle acque scaricate.

3.1.1. Il bacino imbrifero della laguna di Orbetello

Il bacino imbrifero della laguna di Orbetello ha un'estensione di circa 67 km²; fanno parte di quest'area tutti i bacini idrografici dei torrenti e fossi (naturali e artificiali) che scaricano le proprie acque nella laguna di Orbetello. È quindi compresa una porzione di territorio del Monte Argentario (11.6 km² circa) e una porzione di territorio della costa (53.2 km² circa) che contribuiscono all'apporto di acque di ruscellamento tramite una serie di fossi e canali, e la lingua di terra su cui sorge la città di Orbetello (1.8 km² circa), dalla quale le acque meteoriche vengono scaricate in laguna tramite la rete fognaria. Nello specifico, il bacino individuato è stato suddiviso in 5 sottobacini, così denominati:

- 1) Argentario – ponente
- 2) Argentario – levante
- 3) Costa – levante
- 4) Costa – ponente
- 5) Orbetello

Nella seguente figura è indicato il bacino imbrifero, suddiviso nei sottobacini, e i fossi e/o canali che ne fanno parte.



Figura 2 – Sottobacini imbriferi della laguna di Orbetello

Per avere un quadro più dettagliato, si riportano di seguito, per ciascun sottobacino, i punti di scarico delle acque in laguna provenienti dai fossi e/o canali.



Figura 3 – Punti di scarico delle acque di dilavamento: lato Argentario – ponente.

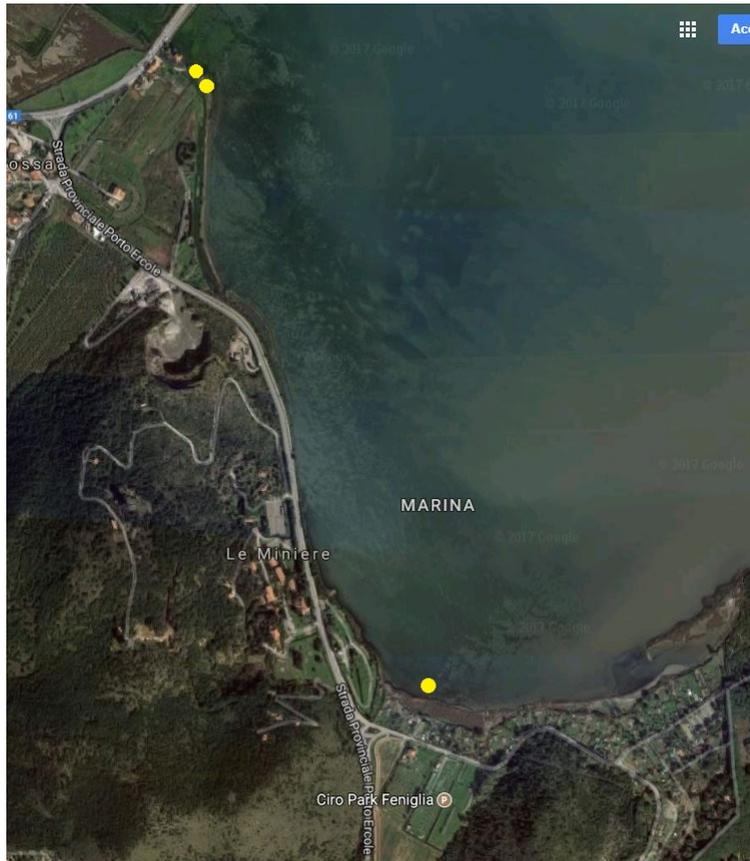


Figura 4 – Punti di scarico delle acque di dilavamento: lato Argentario – levante.



Figura 5 – Punti di scarico delle acque di dilavamento: lato Costa – levante.

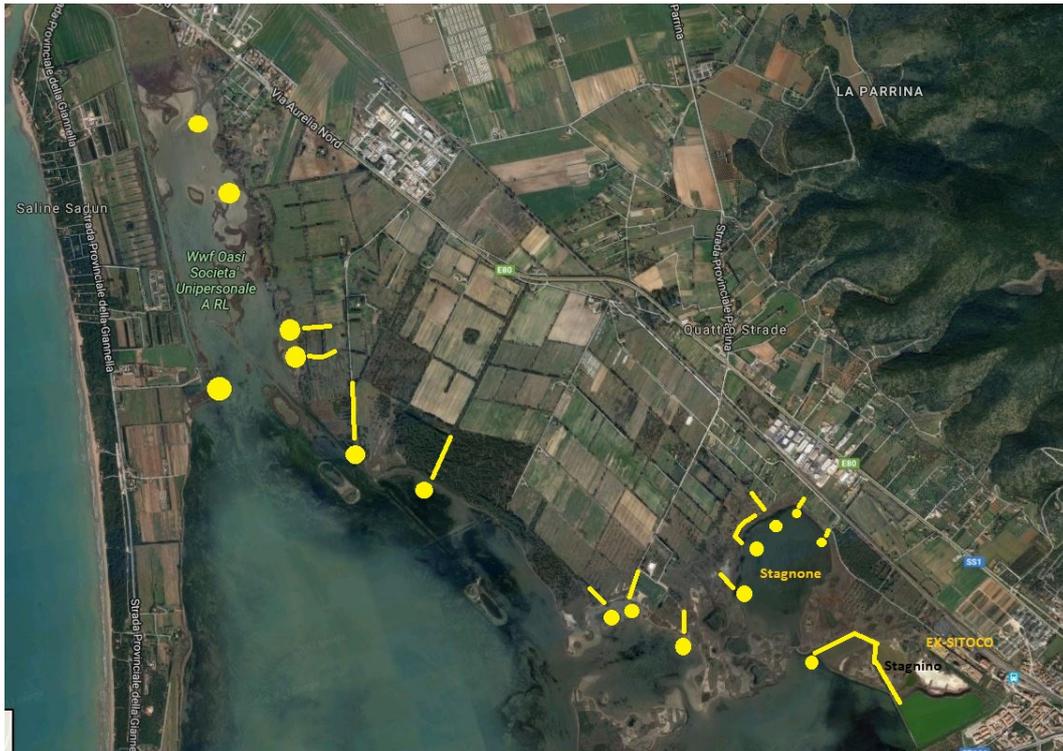


Figura 6 – Punti di scarico delle acque di dilavamento: lato Costa – ponente.

Nell’abitato di Orbetello sono stati individuati, dalle carte dell’Amministrazione Comunale, almeno 19 punti di scarico in laguna della fognatura delle acque meteoriche (bianche). Di seguito ne è riportato un esempio (in località Macelli).

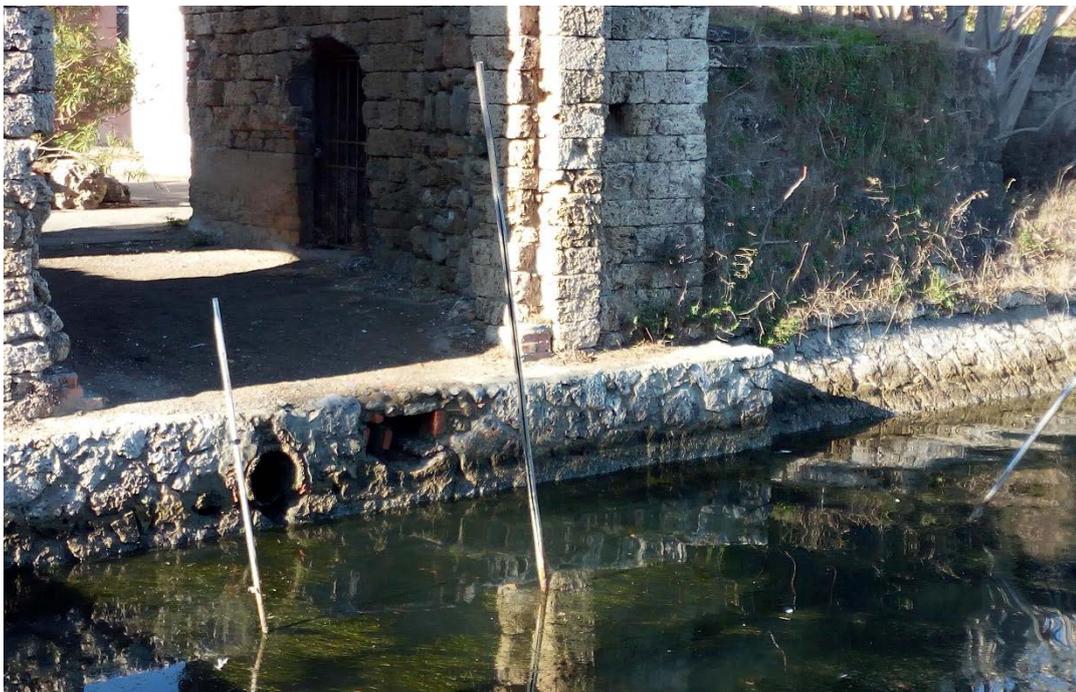


Figura 7 – Esempio di punto di scarico delle acque di dilavamento: lato Orbetello.

Come noto l'uso del suolo e il tipo di vegetazione influenzano notevolmente le caratteristiche di deflusso superficiale e diventano perciò parametri importanti nello studio di un bacino. L'uso del suolo del bacino della laguna è così caratterizzato: i campi coltivati coprono il 55% del territorio, la vegetazione boschiva il 43% e l'area urbana il 2%. Nello specifico:

Tabella 1 – Uso del suolo nei sottobacini della laguna

Sottobacini	Superficie [km ²]	Percentuale di Campi coltivati	Percentuale di Vegetazione boschiva	Percentuale di Area urbana
1	9.0	30%	70%	0%
2	2.6	81%	19%	0%
3	12.8	38%	62%	0%
4	40.4	65%	35%	0%
5	1.8	25%	0%	75%

Completata la fase di raccolta e analisi delle informazioni utili, si è proceduto alla stima dei deflussi generati dal bacino sia in termini di quantità che di qualità. A tale scopo è stato utilizzato il software di calcolo EPA Storm Water Management Model (SWMM), il cui funzionamento e i risultati ottenuti sono descritti nel paragrafo successivo.

3.1.2. L'utilizzo della modellistica

3.1.2.1. Descrizione di SWMM

Come anticipato il software utilizzato per lo studio in questione è EPA Storm Water Management Model (SWMM), prodotto e sviluppato dal Water Supply and Water Resources Division dell'Environmental Protection Agency (US-EPA). SWMM è stato concepito nel 1971 e nel corso degli anni ha subito continui sviluppi e miglioramenti fino ad arrivare alla versione usata in questo studio, la Versione 5.1. SWMM è in grado di simulare il movimento della precipitazione meteorica e degli inquinanti da essa trasportati dalla superficie del bacino alla rete dei canali e condotte che costituiscono il sistema di drenaggio. Tale programma è stato concepito per modellare in termini qualitativi e quantitativi tutti i processi che si innescano nel ciclo idrologico. Il suo utilizzo è molto flessibile e di fatto tale programma, benché sia nato prevalentemente come software di modellazione per reti di

fognature urbane, può essere tranquillamente applicato anche nel caso di canali aperti con sezioni regolari oppure di forma varia. SWMM offre la possibilità di compiere calcoli e simulazioni di tipo idraulico (grazie alla risoluzione e integrazione numerica in forma completa delle equazioni di De Saint Venant) su una rete di canali o condotte, sollecitata da fenomeni meteorici o da ingressi di natura diversa. Come si può osservare nella figura seguente, SWMM schematizza il bacino idrografico di drenaggio, e i suoi differenti componenti fisici, come vari compartimenti:

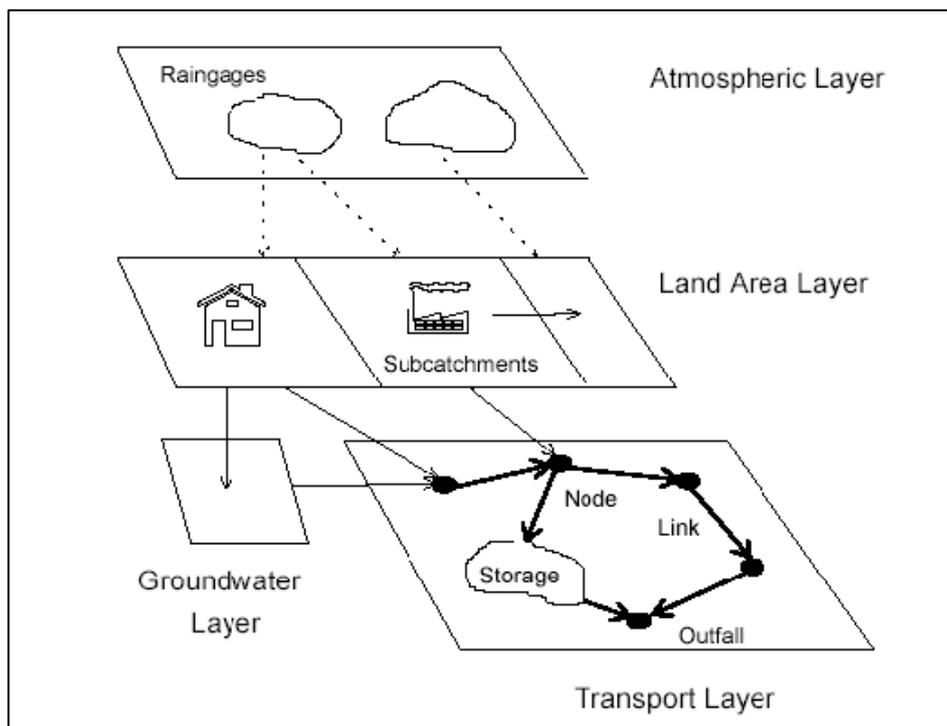


Figura 8 – Concettualizzazione di un' area di drenaggio in SWMM.

- Atmosfera: nel quale vengono definiti i valori di pioggia che la simulazione utilizza per le precipitazioni sul bacino. È possibile lanciare simulazioni di eventi critici di pioggia che vanno a sollecitare il bacino di studio di diverso tipo: a "evento singolo", ovvero simulazioni della durata di poche ore, o "in continuo", ovvero simulazioni della durata di diversi giorni o mesi.
- Suolo: può essere suddiviso in diversi sottobacini, ciascuno caratterizzato in maniera differente; riceve afflussi dal comparto Atmosfera, come pioggia, o sotto forma di deflusso superficiale proveniente da altre porzioni dal Suolo.
- Sottosuolo: il quale riceve infiltrazione dal Suolo e trasferisce gli efflussi al Trasporto.
- Trasporto: contiene la rete dei canali, condotte, manufatti. SWMM utilizza una descrizione topologica della rete basandosi su una geometria formata da rami e nodi. I rami e i nodi hanno ciascuno proprietà specifiche che, combinate tra loro, consentono la rappresentazione idraulica dell'intera rete di deflusso. In questo comparto si procede al calcolo della propagazione in rete, scegliendo tra diversi

moduli: moto uniforme, onda cinematica e moto vario, basato sulla risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant.

Dato lo scopo di questo studio, i comparti presi in considerazione sono stati l'Atmosfera, dalla quale provengono gli afflussi, e il Suolo, che restituisce i deflussi nelle forme di evaporazione, infiltrazione e deflusso superficiale. Sono stati invece tralasciati i comparti Sottosuolo e Trasporto, assumendo che tutti i deflussi superficiali, al netto di quelli persi per evaporazione e infiltrazione, confluiscono nella laguna di Orbetello, a prescindere dal sistema di propagazione che seguono.

D'altra parte non interessa nella redazione di un bilancio su base annuale ricostruire le dinamiche di trasporto all'interno di ogni singolo evento.

La routine idrologica

SWMM è in grado di rappresentare i vari processi idrologici che producono il deflusso dalle aree urbane e non, i quali includono le precipitazioni, l'evaporazione dell'acqua, l'infiltrazione di pioggia negli strati insaturi del terreno, la percolazione di acqua infiltrata negli strati dell'acqua freatica e l'interflow fra acqua freatica e la rete di fognatura. La variabilità spaziale di questi processi è realizzata dividendo la zona di studio in sottobacini, subcatchment, ognuno dei quali sarà diviso sulla base dell'area permeabile ed impermeabile. Il deflusso superficiale può essere diretto fra i subcatchments, o nei punti di entrata di una rete di fognatura. Di seguito vengono descritte proprietà dei bacini ed i metodi utilizzati da SWMM per rappresentare il deflusso superficiale ed i processi d'infiltrazione.

Le precipitazioni in SWMM vengono definite attraverso l'attribuzione dei rain gages i quali forniscono i dati di pioggia sui bacini. Questi possono essere inseriti manualmente in SWMM attraverso appositi editor, oppure possono essere caricati da un file di testo esterno. Le principali proprietà in input dei rain gages comprendono informazioni relative all'intensità o al volume della pioggia e l'intervallo di registrazione dei dati.

Per quanto riguarda i vari sottobacini è necessario immettere in SWMM i valori delle rispettive aree, le pendenze medie, la larghezza equivalente del bacino, la percentuale delle aree impermeabili, l'altezza delle depressioni superficiali nelle aree permeabili ed impermeabili, il coefficiente di Manning per le superfici permeabili ed impermeabili, ed infine i dati per il calcolo dell'infiltrazione. Le definizioni dei parametri più importanti sono di seguito riportate:

- Aree: viene immesso il valore dell'area del sottobacino, espresso in ettari;

- Pendenze medie: si tratta della pendenza media del singolo sottobacino; per una forma regolare il calcolo è semplicemente la differenza di altezza diviso per la lunghezza del deflusso; per geometrie più complesse devono essere delineati i diversi percorsi del deflusso superficiale, determinate le lunghezze dei pendii e calcolata una pendenza mediata utilizzando una media ponderata sui dislivelli e i percorsi del deflusso (Di Giano et al., 1977);
- Larghezza equivalente del bacino: se lo scorrimento superficiale è idealizzato come un deflusso lungo una superficie piana inclinata, nel caso più semplice di forma rettangolare, allora la larghezza del bacino di drenaggio è identificabile fisicamente con la larghezza della superficie su cui avviene lo scorrimento superficiale (vedi Figura 9). Poiché i sottobacini reali non avranno una forma rettangolare, è necessario adottare altre procedure per ottenere la larghezza per i casi più generali. Una buona stima per la larghezza può essere ottenuta determinando la lunghezza media del deflusso superficiale e dividendo l'area per questa lunghezza. Quando si assegna una lunghezza del percorso del deflusso superficiale, in particolare per i siti con copertura del suolo naturale, si deve riconoscere che c'è una distanza massima sulla quale prevale un flusso reale. Al di là di questa distanza il deflusso si incanala in ruscelli con velocità maggiori e meno possibilità di infiltrazione. Nel caso non si riesca a individuare una lunghezza del percorso dei deflussi prima che essi si incanalino in ruscelli, si può assumere una lunghezza di circa 150 m per le aree naturali.

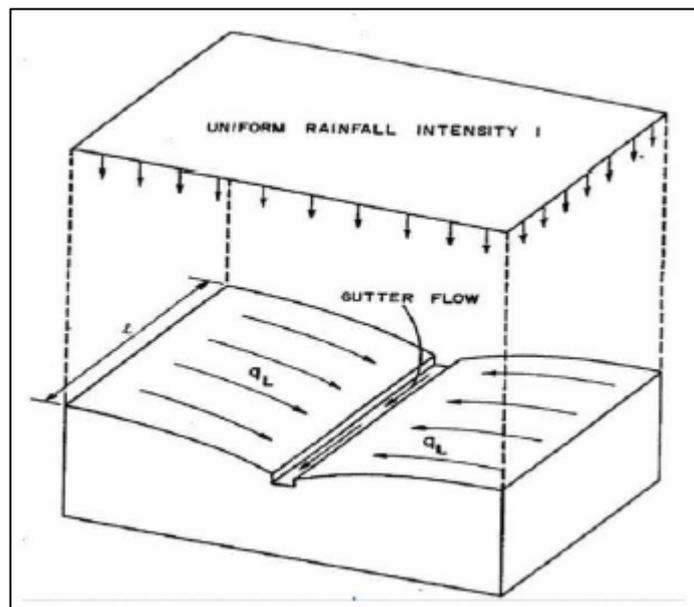


Figura 9 – Schematizzazione del bacino.

- Percentuale aree impermeabili: il valore introdotto è definito come il rapporto tra le superfici impermeabili, quali strade ed aree urbane, e l'area totale del sottobacino;

- Altezza delle depressioni superficiali: l'altezza d'acqua nelle depressioni superficiali viene considerata come una perdita causata da diversi fattori tra i quali possiamo annoverare il ristagno delle acque e l'intercettazione da parte delle asperità del terreno e delle superfici. L'acqua così immagazzinata è soggetta, nel caso di superfici permeabili, ad infiltrazione (ed evaporazione), ragion per cui viene continuamente e rapidamente rimpiazzata, mentre nel caso di superfici impermeabili questa è esaurita solo per evaporazione, ragion per cui viene rinnovata in maniera più lenta. Nell'immissione dei dati risulta quindi necessario utilizzare due valori distinti, uno per le aree permeabili ed uno per quelle impermeabili. Inoltre per le superfici impermeabili viene indicata una percentuale di area nella quale non si hanno depressioni, e quindi non si ha immagazzinamento di acqua; in tale maniera si ottiene che una parte delle superfici impermeabili risponde immediatamente alla sollecitazione dovuta alle piogge generando un deflusso superficiale in tempi minori.

Come detto, il deflusso superficiale è costituito da quella parte di precipitazione che scorre sulla superficie del terreno e si raccoglie successivamente nella rete di scolo; i fenomeni idrologici di infiltrazione, intercettazione e di accumulo nelle depressioni superficiali costituiscono di fatto delle perdite che vengono sottratte all'afflusso meteorico totale, rappresentato dalla pioggia lorda, fornendo così la pioggia netta, ossia quella quota di precipitazione che contribuisce al deflusso superficiale. Il deflusso superficiale, schematizzato dal programma SWMM, può essere concettualmente raffigurato dalla seguente figura.

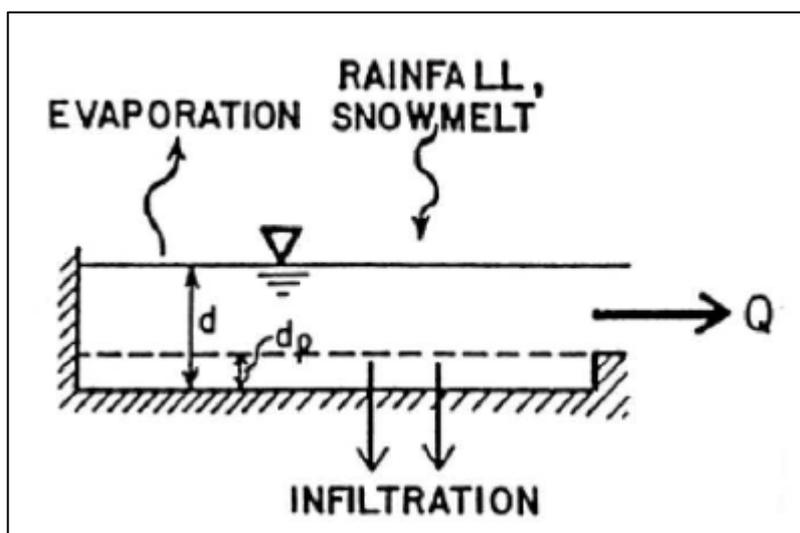


Figura 10 – Rappresentazione concettuale del deflusso superficiale in SWMM.

Ogni superficie dei sottobacini è trattata come un serbatoio non-lineare. Gli ingressi derivano dalle precipitazioni, dalle piogge e/o scioglimento delle nevi, le uscite sono diverse e sono rappresentate dall'evaporazione, dall'infiltrazione e dal deflusso superficiale. Il

volume di questo serbatoio è rappresentato dalla massima capacità di immagazzinamento delle depressioni, ossia quel volume d'acqua intercettata da avvallamenti, sconnessioni delle superfici e ristagni. Il deflusso superficiale per unità di area, Q , si innesca ogniqualvolta l'altezza d'acqua nel serbatoio supera il valore delle depressioni d_p , ed in questo caso il flusso che fuoriesce è dato dalla equazione:

$$Q = W \frac{1,49}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2}$$

dove:

- Q = deflusso superficiale;
- W = "larghezza" del sottobacino;
- n = coefficiente di scabrezza di Manning;
- d = altezza dell'acqua;
- d_p = altezza delle depressioni superficiali;
- S = pendenza del sottobacino.

L'altezza dell'acqua dei sottobacini è continuamente aggiornata nel corso del calcolo, risolvendo numericamente il bilancio d'acqua presente sul sottobacino. I sottobacini sono divisi in due porzioni: impermeabili (aree urbane, zone industriali e strade) e permeabili (aree destinate a coltivazioni ad esempio), questo perché il deflusso superficiale può infiltrarsi attraverso la porzione superficiale delle aree permeabili.

L'infiltrazione è quel processo per cui le acque meteoriche cadute al suolo su aree permeabili penetrano attraverso la superficie del terreno per giungere negli strati inferiori del suolo. SWMM offre tre possibilità di calcolo per l'infiltrazione, tra le quali il modello di Horton. Questo si basa su osservazioni empiriche che dimostrano che l'infiltrazione nel caso di una precipitazione sufficientemente prolungata diminuisce esponenzialmente da un tasso iniziale massimo ad un tasso minimo. Vale la seguente legge:

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

dove:

- f = capacità d'infiltrazione al tempo t ;
- f_0 = valore massimo iniziale di f ;
- f_c = valore costante finale di f a suolo saturo;
- k = costante dipendente dalle caratteristiche del suolo;
- t = durata della pioggia.

La qualità delle acque

Per quanto riguarda la qualità delle acque, SWMM è in grado di modellare diversi processi per qualsiasi numero di componenti di qualità delle acque definite dall'utente. I principali processi sono:

- accumulo di inquinante in condizioni meteorologiche asciutte su diversi usi del suolo;
- carico inquinante prodotto dall'effetto di lavaggio della precipitazione sul suolo durante gli eventi di pioggia;
- contributo diretto dovuto al deposito da parte delle precipitazioni;
- riduzione dell'accumulo di inquinanti in tempo asciutto dovuto alla pulizia delle strade.

L'accumulo degli inquinanti (*buildup*) e l'effetto di lavaggio (*washoff*) sono valutati sulla base dell'uso del suolo assegnato a quelle aree. Quando si definisce l'uso del suolo, infatti, occorre associare ad esso le sostanze inquinanti coinvolte e i parametri di *buildup* e *washoff* specifici.

In particolare per ciascun inquinante è importante indicare, se diversa da zero, la concentrazione nell'acqua di pioggia. Per gli usi del suolo, invece, è necessario individuare:

- per il *buildup*
 - il tipo di funzione di accumulo da utilizzare per ciascun inquinante; le scelte sono NONE senza accumulo, POW per la funzione di accumulo potenziale, EXP per la funzione di accumulo esponenziale, SAT per la funzione di accumulo di saturazione e EXT per l'accumulo fornito da serie temporali esterne;
 - l'accumulo massimo che può verificarsi, espresso in massa di inquinante per unità della variabile normalizzata (generalmente l'area);
 - le varie costanti che regolano il tasso di accumulo dell'inquinante.
- per il *washoff*
 - il tipo di funzione di lavaggio da utilizzare per ciascun inquinante; le scelte sono NONE senza lavaggio, EXP per la funzione di lavaggio esponenziale, RC per la funzione di lavaggio con curva di deflusso e EMC per il lavaggio sulla base della concentrazione dell'evento medio;
 - le varie costanti che regolano il tasso di lavaggio dell'inquinante;
 - l'efficienza di rimozione dell'inquinante associata alla pulizia delle strade o a qualsiasi buona pratica di gestione che potrebbe essere stata attuata.

3.1.2.2. Costruzione del progetto

Per la modellazione idrologica del bacino imbrifero della laguna di Orbetello si è così proceduto:

1) Caratterizzazione dei sottobacini

Sono stati tracciati i 5 sottobacini individuati e sulla base di quanto precedentemente descritto sono state indicate le caratteristiche di ciascun sottobacino. Le aree sono quelle effettive, le pendenze sono mediate sui dislivelli e i percorsi del deflusso, le larghezze sono calcolate assumendo una lunghezza massima di flusso reale di 150 m, la percentuale delle aree impermeabili e l'altezza delle depressioni superficiali sono assunte da letteratura, sulla base degli usi del suolo individuati per ciascun bacino. A titolo di esempio nella seguente figura è riportata la finestra di gestione delle caratteristiche di un sottobacino.



Property	Value
Name	S1
X-Coordinate	7482.965
Y-Coordinate	4677.665
Description	
Tag	
Rain Gage	Gage1
Outlet	Out1
Area	900
Width	60000
% Slope	0.47
% Imperv	5
N-Imperv	0.015
N-Perv	0.24
Dstore-Imperv	1.5
Dstore-Perv	0.05
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	2
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
User-assigned name of subcatchment	

Figura 11 – Finestra dell'editor delle proprietà di un sottobacino

Si evidenzia che a ciascun sottobacino è stato assegnato il medesimo evento meteorico, ovvero la serie temporale immessa (Gage1), e l'elemento a cui il sottobacino è connesso, in questo caso la sezione di chiusura (Out1) dalle quale sono scaricate tutte le acque di *runoff* nella laguna.

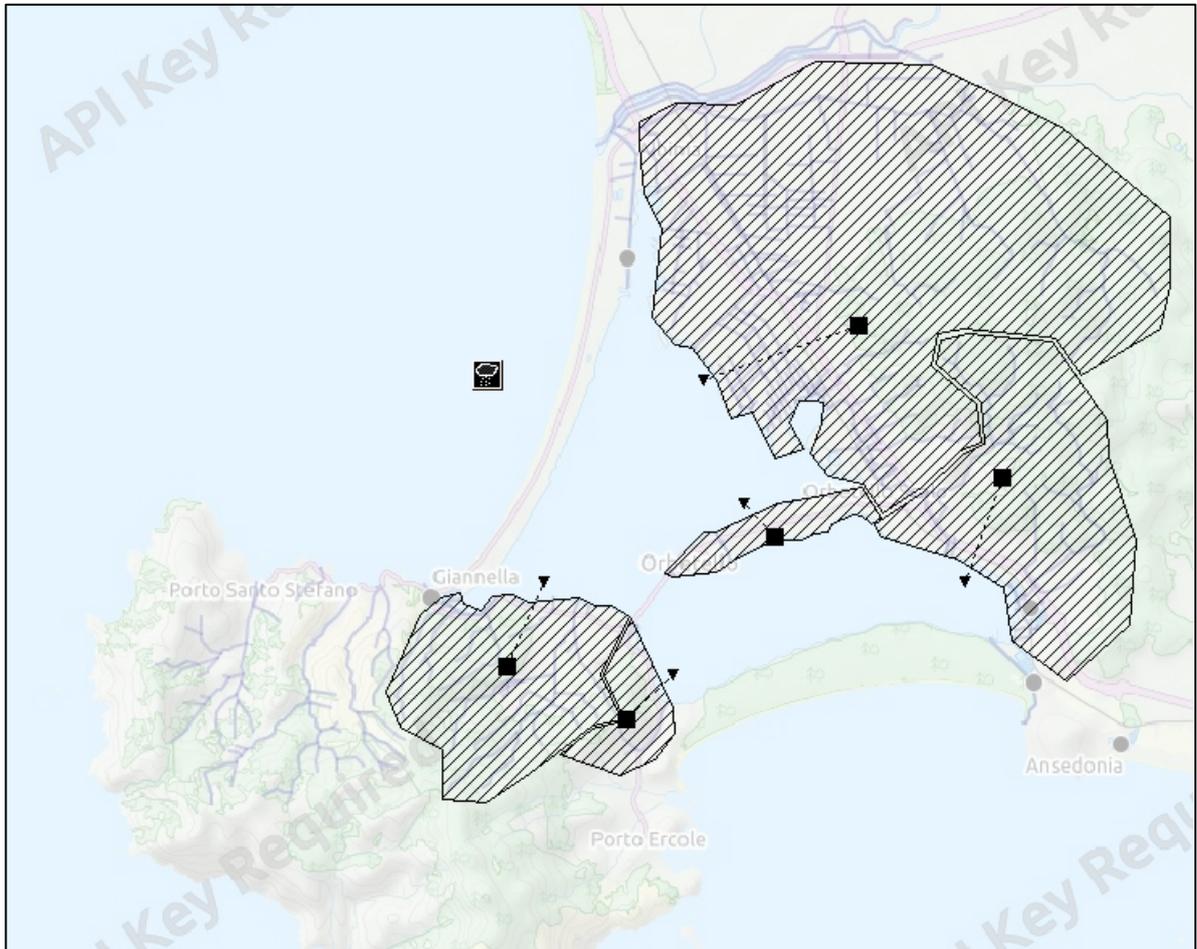


Figura 12 – Schema del modello con i sottobacini, le sezioni di chiusura e il pluviometro.

2) Inserimento dei dati meteorologici

È stata effettuata una simulazione continua usando il set di dati di precipitazione (mm) ad intervalli orari dell'intero anno 2016. I dati sono stati registrati dalla stazione pluviometrica TOS10003000 di Talamone (GR), poiché la stazione TOS11000508 di Orbetello, nell'anno 2016 ha presentato un evidente malfunzionamento; tuttavia essendo Talamone distante circa 20 km da Orbetello, si è ritenuto trascurabile questo aspetto. Per quanto riguarda la temperatura dell'aria è stato usato il set di dati di temperatura giornaliera rilevata ad Orbetello nell'anno 2016. Il software richiede una temperatura massima e una minima giornaliera ed effettua un'interpolazione sinusoidale per la simulazione in continuo.

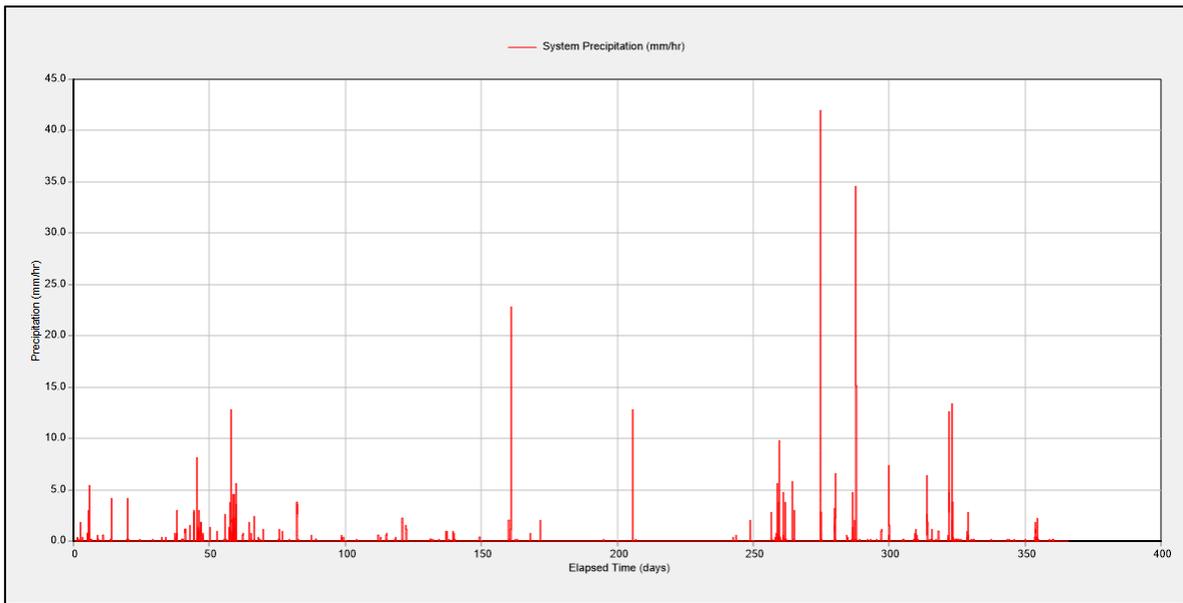


Figura 13 – Andamento delle precipitazioni nel 2016.

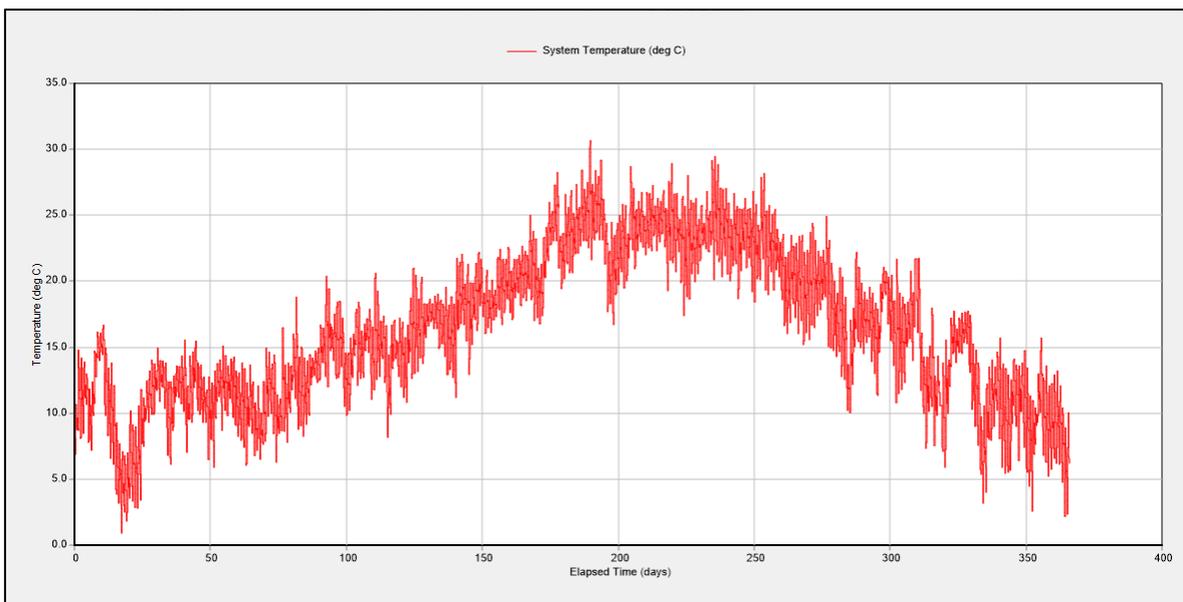


Figura 14 – Andamento delle temperature nel 2016.

Sulla base dei valori giornalieri delle temperature dell'aria, SWMM calcola i tassi di evaporazione che interessano in questo caso l'acqua ferma nelle superfici del sottobacino e l'acqua che scorre sul suolo dilavato.

3) Inserimento degli inquinanti e degli usi del suolo

Gli inquinanti considerati sono stati l'azoto (N) e il fosforo (P). La concentrazione nell'acqua di pioggia è stata assunta, rispettivamente, pari a 0.76 mgN/l e 0.015 mgP/l, sulla base di quanto emerso da studi in letteratura (Marchetto et al., 2014; Markaki et al., 2010). Gli usi del suolo considerati sono stati i campi coltivati, la vegetazione boschiva e l'area urbana. Le

percentuali di copertura del territorio di ciascun bacino sono riportate in Tabella 1. Sia per il *buildup* che per il *washoff* è stata assunta la funzione esponenziale.

Per il *buildup* è:

$$B = C_1(1 - e^{-C_2 t})$$

dove:

- C_1 è l'accumulo massimo che può verificarsi (massa per unità di superficie, kg/ha);
- C_2 è il tasso di accumulo (1/giorni);
- t è il periodo di tempo asciutto (giorni).

Mentre per il *washoff* è:

$$W = C_1 q^{C_2} B$$

dove:

- C_1 è il coefficiente del *washoff*;
- C_2 è l'esponente del *washoff*;
- q è il rateo di *runoff* (mm/h per unità di superficie, mm/(h ha));
- B è l'accumulo dell'inquinante (massa, kg).

I valori dei parametri, riportati di seguito, sono stati assunti sulla base di quanto emerso da studi in letteratura (Hossain et al., 2011).

Tabella 2 – Parametri scelti per il buildup e il washoff.

	Campi coltivati		Vegetazione boschiva		Area urbana	
	N	P	N	P	N	P
Buildup						
- Function	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP
- C₁	4	2	2.4	1.2	3	1.5
- C₂	0.23	0.15	0.23	0.15	0.23	0.15
Washoff						
- Function	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP
- C₁	0.0024	0.00021	0.0032	0.00070	0.0015	0.0008
- C₂	0.77	0.82	0.77	0.82	0.77	0.82

Il numero di giorni senza precipitazioni prima dell'inizio della simulazione è stato posto pari a 35, come emerso dalle registrazioni negli ultimi due mesi dell'anno 2015, precedenti al periodo simulato. Questo valore, da inserire nella finestra di dialogo delle opzioni di simulazione, viene utilizzato per calcolare l'accumulo iniziale di carico inquinante sulla superficie dei sottobacini.

3.1.2.3. Risultati della modellazione

L'output principale restituito da SWMM a seguito di una simulazione è lo Status Report, che contiene le informazioni di riepilogo dei risultati della simulazione. Di seguito è riportata la porzione di interesse dello Status Report.

```

*****
Analysis Options
*****
Flow Units ..... CMS
Process Models:
  Rainfall/Runoff ..... YES
  RDII ..... NO
  Snowmelt ..... NO
  Groundwater ..... NO
  Flow Routing ..... NO
  Water Quality ..... YES
Infiltration Method ..... HORTON
Starting Date ..... 01/01/2016 00:00:00
Ending Date ..... 12/31/2016 23:00:00
Antecedent Dry Days ..... 35.0
Report Time Step ..... 00:05:00
Wet Time Step ..... 00:05:00
Dry Time Step ..... 01:00:00

*****
Runoff Quantity Continuity
*****
Total Precipitation ..... 4110.155      616.400
Evaporation Loss ..... 280.896      42.126
Infiltration Loss ..... 2537.287      380.517
Surface Runoff ..... 1299.454      194.879
Final Storage ..... 0.000      0.000
Continuity Error (%) ..... -0.182

*****
Runoff Quality Continuity
*****
Initial Buildup ..... 21916.260      10900.627
Surface Buildup ..... 9428.108      777.815
Wet Deposition ..... 31237.363      616.527
Sweeping Removal ..... 0.000      0.000
Infiltration Loss ..... 19283.492      380.595
BMP Removal ..... 0.000      0.000
Surface Runoff ..... 19304.751      915.495
Remaining Buildup ..... 21915.527      10957.867
Continuity Error (%) ..... 3.320      0.334

```

Figura 15 – Porzione dello Status Report della simulazione effettuata (dati anno 2016)

Si osserva che la qualità della simulazione è buona, essendo gli errori tollerabili nel bilancio della continuità della massa per il deflusso in termini di quantità (-0.182%) e in termini di qualità (3.320% per l'azoto e 0.334% per il fosforo). Dei 616.4 mm di pioggia che sono caduti complessivamente sulla zona di studio, il 7% è evaporato (42.1 mm), il 62% si è infiltrato nel

terreno (380.5 mm) e il restante 31% è diventato deflusso superficiale (194.8 mm). Per quanto riguarda l'azoto l'accumulo iniziale è pari a 21916 kg, l'accumulo superficiale durante i giorni di tempo secco nel periodo di simulazione è pari a 9428 kg e quello dovuto alle deposizioni umide è pari a 31237 kg; il carico infiltratosi è pari a 19283 kg, quello dilavato e defluito sul suolo è pari a 19304 kg e quello rimanente come accumulo sul suolo è pari a 21915 kg. Per quanto riguarda il fosforo invece l'accumulo iniziale è pari a 10900 kg, l'accumulo superficiale durante i giorni di tempo secco nel periodo di simulazione è pari a 777 kg e quello dovuto alle deposizioni umide è pari a 616 kg; il carico infiltratosi è pari a 380 kg, quello dilavato e defluito sul suolo è pari a 915 kg e quello rimanente come accumulo sul suolo è pari a 10957 kg. In definitiva l'apporto di azoto alla laguna di Orbetello da parte del dilavamento superficiale del bacino imbrifero durante un anno di riferimento è stimabile, in questa prima fase, pari a 19304 kg; mentre quello di fosforo è stimabile pari a 915 kg.

SWMM restituisce anche un sommario dei risultati, sia in termini di *runoff* che di *washoff*, per ciascun elemento presente nel modello, in questo caso i 5 sottobacini. Di seguito quanto emerge da questa simulazione in forma grafica:

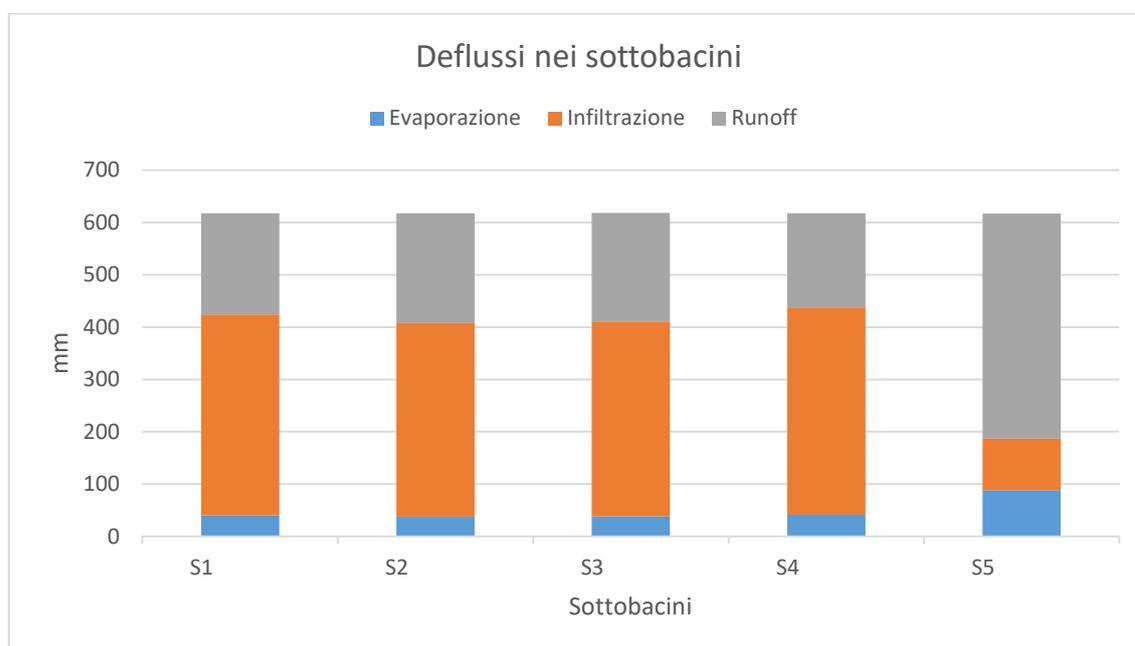


Figura 16 – Distribuzione dei deflussi nei sottobacini (dati anno 2016).

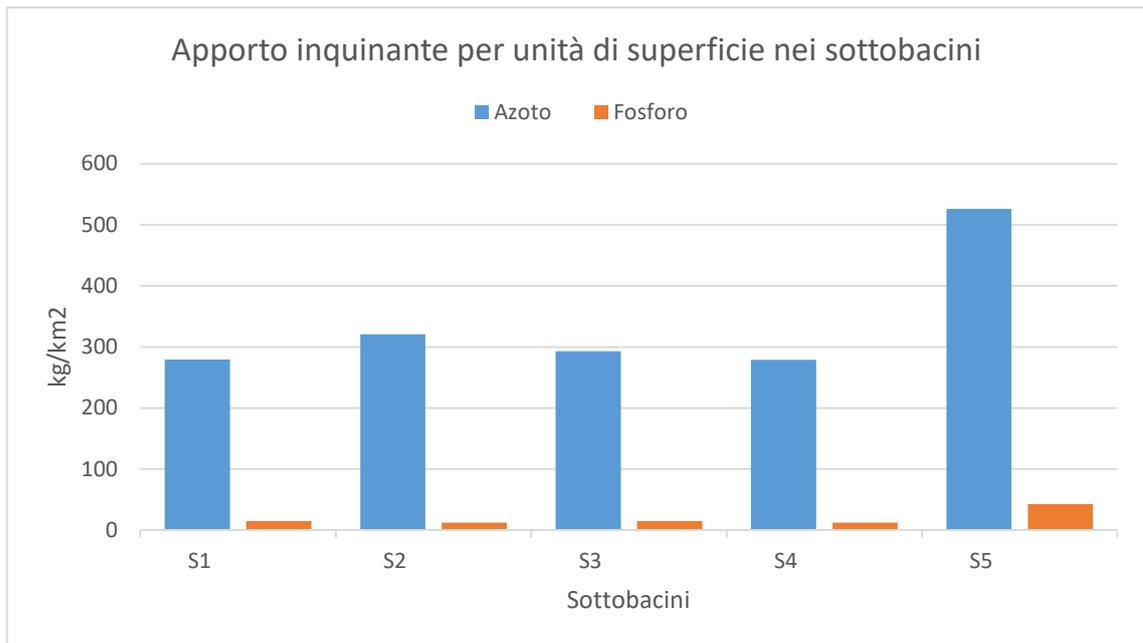


Figura 17 – Apporto inquinante per unità di superficie nei sottobacini (dati anno 2016).

In Figura 16 si osserva che nei sottobacini da 1 a 4 la distribuzione nelle tre diverse vie di deflusso dell'acqua meteorica è simile, mentre si differenzia nel sottobacino 5, dove la componente di *runoff* è maggiore. Questo è funzione della diversa copertura degli usi del suolo considerata (vedi Tabella 1). Nel sottobacino 5, infatti, rappresentante l'abitato di Orbetello, la massiccia presenza di area urbana, quindi essenzialmente impermeabile, determina, rispetto agli altri sottobacini dove sono maggiormente presenti campi coltivati e vegetazione boschiva, una bassa infiltrazione e uno scorrimento superficiale più intenso. Anche il termine di evaporazione è maggiore nel sottobacino 5, dal momento che, nelle aree impermeabili, l'acqua immagazzinata nelle depressioni superficiali non potendo infiltrarsi è esaurita solo per evaporazione.

I carichi inquinanti (per unità di superficie), riportati in Figura 17, sono in linea con quanto sopra esposto; infatti, laddove il *runoff* è maggiore, sarà maggiore anche la massa di inquinante disciolto trasportata. Ovviamente, dato che il sottobacino 4 (Costa-ponente) è di gran lunga quello più esteso, i carichi maggiori di azoto e fosforo provengono da quest'ultimo (vedi tabella sottostante).

Tabella 3 – Carichi di N e P provenienti dai sottobacini.

Sottobacino	N (kg)	P (kg)
S1	2516	134
S2	834	32

S3	3749	188
S4	11270	486
S5	936	76

3.1.2.4. *Analisi di sensitività dei parametri che determinano la qualità delle acque*

Data la complessità, e per certi versi l'impossibilità, nel recuperare dei dati sperimentali riguardo ai carichi di nutrienti riversati in laguna dalle acque di *runoff*, come ad esempio le concentrazioni degli inquinanti in un preciso scarico durante un evento meteorico, non è stato possibile effettuare una calibrazione dei parametri coinvolti nei processi che determinano la qualità delle acque. Tuttavia, si è ritenuto opportuno, ed altrettanto valido, ai fini un approfondimento del tema in questione, eseguire un'analisi di sensitività, con l'obiettivo di individuare, tra le diverse costanti analizzate, quelle che maggiormente influenzano i risultati della simulazione, e in che misura lo fanno.

Come descritto in precedenza, sia per il *buildup* che per il *washoff*, è stata utilizzata la funzione esponenziale; i parametri esaminati sono, pertanto, C1 e C2 del *buildup*, e C1 e C2 del *washoff*. A questi è stata aggiunta anche la concentrazione nell'acqua di pioggia.

La simulazione di riferimento, rispetto al quale valutare la variazione dei risultati, è naturalmente quella riportata nel paragrafo precedente. I valori dei parametri utilizzati (vedi Tabella 1) e delle concentrazioni nella pioggia (0.76 mgN/l e 0.015 mgP/l) sono stati, come detto, assunti sulla base di quanto emerso da studi in letteratura e ritenuti validi, poiché i luoghi di studio erano affini a quelli oggetto del presente lavoro.

L'analisi di sensitività è stata condotta andando a valutare la variazione percentuale del carico di azoto e fosforo dilavato, rispetto al carico ottenuto con la simulazione di riferimento, all'aumento o diminuzione dei singoli parametri, in un certo range prefissato. Di seguito quanto ottenuto:

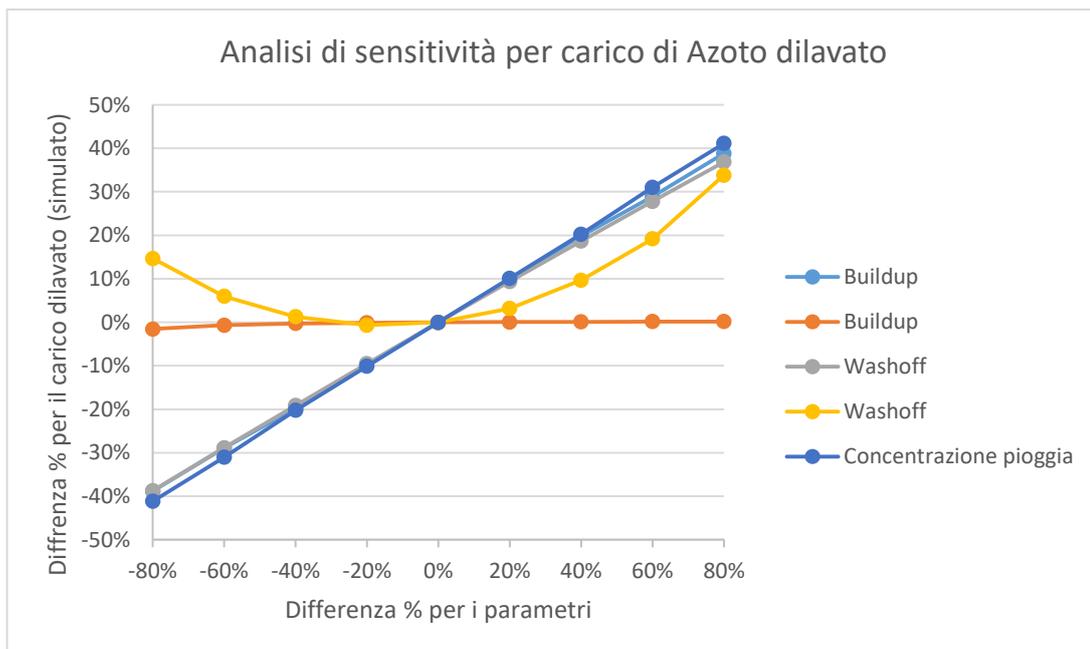


Figura 18 – Analisi di sensitività per il carico di azoto (dati anno 2016).

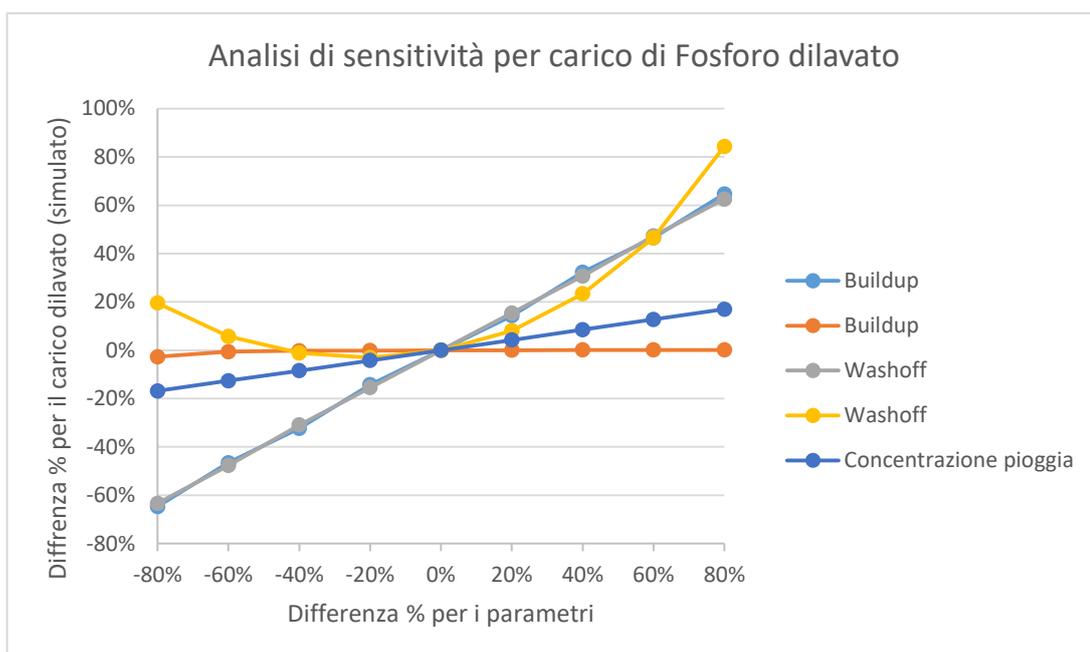


Figura 19 – Analisi di sensitività per il carico di fosforo (dati anno 2016).

Per quanto riguarda i carichi di azoto (Figura 18), i parametri che maggiormente influenzano i risultati della simulazione, sono, praticamente in egual misura, C1 sia del *buildup* che del *washoff* e la concentrazione nell'acqua di pioggia. Questi, in un range di $\pm 80\%$, determinano una variazione del carico di N di $\pm 40\%$; ciò significa che il carico di N, stimato essere di 19.3 tonnellate (t), potrebbe assumere un valore compreso tra 27 e 11.6 t. Per quanto riguarda,

invece, i carichi di fosforo (Figura 19), i parametri che maggiormente influenzano i risultati della simulazione, sono C1 sia del *buildup* che del *washoff*. Questi, in un range di $\pm 80\%$, determinano una variazione del carico di P di $\pm 60\%$; ciò significa che il carico di P, stimato essere di 0.91 t, potrebbe assumere un valore compreso tra 1.46 e 0.37 t. Inoltre, data la natura della funzione esponenziale del *washoff*, l'unico andamento non assimilabile ad una tendenza lineare della variazione del carico al variare del parametro, è quello dato dalla variazione di C2. In questo caso, sempre nel range di $\pm 80\%$, si avrà al massimo, un aumento del carico di N fino a 26.1 t ed un aumento del carico di P fino a 1.65 t.

3.1.2.5. Risultati delle simulazioni aggiuntive

Per avere un quadro ancor più esaustivo riguardo ai quantitativi di nutrienti trasportati dalle acque meteoriche e riversati in laguna, sono state eseguite anche le simulazioni utilizzando i dati delle piogge e delle temperature del 2015 e del 2017, mantenendo chiaramente i set di parametri per gli inquinanti e per gli usi del suolo. Il numero di giorni senza precipitazioni prima dell'inizio della simulazione, per il 2015, è stato posto pari a 3, come emerso dalle registrazioni dell'ultimo mese del 2014, mentre per il 2017, è stato posto pari a 11, come emerso dalle registrazioni dell'ultimo mese del 2016.

Di seguito sono riportate le informazioni di riepilogo dei risultati delle simulazioni, contenute nello Status Report.

```

*****
Analysis Options
*****
Flow Units ..... CMS
Process Models:
  Rainfall/Runoff ..... YES
  RDII ..... NO
  Snowmelt ..... NO
  Groundwater ..... NO
  Flow Routing ..... NO
  Water Quality ..... YES
Infiltration Method ..... HORTON
Starting Date ..... 01/01/2015 00:00:00
Ending Date ..... 12/31/2015 23:00:00
Antecedent Dry Days ..... 3.0
Report Time Step ..... 00:05:00
Wet Time Step ..... 00:05:00
Dry Time Step ..... 01:00:00

*****
Runoff Quantity Continuity
*****
Total Precipitation ..... 3962.126      594.200
Evaporation Loss ..... 312.450      46.858
Infiltration Loss ..... 2663.900      399.505
Surface Runoff ..... 994.166      149.095
Final Storage ..... 0.000      0.000
Continuity Error (%) ..... -0.212

*****
Runoff Quality Continuity
*****
Initial Buildup ..... 10923.588      3970.918
Surface Buildup ..... 19451.462      7617.707
Wet Deposition ..... 30112.331      594.322
Sweeping Removal ..... 0.000      0.000
Infiltration Loss ..... 20245.756      399.587
BMP Removal ..... 0.000      0.000
Surface Runoff ..... 16014.497      779.621
Remaining Buildup ..... 21916.260      10958.130
Continuity Error (%) ..... 3.820      0.374

```

Figura 20 – Porzione dello Status Report della simulazione effettuata (dati anno 2015).

```

*****
Analysis Options
*****
Flow Units ..... CMS
Process Models:
  Rainfall/Runoff ..... YES
  RDII ..... NO
  Snowmelt ..... NO
  Groundwater ..... NO
  Flow Routing ..... NO
  Water Quality ..... YES
Infiltration Method ..... HORTON
Starting Date ..... 01/01/2017 00:00:00
Ending Date ..... 12/31/2017 23:00:00
Antecedent Dry Days ..... 11.0
Report Time Step ..... 00:05:00
Wet Time Step ..... 00:05:00
Dry Time Step ..... 01:00:00

*****
Runoff Quality Continuity
*****
Volume          Depth
hectare-m       mm
-----
Total Precipitation ..... 1414.950  212.200
Evaporation Loss ..... 111.955  16.790
Infiltration Loss ..... 1132.384  169.824
Surface Runoff ..... 174.246  26.132
Final Storage ..... 0.003  0.000
Continuity Error (%) ..... -0.257

*****
Runoff Quality Continuity
*****
N          P
kg         kg
-----
Initial Buildup ..... 20170.432  8853.622
Surface Buildup ..... 3365.769  2227.194
Wet Deposition ..... 10753.680  212.244
Sweeping Removal ..... 0.000  0.000
Infiltration Loss ..... 8606.168  169.859
BMP Removal ..... 0.000  0.000
Surface Runoff ..... 2984.376  150.011
Remaining Buildup ..... 21876.122  10956.943
Continuity Error (%) ..... 2.401  0.144

```

Figura 21 – Porzione dello Status Report della simulazione effettuata (dati anno 2017)

Si osserva che, sia per il 2015 sia per il 2017, la qualità della simulazione è buona, essendo gli errori tollerabili nel bilancio della continuità della massa per il deflusso in termini di quantità e di qualità. Nel 2015 è caduto un quantitativo complessivo di pioggia molto simile a quello del 2016 (594.2 mm di pioggia nel 2015, contro i 616.4 mm di pioggia del 2016). Il carico di azoto dilavato e defluito sul suolo è pari a 16014 kg, inferiore del 17% rispetto al 2016, mentre quello di fosforo è pari a 779 kg, inferiore del 15% rispetto al 2016. Nel 2017, invece, è caduto un quantitativo complessivo di pioggia pari a 212.2 mm di pioggia, di gran lunga più basso rispetto a quello del 2016 (il 65% in meno). A fronte di questo, il carico di azoto

dilavato e defluito sul suolo è pari a 2984 kg, inferiore del 85% rispetto al 2016, mentre quello di fosforo è pari a 150 kg, inferiore del 84% rispetto al 2016. Da ciò si può facilmente dedurre che i dati di precipitazione, più di ogni altro parametro, determinano in maniera importante la risposta del modello e dunque l'attendibilità dei risultati.

3.2. Gli scarichi degli allevamenti ittici

Nel computo degli apporti di nutrienti alla laguna di Orbetello rientrano chiaramente tutti gli eventuali scarichi concentrati di acque inquinate, tra cui quelli delle itticolture intensive che insistono sul perimetro della laguna. In tutte le attività di acquacoltura, l'impatto sul bacino ricevente derivante dai reflui di allevamento è rappresentato principalmente dai residui di mangime non utilizzato, dai residui fecali e dai cataboliti (prodotti del metabolismo). Tanto più l'allevamento è condotto in maniera oculata e competente tanto minori sono i residui di mangime non utilizzato presenti nei reflui. È interesse prioritario di qualsiasi allevatore minimizzare lo spreco di mangime, visto il costo elevato, ed al tempo stesso evitare l'inquinamento della vasca di allevamento dei pesci: il mangime non utilizzato cade sul fondo deteriorando l'ambiente in cui vivono i pesci e rende necessario maggiore ricambio idrico ed ossigenazione della vasca inquinata dall'eccesso di mangime. I principali componenti di un refluo ittico sono l'azoto, il fosforo e la sostanza organica (Tomascik & Sander, 1985; Saroglia et al., 1990). Esistono diverse misure, analisi e stime per comparare le diverse fonti di apporto dei nutrienti nella laguna di Orbetello. Innamorati e Melillo (2004) hanno stimato, per il periodo dal 1994 al 2000, gli apporti dei reflui delle 4 acquacolture insistenti sul perimetro della laguna di Orbetello, 2 nel bacino di Ponente (Orbetello Pesca Lagunare e La Rosa) e 2 in quello di Levante (Ittima ed Il Vigneto): l'apporto dell'azoto è pari a 65 t/anno, quello del fosforo è di 5.3 t/anno. Tali stime sono state effettuate anche da Lenzi et al. (2003), che calcolano un apporto di 132 t/anno di azoto e 6.6 t/anno di fosforo per le 4 itticolture. Sempre da Lenzi e colleghi è stato effettuato un aggiornamento di questa stima in riferimento al 2008, nel quale le itticolture insistenti erano 3: l'apporto in questo caso è risultato pari a 80 t/anno di azoto.

Allo stato attuale, lo scarico della Orbetello Pesca Lagunare, precedentemente localizzato nel canale di Nassa, uno dei due canali che collegano il bacino di ponente della laguna di Orbetello con il mare, è posizionato nel canale di Santa Liberata, che non comunica con la laguna. Gli impianti Ittima e La Rosa scaricano in due canali di comunicazione fra laguna e mare, rispettivamente il canale di Ansedonia e quello di Fibbia, quindi in regime di

circolazione naturale ovvero quando la circolazione avviene in funzione della marea, i reflui delle aziende vengono trasportate verso il mare in condizione di bassa marea e verso la laguna in condizione di alta marea. Chiaramente sul flusso delle acque incide in maniera ancor più importante l'azione del vento, ed è proprio in funzione di questa che in questa prima fase è stata stimata la direzione del flusso nei canali di collegamento (vedi paragrafo successivo). Durante l'estate, per scongiurare crisi anossiche nella laguna di Orbetello, viene attivato un regime di circolazione forzata delle acque grazie al pompaggio di acqua di mare ben ossigenata attraverso pompe idrovore installate presso i canali di Nassa e Fibbia, entrambi localizzati nella laguna di Ponente. In questo regime di circolazione artificiale, l'acqua esce dall'intera laguna solo attraverso il canale di Ansedonia. Pertanto nel periodo estivo, quello potenzialmente più critico, il flusso dell'acqua nel canale di Ansedonia è unidirezionale (dalla laguna verso il mare) ed il refluo di Ittima può seguire una sola direzione, quella verso il mare. L'unico scarico di acquacoltura che permane nella laguna di Orbetello è quello dell'azienda Il Vigneto; il punto di immissione del refluo è localizzato nel Fosso del Perugino che defluisce nel settore di Levante della laguna di Orbetello, in prossimità del canale di Ansedonia.



Figura 22 – Posizione delle itticultore insistenti sul perimetro della laguna di Orbetello.

3.2.1. Le aziende coinvolte

Come detto le aziende ittiche i cui scarichi, attualmente, possono interessare la laguna sono 3: Il Vigneto, La Rosa e Ittima.



Figura 23 – Localizzazione dello scarico dei reflui dell’allevamento ittico Il Vigneto nel bacino idrico ricevente.
Legenda: A= Azienda Il Vigneto, B=Fosso del Perugino; C= Canale di Ansedonia; D= Sbocco in mare del Canale di Ansedonia.

Per quanto riguarda Il Vigneto, da una Valutazione di Incidenza del 2016, redatta dallo Studio Tecnico Associato STALF, è emerso che l’impianto preleva, mediante un sistema di pozzi, acqua di mare dal sottosuolo che, grazie ad un’anomalia geotermica, presenta una temperatura costante di 21 - 23°C nell’arco di tutto l’anno. L’acqua prelevata ha una portata di circa 520 l/s. Gli scarichi delle vasche di allevamento sono inviate in canali di decantazione e di fitodepurazione di superficie complessivamente pari a circa 2 ettari. Le acque di allevamento, prima del rilascio, passano attraverso un dispositivo di filtrazione meccanica (Hydrotech) e sgrigliatura e successivamente scaricate, mediante un canale detto Fosso del

Perugino, in un'area marginale del bacino di Levante della laguna di Orbetello. Sull'argine del Fosso del Perugino è stata realizzata un'opera di stramazzo per impedire la risalita del pesce dalla laguna all'azienda ittica. Presso la stazione di sollevamento realizzata dall'azienda Il Vigneto, sono presenti 2 campionatori automatici, dotati di sistema di refrigerazione, che consentono il prelievo di aliquote di acqua nell'arco di 24 ore in modo da realizzare un campione significativo dello scarico di tutto l'arco della giornata. Su ciascuna delle 2 condotte di scarico sono installati misuratori di portata ad ultrasuoni che misurano sia la portata istantanea che il totale dei reflui scaricati. La portata massima istantanea dello scarico dell'azienda è pari a 600 l/s, mentre la portata media è di 560 l/s. Nell'impianto vengono allevate spigole, orate e ombrine in 42 vasche per un volume totale di allevamento pari a 22000 m³.

Dai valori medi delle analisi effettuate durante il monitoraggio dello scarico dell'azienda Il Vigneto ai fini dell'autocontrollo aziendale dal febbraio 2005 all'agosto 2015, e dai valori medi delle analisi effettuate sullo scarico aziendale da ARPAT, nell'ambito delle attività di monitoraggio della laguna di Orbetello per conto del Commissario Delegato all'Emergenza Ambientale (Anni 2005, 2006, 2007, 2008, 2009), sono emerse le seguenti concentrazioni medie: 3.84 mg/l di azoto e 0.2 mg/l di fosforo. I rapporti di prova dei controlli effettuati da ARPAT a Il Vigneto nel 2016 confermano questi valori: mediamente risultano infatti 3.25 mg/l di azoto e 0.26 mg/l di fosforo.

Per quanto riguarda La Rosa, da una Valutazione di Incidenza del 2015, redatta dallo Studio Tecnico Associato STALF, è emerso che l'impianto preleva acqua dal canale di Fibbia con una portata massima di 349 l/s. L'impianto utilizza anche 2 pozzi con portate rispettivamente di 18 e 15 l/s. Uno dei pozzi è utilizzato da novembre ad aprile, mentre l'altro pozzo entra in funzione solo in caso di gelate notturne. I reflui delle vasche di allevamento confluiscono in un sistema di lagunaggio con superficie pari a 18000 mq circa. I reflui finali sono scaricati nel canale di Fibbia, in prossimità della laguna, con una portata media stimata di 183 l/s. I flussi all'interno dell'impianto e le portate sia del carico che dello scarico sono largamente influenzate dalle maree. Nell'impianto è presente un piccolo settore di avannotteria per l'approvvigionamento dei giovanili destinati al fabbisogno aziendale.



Figura 24 – Localizzazione dell'azienda La Rosa.

Dai valori medi delle analisi effettuate sulle acque di scarico dell'azienda La Rosa da ARPAT, dal 2000 al 2009, sono emerse le seguenti concentrazioni medie: 3.46 mg/l di azoto e 0.17 mg/l di fosforo. Occorre sottolineare il fatto che questa azienda è in fase di chiusura già dal 2016.

Infine, per quanto riguarda Ittima, da una Valutazione di Incidenza del 2016, redatta dallo Studio Tecnico Associato STALF, è emerso che l'impianto preleva, mediante un sistema di 9 pozzi, acqua di mare dal sottosuolo che, grazie ad un'anomalia geotermica, presenta una temperatura costante di 18-20°C nell'arco di tutto l'anno. L'acqua prelevata ha una portata di circa 420 l/s. Gli scarichi delle vasche di allevamento sono inviate in bacini di decantazione e di fitodepurazione di superficie complessivamente pari a circa 15000 m². Le acque di allevamento, prima del rilascio, passano attraverso un dispositivo di filtrazione meccanica (Hydrotech) e successivamente scaricate nel Canale di Ansedonia. Sull'argine del Canale di Ansedonia è installata una griglia inamovibile per impedire la risalita del pesce dalla laguna all'azienda ittica. A valle dello sgrigliatore è presente un campionatore di acqua in automatico, dotato di sistema di refrigerazione, che consente il prelievo di aliquote di acqua nell'arco di 24 ore in modo da realizzare un campione significativo dello scarico di tutto

l'arco della giornata. Sulla condotta è installato un misuratore di portata ad ultrasuoni che misura sia la portata istantanea che il totale dei reflui scaricati. La massima portata dello scarico è stata fissata a 420 l/s da un'ordinanza commissariale nel 2004. La stessa ordinanza ha imposto che 150 l/s di questa portata venissero convogliati nella nuova condotta a mare, mediante la stazione di sollevamento "SL15". Attualmente quindi la portata dello scarico nel canale di Ansedonia è pari a 270 l/s. Nell'impianto vengono allevate spigole, orate e ombrine in 69 vasche in PVC, che coprono 2.24 ettari su un'estensione complessiva di 11 ettari.

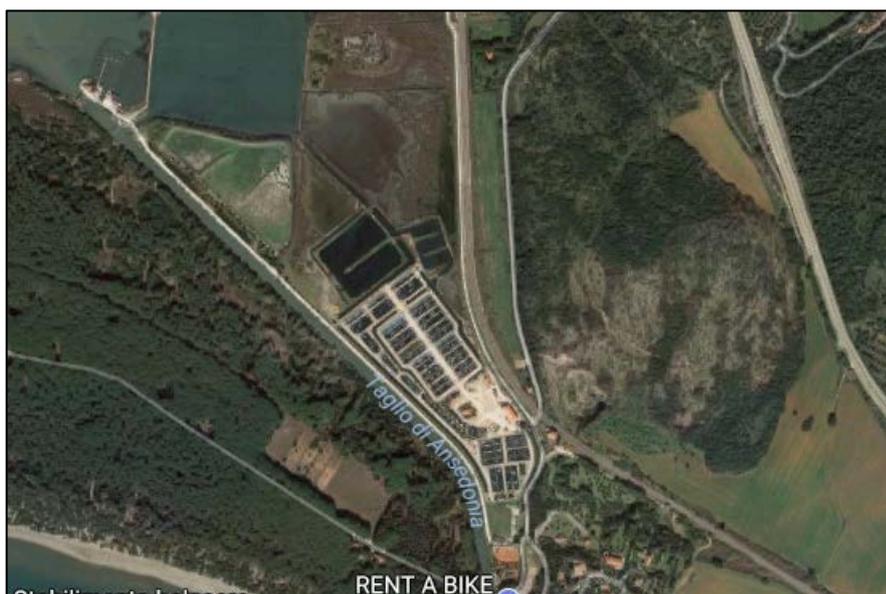


Figura 25 – Veduta satellitare dell'azienda Ittima che scarica nel canale di Ansedonia.



Figura 26 – Foto dello scarico di Ittima nel canale di Ansedonia

Dai valori medi delle analisi effettuate durante il monitoraggio dello scarico ai fini dell'autocontrollo dell'azienda Ittima dal febbraio 2005 all'agosto 2015, e dai valori medi delle analisi effettuate durante il monitoraggio dello scarico da ARPAT nell'ambito delle

attività di monitoraggio della laguna di Orbetello per conto del Commissario Delegato all’Emergenza Ambientale (Anno 2005, 2006, 2007, 2008, 2009) ed il controllo dello scarico dell’azienda dal 2006 al 2014, sono emerse le seguenti concentrazioni medie: 4.90 mg/l di azoto e 0.19 mg/l di fosforo.

Pertanto, riassumendo risulta:

Tabella 4 – Caratteristiche degli scarichi delle itticolture esaminate

Itticoltura	Scarico (l/s)	Concentrazione di N (mg/L)	Carico di N (kg/mese)	Concentrazione di P (mg/L)	Carico di P (kg/mese)
Il Vigneto	560	3.84	5651	0.20	294
La Rosa	183	3.46	1664	0.17	82
Ittima	270	4.90	3473	0.19	131

3.2.1. Stima dei carichi influenti in laguna

Come descritto, allo stato attuale, l’unico scarico di acquacoltura che si immette totalmente nella laguna di Orbetello è quello dell’azienda Il Vigneto. Gli impianti La Rosa e Ittima, invece, scaricano in due canali di comunicazione fra laguna e mare, rispettivamente il canale di Fibbia e quello di Ansedonia. Quindi, in regime di circolazione naturale, ovvero quando la circolazione avviene in funzione del vento e delle maree, i reflui delle aziende possono entrare in laguna o uscire verso il mare.

Per stimare i flussi in ingresso in regime naturale si è fatto riferimento a quanto restituito dal modello idrodinamico realizzato, per la valutazione della circolazione delle acque nella laguna di Orbetello e nei canali di collegamento, dal gruppo di Ingegneria Marittima del DICEA. È stata effettuata la simulazione di un intero anno, il 2016, inserendo in input al modello i dati anemometrici della stazione di Orbetello (per la forzante vento), con passo temporale 15 minuti, e i dati idrometrici ottenuti dalle stazioni di Civitavecchia e Marina di Campo (per la forzante maree), con passo temporale 10 minuti. È stato tenuto conto anche dell’apporto di acqua dovuto al fiume Albegna, la cui foce è collegata alla laguna di Ponente tramite il canale di Fibbia. A tal proposito sono state inserite in input al modello le portate medie stagionali dell’Albegna nell’anno 2016, determinate sulla base della scala di deflusso (portata Q [m³/s] – livello H [m]) riferita alla sezione Marsiliana. Di seguito si riporta l’espressione della curva di deflusso e le portate dell’Albegna stimate:

$$Q = 1.167 \cdot (H - 0.370)^{3.517}$$

Tabella 5 – Portate medie stagionali dell’Albegna

Anno 2016	Portata [m ³ /s]
Inverno	0.468
Primavera	0.370
Estate	0.333
Autunno	0.361

Dalla simulazione è emerso che, in un anno, dal canale di Fibbia il flusso entra in laguna per 5.6 mesi ed esce dalla laguna per 6.4 mesi; dal canale di Ansedonia, invece, l’acqua entra per 5.7 mesi ed esce per 6.3 mesi. Occorre ricordare che, in questa analisi, è stato tenuto conto del solo regime di circolazione naturale, e non di quella forzata, indotta dai sistemi di pompaggio presenti sui canali, che, allo stato attuale, pompano acqua da Ponente verso Levante, durante l’estate, con presenza anche di periodi di assenza di scambi idrici verso il mare che ovviamente possono determinare aggravii rispetto alla nostra valutazione.

Pertanto, dati i periodi sopra riportati, durante i quali l’acqua entra in laguna attraverso i canali, risultano i seguenti carichi influenti provenienti dalle itticolture:

Tabella 6 – Carichi di nutrienti in ingresso alla laguna dovuti agli scarichi delle itticolture.

Itticoltura	Carico influente di N (kg/anno)	Carico influente di P (kg/anno)
Il Vigneto	67815	3532
La Rosa	9261	455
Ittima	19953	754
TOTALE	97030	4741

Ai fini di un bilancio di massa il più completo possibile, occorre tenere conto che l’azienda La Rosa preleva acqua dal canale di Fibbia, dunque sottrae alla laguna un apporto di nutrienti, a differenza delle altre due aziende che prelevano acqua dal sottosuolo. Sulla base delle analisi effettuate da ARPAT e dall’Università dell’Insubria dal 2004 al 2010 sulle acque di carico dell’azienda La Rosa, riportate nell’allegato della Valutazione di Incidenza, redatta da STALF, la concentrazione media di azoto dell’acqua emunta è pari a 1.95 mg/l e quella di fosforo è pari a 0.21 mg/l. Considerando una portata media pari a quella scaricata (183 l/s) risulta un carico di azoto prelevato pari a 11262 kg/anno e un carico di fosforo prelevato pari a 1216 kg/anno. Si ricorda, ancora una volta, che La Rosa è in fase di chiusura già dal 2016; tuttavia, per il presente bilancio dei nutrienti sarà comunque tenuto conto del suo contributo, avendo

fatto riferimento ad un anno tipo, costruito con dati ed informazioni dai primi anni 2000 al 2016 compreso.

3.3. Gli eventuali scarichi delle acque reflue

In conseguenza del boom demografico e del crescente afflusso turistico attorno alla laguna di Orbetello, dal 1970 il carico di nutrienti immessi in laguna crebbe per lo scarico dei liquami industriali e domestici provenienti dalla fognatura comunale. Un tempo questi scarichi venivano smaltiti in fossa a tenuta o dispersi ed interessavano essenzialmente la laguna di Levante. Inizialmente il Comune installò un depuratore in località Neghelli che giungeva fino allo smaltimento secondario dei liquami; questo, sebbene abbattesse la richiesta biochimica di ossigeno (cioè la quantità di ossigeno necessario alla degradazione biochimica della sostanza organica in soluzione nell'acqua) e quindi la materia organica, non eliminava i composti azotati e fosforo, responsabili dei fenomeni di eutrofizzazione, anzi li rendeva disponibili in forma ossidata e perciò più rapidamente assimilabili. Così, nei primi anni '90, è iniziata la costruzione di un depuratore in località Terrarossa, nel Comune di Monte Argentario, destinato ad accogliere i reflui urbani di Porto Santo Stefano e Porto Ercole. Successivamente fu deciso di potenziare ed ampliare il depuratore di Terrarossa con lo scopo di convogliare in questo impianto anche i reflui degli abitati di Orbetello (Centro, Neghelli e Scalo), Talamone, Fonteblanda, Albinia, Ansedonia ed insediamenti minori collegati. Nel progetto originale il depuratore di Terrarossa avrebbe dovuto scaricare i reflui depurati al largo di Cala Galera ma successivamente, con l'ampliamento e la centralizzazione, fu programmato di utilizzare la condotta a mare già prevista ad Ansedonia. Con la progettazione di questo nuovo scarico del depuratore di Terrarossa ad Ansedonia fu pianificato di raccogliere, in parte, anche i reflui delle itticultore. Fino al 2007 gli scarichi dei depuratori di Terrarossa e Neghelli venivano convogliati in un'area della laguna di Ponente (conterminazione area ex Sitoco) di circa 12 ettari, delimitata da argini terrosi, all'interno della quale i reflui subivano naturali processi di autodepurazione basati sulla fitodepurazione. Nel dicembre 2006 è stato dismesso l'impianto di Neghelli, mentre i reflui delle frazioni di Albinia e Fonteblanda sono stati convogliati a Terrarossa a partire dall'estate 2008. Attualmente, i reflui del depuratore di Terrarossa vengono riversati in mare mediante l'uso di un collettore che scarica a largo di Ansedonia, ad una profondità di circa 4 m e ad una distanza di circa 3600 m dalla costa.

Pertanto, allo stato attuale, la fognatura del territorio circostante alla laguna è separata; le acque nere (reflui civili) confluiscono al depuratore di Terrarossa e quelle bianche (acque meteoriche) si raccolgono nei fossi di scolo nelle aree interessate da campi coltivati e vegetazione boschiva e nella fognatura delle acque bianche nelle aree urbane (città di Orbetello). Le acque bianche si riversano quindi in laguna; tuttavia, è possibile che ci siano degli sversamenti di acque nere in laguna qualora queste vengano bypassate alla fognatura delle acque bianche in caso di malfunzionamento degli impianti di sollevamento. Le stazioni di sollevamento non sono dotate di telecontrollo quindi l'eventuale avaria viene scoperta con ritardo di alcuni giorni; l'assenza di manutenzione provoca incrostazioni e quindi il galleggiante predisposto spesso rimane bloccato impedendo l'avvio della stazione di sollevamento con il conseguente sversamento in laguna. Ad esempio, a metà Ottobre 2017 si è verificato questo problema nella zona di Ansedonia: da stime comunicate informalmente, 50 l/s di reflui sono stati riversati nella laguna per circa 10 giorni, ovvero 43200 m³; considerando delle concentrazioni di azoto e fosforo tipiche di un refluio civile, ovvero 40 g/m³ di N e 4 g/m³ di P, si ottiene che 1728 kg di N e 173 kg di P si sono riversati in laguna. Supponendo che eventi di questo tipo si possano verificare 5 volte l'anno, si stima un apporto di circa 8640 kg di N e 864 kg di P dovuti a scarichi di acque reflue.

L'ultimo episodio di presunti sversamenti, verificatosi ad inizio Maggio 2018, conferma quanto detto. Il luogo segnalato si trova all'altezza dello scarico "in emergenza" della stazione di sollevamento a servizio dell'impianto di depurazione Terrarossa, che ha come recettore la parte di Laguna di Ponente, definita Conterminazione. Quest'ultima era nata per la protezione delle acque lacustri dall'immissione dei reflui depurati del depuratore di Neghelli, effettuando, con l'azione di sedimentazione e lagunaggio, un'ulteriore depurazione delle acque che fuoriuscivano dall'impianto. L'ARPAT di Grosseto, che ha effettuato un'ispezione, riferisce che durante il sopralluogo, dalla tubazione di scarico, derivante dalla stazione di sollevamento, non era in atto alcuno scarico. Tuttavia, le acque della Conterminazione, nei due punti ispezionati, si presentavano con una colorazione anomala, torbide, con un sedimento scuro e maleodorante, riconducibile a materia organica in decomposizione. Erano, inoltre, presenti materiali in sospensione, collegabili a scarichi fognari non depurati. La determinazione dei parametri chimico-fisici, effettuata durante il sopralluogo, ha evidenziato concentrazioni di ossigeno disciolto molto basse in entrambi i punti di prelievo, caratteristica di acque anossiche, ascrivibile alla presenza di materiale organico ossidabile. Le analisi biologiche effettuate hanno evidenziato la presenza di concentrazioni medio alte di Escherichia coli, rappresentative di un inquinamento fecale. Le

analisi chimiche hanno rilevato, in uno dei due punti di prelievo, concentrazioni di azoto ammoniacale superiori al limite di scarico per acque superficiali, pari a 15 mg/l, e concentrazioni di BOD₅ (richiesta biochimica di ossigeno) e di SST (Solidi Sospesi Totali), in entrambi i punti di prelievo, superiori ai limiti presi di riferimento, pari rispettivamente a 25 e 35 mg/l. ARPAT ritiene, comunque, che i superamenti dei limiti sopra citati, soprattutto per il parametro SST, non siano dovuti esclusivamente all'eventuale scarico anomalo, ma anche alle caratteristiche della Conterminazione che, avendo ricevuto per anni i liquami depurati dell'impianto di Neghelli, presenta, sul suo fondo, limo anossico, ed acque a bassa concentrazione di ossigeno disciolto, concausa della formazione di maleodoranze e colorazioni anomale.



Figura 27 – Immagini relative al sopralluogo, riportate sul sito di ARPAT.

3.4. Le deposizioni atmosferiche

Un'ulteriore fonte di nutrienti è rappresentata dalle deposizioni atmosferiche. Queste possono avvenire per via umida o secca. La deposizione umida è associata ad eventi meteorici, riguarda l'interazione con l'acqua atmosferica, si verifica anche in zone lontane dalla sorgente e consta essenzialmente di due fasi: un processo di trasferimento degli inquinanti in fase acquosa o di inglobamento delle particelle nelle goccioline che costituiscono la nube per nucleazione, e la successiva rimozione per impatto diretto o per trascinarsi degli inquinanti sottostanti la nube durante l'evento meteorico. Il processo di deposizione secca consiste, invece, nella rimozione degli inquinanti atmosferici in assenza di

precipitazione ed è dovuto al trasferimento dell'inquinante dallo strato turbolento sovrastante la superficie recettrice a quello immediatamente a contatto.

Per stimare l'apporto di azoto dall'atmosfera alla laguna sono stati confrontati vari studi, dei quali, quelli ritenuti più significativi, sono stati quelli prossimi alla zona di interesse, essendo queste deposizioni, come detto, legate al clima e in particolare alle precipitazioni. Dalla campagna di caratterizzazione di deposizioni umide e secche presentata dal Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell'Aria e condotta dal Dipartimento ARPAT di Arezzo nel Comune di Capolona, sono emersi i seguenti ratei di deposizione umida per metro quadro l'anno.

Tabella 7 – Ratei di deposizione umida annua, campagna di monitoraggio 2012-2013

Deposizione umida 2012-2013	mgN/(m ² yr)
NH ₄ ⁺	373
NO ₂ ⁻	33
NO ₃ ⁻	698

Ai fini del calcolo della deposizione umida nella laguna di Orbetello sono stati considerati i valori relativi alla campagna più recente, quella degli anni 2012-2013. I tassi di deposizione dei composti di azoto disciolti nelle precipitazioni (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻) sono poi stati riferiti alla massa di azoto così da poter essere confrontabili. Il tasso risultante è quindi 4.57 kgN/(ha yr). La quantità di azoto che si deposita sullo specchio lagunare di superficie pari a 2700 ha corrisponde a 12346 kgN/yr secondo questi ratei. La frazione di deposizione secca, sebbene non considerata in questo studio, rappresenta generalmente solo il 10% della deposizione totale (vedi <http://www.ecy.wa.gov>). Quindi si può considerare il valore ottenuto vicino a quello della deposizione totale.

La campagna di monitoraggio condotta, invece, da Marchetto et al. (2014) tiene conto anche della deposizione secca di azoto. La stazione di riferimento scelta è situata sulla costa grossetana a Cala Violina, distante circa 50 km da Orbetello. Il rateo di deposizione totale di azoto ottenuto da campioni a cielo aperto per questa stazione risulta 4.7 kgN/(ha yr). La corrispondente quantità di azoto depositato sullo specchio lagunare è pari a 12690 kgN/yr. Il valore più attinente è sicuramente quest'ultimo in quanto relativo alla stazione di monitoraggio più prossima al sito di nostro interesse. Le condizioni meteo-climatiche inoltre sono affini a quelle lagunari per la vicinanza al mare. Infine in questo valore è compresa anche la deposizione secca, non computata nello studio precedente.

Per stimare, invece, l'apporto di fosforo dall'atmosfera alla laguna si è fatto riferimento ad uno studio condotto in alcune località che si affacciano sul Mar Mediterraneo (Markaki et al., 2010). Ne è emerso un rapporto medio N/P nelle deposizioni atmosferiche pari a 50 circa, il che si traduce in una quantità di fosforo depositato sullo specchio lagunare pari a 254 kgP/yr, stante quella di azoto assunta pari a 12690 kgN/yr.

3.5. Apporto dal canale di Fibbia dovuto al fiume Albegna

Il canale artificiale di Fibbia, che collega la laguna di Ponente con la foce del fiume Albegna, rappresenta una via di afflusso di nutrienti in laguna non trascurabile; esso, infatti, può essere soggetto ai fenomeni di piena del fiume, con influenza delle acque dolci, potenzialmente ricche di nutrienti. Il bacino idrografico del fiume Albegna, infatti, comprende aree intensamente coltivate; l'utilizzo di fertilizzanti nelle pratiche agricole si è intensificato a partire dagli anni '70, e le acque del fiume Albegna si sono notevolmente arricchite di sali di azoto (specialmente nitrati) provenienti dal dilavamento dei terreni agricoli (Cognetti et al., 1978). L'Albegna è pertanto una fonte considerevole di nitrati per la laguna; tra il novembre 2000 ed il febbraio 2001, le concentrazioni di nitrati nelle acque del fiume Albegna al momento dell'immissione nella laguna di Orbetello, erano 39 volte superiori a quelle riscontrate nelle aree centrali della laguna di Ponente (Gennaro, 2006).

Per una stima di massima della quantità di azoto e fosforo entrante in laguna tramite il canale di Fibbia, si è fatto riferimento alle concentrazioni medie di azoto e di fosforo, indicate nell'allegato della Valutazione di Incidenza dell'azienda La Rosa, redatta da STALF, nelle acque emunte dal canale di Fibbia. Per l'azoto risulta 1.95 mg/l e per il fosforo 0.21 mg/l. Sulla base di quanto restituito dal modello idrodinamico per l'anno 2016 in regime naturale, dal canale di Fibbia l'acqua entra in laguna per 5.6 mesi all'anno, raggiungendo un volume complessivo di 49.8 milioni di m³. Ne consegue, pertanto, un carico di azoto influente di 97110 kgN/yr e uno di fosforo di 10458 kgP/yr.



Figura 28 – Diramazione dell'Albegna (alto a destra) verso il canale di Fibbia.



Figura 29 – Canale di Fibbia in direzione della laguna.

4. Gli output dei nutrienti

4.1. La rimozione di azoto per denitrificazione nei sedimenti

Numerosi studi hanno evidenziato come, negli ambienti lacustri, la denitrificazione nei sedimenti sia il principale processo responsabile della rimozione dell'azoto (per esempio, Rissanen et al., 2013; Zhao et al., 2015). Questo processo avviene in condizioni anossiche o anaerobiche e comporta la rimozione di azoto attraverso la conversione dell'azoto nitrico (NO_3) a protossido di azoto (N_2O) e azoto gassoso (N_2). Al fine di delineare un bilancio di massa dell'azoto nella laguna di Orbetello, è stato opportuno approfondire il tema relativo ai flussi di azoto gassoso verso l'atmosfera prodotti dai processi di denitrificazione che si innescano nei sedimenti della laguna. A tal proposito si è previsto di determinare, tramite indagini sperimentali, il rateo di denitrificazione nei sedimenti potenziale e quello *in situ*, ovvero la massa di azoto nitrico (ngN-NO_3) consumato nel tempo (h) per unità di sostanza secca presente nei sedimenti (gSS), e la caratterizzazione dell'acqua e dei sedimenti nella laguna, dal punto di vista chimico-fisico.

Il rateo di denitrificazione potenziale, in quanto tale, è misurato in condizioni non limitanti di carbonio organico e di azoto nitrico, mentre il rateo di denitrificazione *in situ* rappresenta la stima della capacità effettiva di denitrificare del sedimento, senza aggiunta ulteriore di carbonio e nitrati (Liu et al., 2015). Il rateo *in situ* è stato a sua volta determinato in due diverse condizioni: la prima in quiete, consentendo la stratificazione sedimento-acqua e riproducendo in tal modo la situazione tipica della laguna nelle zone di calma, e la seconda in agitazione, favorendo la sospensione dei sedimenti e il loro mescolamento con il liquido e rappresentando così quelle circostanze di disturbo del fondale indotta sia dal movimento dei pesci e dall'azione dei natanti. Anche il rateo potenziale è stato determinato in questa seconda condizione.

Secondo il protocollo messo a punto, per la misura del rateo di denitrificazione potenziale, per ciascun campione di sedimento, 50 g di sedimento omogeneizzato devono essere miscelati con 80 mL di una soluzione avente concentrazioni di 0.5 g/L di acetato di sodio, come substrato organico rapidamente biodegradabile, e di 0.25 g/L di nitrato di potassio, in una bottiglia da 250 mL. La bottiglia sarà poi sigillata e purificata con azoto gassoso per 3 minuti per creare le condizioni anossiche. Il rateo di denitrificazione *in situ* sarà determinato utilizzando una procedura analoga, con aggiunta però di 80 mL di acqua della laguna al posto della soluzione non limitante. Le bottiglie saranno incubate al buio per tutto il tempo della

prova ad una temperatura costante. All'inizio e alla fine della prova, da ciascuna bottiglia dovrà essere prelevato un campione di 5 mL della miscela sedimento-acqua ed analizzata la concentrazione di N-NO₃ tramite l'analisi spettrofotometrica (con i kit della Hach).

La denitrificazione potenziale e quella *in situ* saranno calcolate come differenza tra la concentrazione iniziale e finale di N-NO₃ divisa per il tempo di incubazione ed espresse sulla base della materia secca del sedimento (ngN gSS⁻¹ h⁻¹). Quest'ultima sarà determinata pesando un volume noto del campione di sedimento dopo averlo fatto essiccare per 24 h a 105 °C. È stata stimata inoltre la materia organica a seguito della volatilizzazione dei solidi a 500 °C (per 2 h).



Figura 30 – Bottiglia sigillata con all'interno sedimento e acqua della laguna.

Per quanto riguarda i campionamenti, per ciascun punto di campionamento individuato all'interno della laguna, saranno raccolti tre campioni di sedimento superficiale (3 cm di profondità) utilizzando un campionatore (idoneo), e omogeneizzati per formare un campione composito. Per ogni punto, circa 500 g di sedimento saranno collocati in un contenitore sigillato e immagazzinato a circa 5 °C in un frigorifero portatile. Inoltre, per le suddette indagini sperimentali, dovrà essere raccolto un campione di acqua di 500 mL in prossimità del fondo.

Dunque, sono stati raccolti tre campioni di sedimento superficiale della laguna e altrettanti campioni di acqua. Questi sono stati congelati in attesa di effettuare i test in laboratorio. Per il campionamento ci siamo avvalsi del supporto del Dott. Lenzi e del Dott. Leporatti Persiano Marco, sia per la scelta dei punti, che per la metodica e gli strumenti di campionamento. I tre punti di campionamento sono stati scelti in modo tale da coprire l'intera caratterizzazione del fondale della laguna:

1. Banco di Chaetomorpha linum (CH), profondità 1 m;
2. Fondo nudo (F.N.), profondità 1.3 m;
3. Banco di Rodoficee o alghe rosse (R), profondità 1.5 m.



Figura 31 – Posizione dei punti di campionamento.



Figura 32 – Campionatore utilizzato per la raccolta del sedimento.



Figura 33 – Fondale in un punto di campionamento.



Figura 34 – Raccolta di un campione.

Di seguito i risultati ottenuti dalle misure di laboratorio.

Tabella 8 – Analisi sui campioni di sedimento della laguna

Campione	Sostanza secca (g/mL)	Acqua (g/mL)	Sostanza volatile (%)
Sedimento 1	0.940	0.610	4.3
Sedimento 2	0.930	0.680	4.9
Sedimento 3	0.940	0.600	4.5

Tabella 9 – Analisi sui campioni di acqua della laguna.

Campione	COD (mg/L)	N tot. (mg/L)	N-NO ₃ (mg/L)
Acqua 1	144	1.65	0.072
Acqua 2	85.6	1.41	0.095
Acqua 3	62.4	1.05	0.103

Tabella 10 – Ratei in situ in condizione di quiete.

Sedimento e soluzione limitante (acqua laguna), in quiete, a 20 °C			
Campione	N-NO ₃ (mg/L) a t: 0 h	N-NO ₃ (mg/L) a t: 24 h	Rateo di denitrificazione (ngN-NO ₃ /gSS h)
1	0.255	0.304	-2.2, quindi 0
2	0.418	0.359	2.6
3	0.412	0.335	3.4

Tabella 11 – Ratei in situ in condizione di agitazione.

Sedimento e soluzione limitante (acqua laguna), in agitazione, a 25 °C					
Campione	N-NO ₃ (mg/L) a t: 0 h	N-NO ₃ (mg/L) a t: 30 min	N-NO ₃ (mg/L) a t: 60 min	Rateo di denitrificazione a t: 30 min (ngN-NO ₃ /gSS h)	Rateo di denitrificazione a t: 60 min (ngN-NO ₃ /gSS h)
1	0.762	0.702	0.676	64	91
2	0.802	0.727	0.721	80	87
3	0.674	0.647	0.615	29	63

Tabella 12 – Ratei potenziali in condizione di agitazione.

Sedimento e soluzione non limitante, in agitazione, a 25 °C					
Campione	N-NO ₃ (mg/L) a t: 0 h	N-NO ₃ (mg/L) a t: 30 min	N-NO ₃ (mg/L) a t: 60 min	Rateo di denitrificazione a t: 30 min (ngN-NO ₃ /gSS h)	Rateo di denitrificazione a t: 60 min (ngN-NO ₃ /gSS h)
1	20.0	19.7	19.4	319	638
2	18.2	18.2	18.0	0	215
3	20.6	20.5	20.4	106	213

Considerando che la prima tipologia di sedimento (sotto il banco di Chaetomorpha) copra il 60% dell'area della laguna, che la seconda (sedimento sul fondo nudo) copra il 30% e che la terza (sedimento sotto il banco di Rodoficee) copra il 10%, e modificando i valori dei ratei ottenuti a 25 °C mediante l'equazione di Arrhenius per riferirli tutti a 20 °C, ovvero la temperatura media registrata nell'acqua della laguna in un anno tipo, si ottiene i seguenti ratei medi:

- rateo di denitrificazione *in situ* in quiete = $1.1 \text{ ngN gSS}^{-1} \text{ h}^{-1}$;
- rateo di denitrificazione *in situ* in agitazione = $54 \text{ ngN gSS}^{-1} \text{ h}^{-1}$;
- rateo di denitrificazione potenziale in agitazione = $239 \text{ ngN gSS}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

A questo punto, considerando che la superficie della laguna è 27 km^2 e lo strato interessato dei sedimenti sia quello superficiale (3 cm), risulta una massa di sostanza secca nei sedimenti coinvolta pari a $7.776 \times 10^{11} \text{ g}$ (assumendo, dalle analisi svolte, un peso specifico medio dei sedimenti di 1.6 g/cm^3 e una percentuale di SS pari al 60%), e dunque un quantitativo di azoto denitrificato in laguna pari a 7719 kgN/yr in condizioni di quiete e pari a 370032 kgN/yr con movimentazione del fondale. Se non si abbinasse a ciascuna tipologia di sedimento campionato una certa area di copertura del fondale, data anche l'incertezza di questo dato, ma si operasse una mera media aritmetica dei ratei ottenuti, si otterrebbe un rateo di denitrificazione *in situ* di $2 \text{ ngN gSS}^{-1} \text{ h}^{-1}$ in condizioni di quiete e di $49 \text{ ngN gSS}^{-1} \text{ h}^{-1}$ con movimentazione del fondale. Ne deriverebbe pertanto un quantitativo di azoto denitrificato in laguna pari a 13742 kgN/yr in condizioni di quiete e pari a 334775 kgN/yr con movimentazione del fondale. Questi risultati evidenziano, pertanto, l'incidenza che ha la risospensione del sedimento nei processi di denitrificazione (e come mostrato successivamente anche in quelli di ossidazione), poiché si va ad incrementare la superficie specifica (e quindi di contatto) delle particelle del sedimento, e dunque della biomassa (denitrificante, in questo caso), e si mette a disposizione di quest'ultima il nitrato disciolto nell'acqua come accettore di elettroni.

È stata condotta anche un'ampia ricerca bibliografica sul tema della denitrificazione dei sedimenti di un ambiente lagunare e su quelli che potevano essere dei metodi di indagine sperimentale. Un esempio di questi è il metodo dell'acetilene (McCrackin and Elser, 2010), nel quale quest'ultimo è utilizzato per inibire la riduzione dell' N_2O a N_2 durante la denitrificazione e rendere l' N_2O il prodotto finale del processo. Questo protocollo, tuttavia, non ha restituito risultati attendibili nella presente attività. È stato individuato un valore di letteratura del rateo di denitrificazione *in situ* in condizioni di quiete (Lu Yao et al., 2016) pari

a 3.97 ngN/(gSS h), ad una temperatura di 25 °C, in linea quindi con quello da noi ricavato (2 ngN/(gSS h).

Alla luce di quanto spiegato, il tema della denitrificazione nei sedimenti della laguna merita di essere ulteriormente approfondito e costituisce un elemento molto significativo nella gestione della laguna.

4.2. I flussi in uscita tramite i canali

I canali di collegamento della laguna con il mare rappresentano chiaramente una via di uscita dei nutrienti nei periodi in cui il flusso d'acqua è effluente. Sulla base di quanto restituito dal modello idrodinamico risulta che 53.1 mln di m³ escono da Fibbia, 88.8 mln di m³ escono da Nassa e 57.3 mln di m³ escono da Ansedonia in un anno. Inoltre, dalle analisi effettuate da ARPAT, tra il 2011 e il 2016 sui campioni prelevati in corrispondenza delle stazioni interne alla laguna, sono emerse delle concentrazioni medie di 0.45 mgN/l e di 0.03 mgP/l nella laguna di Ponente, e di 0.42 mgN/l e di 0.06 mgP/l in quella di Levante. Sulla base di questi dati e considerando che i canali di Fibbia e Nassa sono a Ponente e quello di Ansedonia è a Levante, risulta che nel corso di un anno circa 87929 kg di azoto e 7695 kg di fosforo abbandonano la laguna grazie al ricambio idrico verso il mare.

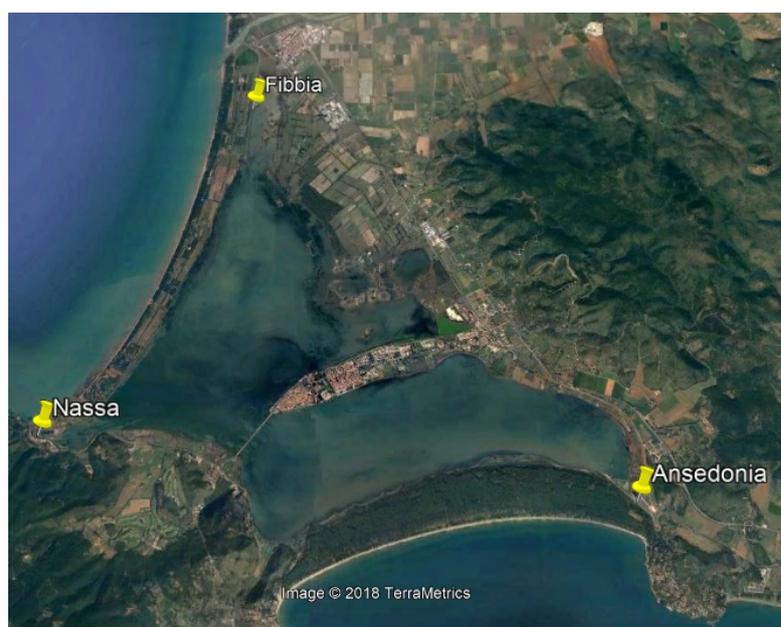


Figura 35 – Canali di collegamento della laguna con il mare

4.3. Il pesce pescato

L'allevamento estensivo dei pesci praticato nella laguna di Orbetello, come in altri bacini simili in Italia, si differenzia nettamente da un allevamento intensivo ed incide nel sistema in un modo altrettanto diverso. I pesci seminati ad Orbetello (acquacoltura integrata) si inseriscono in un contesto naturale ed incidono direttamente nella rete trofica dell'ecosistema consumando elementi animali e vegetali del benthos. L'energia tolta al sistema viene restituita per il 70-65% circa, mentre il 30-35% va a costituire biomassa animale. Da un punto di vista termodinamico, se gli animali morissero e venissero lasciati nel sistema a decomporsi, il bilancio dei nutrienti sarebbe in pareggio: tanto sottratto, tanto restituito (naturalmente, una parte di energia viene dispersa come calore ed entropia). Poiché i soggetti di questa specie vengono quasi totalmente catturati ed allontanati dal sistema, anche l'energia sottratta e accumulata viene allontanata.

Secondo quanto emerso da letteratura (M.S. Islam, 2005) la percentuale di azoto nel pesce è pari al 3% del suo peso, mentre quella di fosforo è pari al 1% del suo peso. Nota la quantità, in tonnellate, di orate vendute, svernate per la semina e morte in seguito ad eventi distrofici tra il 2004 e il 2015, fornita nella Valutazione di Incidenza Ambientale della Orbetello Pesca Lagunare (2016), è stato possibile stimare il quantitativo di nutrienti rimossi mediamente in un anno grazie al pesce pescato (o comunque sottratto alla laguna). A fronte delle 247 tonnellate (con una variabilità media di 126 tonnellate) di pesce estratto mediamente in un anno, risultano rimossi 7412 kg di azoto e 2471 kg di fosforo in un anno. Tutto queste considerazioni valgono, come ipotizzato, in assenza di alimentazione esterna dei pesci.



Figura 36 – Lavorieri per la pesca alla bocca del canale di Ansedonia.

4.4. Le alghe rimosse

Le elevate concentrazioni di nutrienti disciolti nelle acque eutrofizzate causano estese fioriture di macroalghe e/o fitoplancton. Negli ultimi 50 anni l'incremento del grado di eutrofizzazione della laguna di Orbetello ha progressivamente condotto a cambiamenti sia qualitativi che quantitativi della vegetazione, che è passata dalla prevalenza di piante radicate acquatiche (fanerogame) alla contemporanea consistente presenza di macroalghe (Ludovico, 2006). Queste ultime sono caratterizzate da un'alta velocità di crescita ma un breve ciclo vitale, alla fine del quale, decomponendosi in ambienti poveri di ossigeno, generano composti tossici. La raccolta delle alghe diventa quindi fondamentale per fronteggiare il rischio di crisi distrofiche. Questa attività, agendo su vari fronti, permette di:

- rimuovere biomasse che, lasciate in laguna, si decomporrebbero riducendo le concentrazioni di ossigeno disciolto in acqua e innescando processi di sviluppo di composti tossici per le specie ittiche;
- allontanare sostanze nutrienti dall'ambiente lagunare;
- liberare spazi per favorire lo sviluppo delle fanerogame acquatiche, caratterizzate da un ciclo vitale più lungo e capaci di trasferire, attraverso l'apparato radicale, parte dell'ossigeno prodotto durante la fotosintesi ai sedimenti, mantenendoli in migliore stato ossidativo.

La raccolta delle alghe avviene attraverso battelli raccogli-alghe, dotati di nastro raccoglitore, vasca di carico e nastro trasportatore per il successivo scarico.



Figura 37 – Battello raccogli-alghe ormeggiato nel Canale Glacis, lato Levante.

A partire dal 1993 le alghe erano raccolte e stoccate in località Patanella, dove subivano un essiccamento all'interno della esistente serra. Le alghe parzialmente essiccate venivano successivamente unite a sedimenti lagunari e poste in vasche impermeabilizzate nelle quali il composto subiva una trasformazione anaerobica con produzione di terreno artificiale. Su questo prodotto sono state condotte due sperimentazioni per valutarne la possibilità di riutilizzo nell'agricoltura come ammendante o, unito a fanghi provenienti da impianti di depurazione, di riutilizzo per il ripristino di scarpate, nelle cave in bonifica e in altri siti che necessitano di una qualsiasi pratica di rinverdimento (Ludovico, 2006). Nel 2011 è stato realizzato un impianto per il trattamento delle biomasse algali che non è mai entrato in funzione. Allo stato attuale le alghe raccolte vengono smaltite a Perugia, con costi di trasporto sensibilmente più elevati rispetto ad un trattamento nell'impianto di Patanella. Per questo motivo il Comune di Orbetello affiderà ad un perito il compito di valutare lo stato di questo impianto per una possibile messa in funzione.

Al momento la Regione gestisce e finanzia la manutenzione di quattro battelli raccogli-alghe.

Nei primi anni 2000 i quantitativi annui raccolti sono stati compresi tra 5000 e 10000 tonnellate di peso umido (Ludovico, 2006). Dal 2013 è stato adottato il metodo sperimentale di risospensione del sedimento, che è andato a sostituire quasi completamente questa attività. La raccolta delle alghe è stata infatti ripresa nel 2017 dal 5 al 19 giugno e dal 6 al 27 luglio, dopo due anni (2015 e 2016) di pausa, con 305.26 tonnellate di biomassa raccolta (riferita al peso umido).

Lenzi et al. (2003) hanno stimato una quantità di azoto rimosso attraverso la raccolta delle alghe pari a 7961 kg. In quegli anni la raccolta ha interessato centinaia di tonnellate di biomassa riferita al peso secco. A titolo di esempio, nel 2000 ne sono state raccolte 282 tonnellate (peso secco). Il valore di biomassa raccolta nel 2017, riferito al peso umido, per renderlo confrontabile, è stato convertito al peso secco secondo quanto riportato in Sorce et al. (2017). Essendo il rapporto tra peso umido e peso secco di *Chaetomorpha Linum* pari a 11.52, in prima approssimazione si può ritenere un peso secco equivalente di alghe rimosse nel 2017 pari a 26.5 tonnellate, circa 1/11 del quantitativo rimosso ai tempi del bilancio effettuato da Lenzi et al. (2003). Secondo lo studio di Lenzi et al. (2003), in media, la percentuale di azoto presente nella biomassa raccolta nelle aree centrali della laguna è 2.91% del peso secco, mentre quella di fosforo è 0.11%. Si conclude quindi che nel 2017 sono stati rimossi dal bacino mediante la raccolta delle alghe circa 770 kg di azoto e circa 30 kg di fosforo.

5. Bilancio riassuntivo

In definitiva risulta il seguente bilancio:

Tabella 13 – Bilancio riassuntivo di azoto e fosforo nella laguna di Orbetello

INPUT	kg di azoto in un anno	kg di fosforo in un anno
Acque di <i>runoff</i> dal bacino imbrifero	+ 19 304	+ 915
Scarichi degli allevamenti ittici	+ 97 030	+ 4 741
Eventuali scarichi delle acque reflue	+ 8 640	+ 864
Deposizioni atmosferiche	+ 12 690	+ 254
Ingresso da Fibbia (foce Albegna)	+ 97 110	+ 10 458
OUTPUT	kg di azoto in un anno	kg di fosforo in un anno
Denitrificazione nei sedimenti	- 13 742	
Uscita dai canali	- 87 929	- 7 695
Pesce pescato	- 7 412	- 2 471
Algh e rimosse	- 770	- 30
Emungimento delle itticolture	- 11 262	- 1 216
BILANCIO TOTALE	+ 113 659	+ 5 820

Emerge pertanto che tra le voci di input quelle maggiormente influenti sono rappresentate dagli scarichi degli allevamenti ittici e dal canale di Fibbia che capta le acque del fiume Albegna, mentre tra le voci di output riveste chiaramente un ruolo chiave l'uscita dell'acqua della laguna tramite i canali di collegamento con il mare e il conseguente ricambio idrico. Un contributo estremamente importante potrebbe assumerlo, per la rimozione di azoto, il processo di denitrificazione nei sedimenti della laguna che, se mantenuti in sospensione e dunque a maggior contatto con la sostanza organica e con il nitrato disciolto nella colonna d'acqua, rispettivamente substrato ed accettore di elettroni per i batteri denitrificanti, incrementerebbe di quasi 50 volte il quantitativo di azoto rimosso. Ciò ovviamente determina altri effetti che andrebbero attentamente valutati (diminuzione ossigeno disciolto, incremento della torbidità, ...). A fronte del bilancio calcolato, l'accumulo annuale è di circa 114 tonnellate di azoto e 6 tonnellate di fosforo. Se, come detto, si considerasse il rateo di denitrificazione *in situ* con movimentazione di tutto il fondale (ipotesi estrema non realistica), si otterrebbe, invece, una perdita annuale di azoto pari a circa 207 tonnellate. Occorre evidenziare, inoltre, un altro aspetto molto importante dell'accumulo dei nutrienti che fa riferimento alla sedimentazione e ad altri fenomeni di intrappolamento che

determinano la crescita dello stock di nutrienti disponibili nei sedimenti lacustri. Ciò rappresenta una delle problematiche di maggiore rilevanza, perché anche riducendo in modo molto significativo gli apporti ed incrementando le fuoriuscite di nutrienti, si deve tenere presente che all'interno dell'area lagunare vi è una disponibilità molto rilevante pronta per essere utilizzata. Da una stima fatta nel già citato lavoro di Lenzi et al. (2003) si può ipotizzare una presenza di circa 1500 tonnellate di azoto e di 200 tonnellate di fosforo, valori che sarebbero comunque di un ordine di grandezza superiore all'afflusso annuale stimato e che rappresentano uno dei grandi temi degli interventi di lungo periodo.

6. L'ossigeno in laguna

Nel corso del presente lavoro è stato approfondito un aspetto molto importante che va ad influire sulle caratteristiche dell'ambiente lagunare, ovvero la velocità di consumo dell'ossigeno disciolto in laguna.

A tale scopo sono stati effettuati una serie di test in laboratorio, utilizzando dei campioni di sedimento e di acqua della laguna di Orbetello. In recipienti diversi, per forma e dimensione, sono state dosate, in proporzione ad una sezione trasversale in laguna (circa 1 : 10 = sedimento : acqua), delle certe quantità di sedimento e di acqua. È stata poi misurata con una sonda a luminescenza la concentrazione di ossigeno disciolto, dopo averla portata a saturazione (circa 9 mg/L) con insufflazione di aria, ed è stata calcolata quindi la sua velocità di consumo. Questa operazione è stata effettuata in diverse condizioni, come mostrato di seguito.

- 1) senza miscelazione, con sonda non investita dal sedimento (vedi Figura 38);
- 2) con miscelazione, con sonda non investita dal sedimento (vedi Figura 39);
- 3) con miscelazione, con sonda investita dal sedimento (vedi Figura 40).



Figura 38 – Test consumo ossigeno, senza miscelazione, con sonda non investita dal sedimento.



Figura 39 – Test consumo ossigeno, con miscelazione, con sonda non investita dal sedimento.

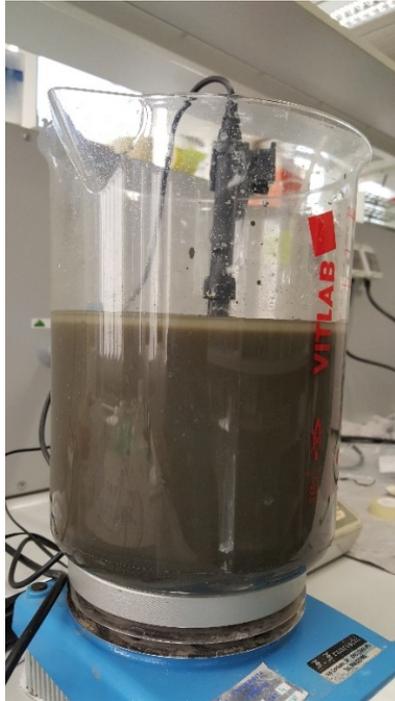


Figura 40 – Test consumo ossigeno, con miscelazione, con sonda investita dal sedimento.

Nel caso 1 è risultata una velocità media di consumo di ossigeno nulla, nel caso 2 una velocità pari a 86 mgDO/(l d) e nel caso 3 una velocità pari a 1065 mgDO/(l d). Ciò conferma il fatto che un disturbo del fondale, con risospensione del sedimento, va ad incrementare la superficie specifica (e quindi di contatto) delle particelle del sedimento, e dunque della biomassa (ossidante, in questo caso), e mette a disposizione di quest'ultima l'ossigeno disciolto nell'acqua come accettore di elettroni.

Se da un lato questo aspetto può offrire dei vantaggi per la rimozione appunto della sostanza organica labile dei sedimenti, cioè disponibile alla biodegradazione, e dunque portare i sedimenti a “condizioni di sicurezza” per una durata di breve/medio termine, in riferimento alla insorgenza di fenomeni distrofici, dall'altra parte può comportare un eccessivo consumo di ossigeno e l'instaurarsi di condizioni anaerobiche. Occorre dunque che si realizzi un equilibrio tra il consumo e il rimpinguamento di ossigeno nell'acqua della laguna.

A questo proposito sono stati indagati due meccanismi di rifornimento naturale di ossigeno: uno dato dallo scambio con l'atmosfera e l'altro dalla fotosintesi delle alghe.

Il tasso del primo è stimabile, secondo il modello di Streeter-Phelps, con la seguente espressione:

$$\frac{dC}{dt} = K_L \frac{A}{V} (C_s - C)$$

dove:

- K_L è il coefficiente di trasferimento all'interfaccia aria-acqua, posto pari a 0.065 m/h;
- A e V sono la superficie di contatto con l'atmosfera e il volume d'acqua considerato, pari a 1 m^2 e 1 m^3 ;
- C_S è la concentrazione a saturazione dell'ossigeno in acqua, a temperatura di 20 °C e a pressione atmosferica, pari a 9.17 mg/l ;
- C è la concentrazione dell'ossigeno in acqua.

Quindi:

- per $C = 0 \text{ mgDO/l} \rightarrow dC/dt = 14.4 \text{ mgDO/(l d)}$;
- per $C = 4 \text{ mgDO/l} \rightarrow dC/dt = 7.2 \text{ mgDO/(l d)}$;
- per $C = 8 \text{ mgDO/l} \rightarrow dC/dt = 1.4 \text{ mgDO/(l d)}$.

Come è evidente la velocità di riossigenazione naturale per scambio con l'atmosfera è di due ordini di grandezza inferiore rispetto a quella di consumo dell'ossigeno stesso, nelle condizioni di agitazione dei sedimenti del fondale.

Per quanto riguarda il tasso di produzione di ossigeno da parte delle alghe è stato individuato in letteratura (Santamaria et al., 1998) un valore della produzione netta di ossigeno per fotosintesi, pari a $82 \mu\text{gO}_2/\text{g}_{\text{d.w.algae}}^{-1} \text{ min}^{-1}$, a 20 °C . Da una stima della biomassa algale effettuata nel mese di Aprile 2018 nei settori della laguna di Ponente in cui è operata la risospensione dei sedimenti (circa 4 mln di m^2) è emerso un quantitativo di alghe pari a 35148 tonnellate in peso umido (TPU), che se esteso all'intera laguna (circa 27 mln di m^2) raggiunge le 237558 TPU. Considerando un rapporto tra peso umido e peso secco di *Chaetomorpha Linum* pari a 11.52, si ottengono 20621 tonnellate di alghe in peso secco. Assumendo che tutto il volume di acqua della laguna sia coinvolto (circa 27 mln di m^3), risulta un tasso di ossigenazione dovuto alle alghe pari a 90.2 mgDO/(l d) , che si rivela essere di almeno un ordine di grandezza superiore a quello dovuto all'atmosfera.

Un altro contributo all'ossigenazione delle acque della laguna dovrebbe essere teoricamente rappresentato dall'ingresso di acqua marina, quindi potenzialmente ricca di ossigeno, dai canali di collegamento con il mare. Attraverso il modello idrodinamico messo a punto, è stato stimato, tuttavia, un ingresso effettivo in laguna di soli circa 5 mln di m^3 in 60 giorni, a fronte di un innalzamento del livello idrico di 20 cm. Considerando una concentrazione di ossigeno nell'acqua marina pari a 9 mg/l e nell'acqua della laguna pari a 4 mg/l , si avrebbe un incremento della concentrazione di ossigeno in laguna fino a circa 5 mg/l in 60 giorni, il

che si traduce in una velocità di ossigenazione pari a 0.1 mgDO/(l d). Stante dunque questo quantitativo di ingresso dal mare risulta evidente che il contributo all'ossigenazione dovuto al ricambio idrico non è minimamente paragonabile a quello dovuto alla fotosintesi delle alghe.

Per i meccanismi prima quantificati in determinate condizioni in laguna il tasso di consumo dell'ossigeno prevale su quello di ossigenazione, dando vita alle ben note crisi distrofiche.

La complessità del sistema e l'intreccio degli effetti rende necessario un approccio molto pragmatico, ma che permetta di valutare insieme tutti i processi e meccanismi da utilizzare. Letture parziali possono portare infatti a strategie completamente errate o ad attese di risultati irrealizzabili. Si pensi, solo per fare un esempio, al ruolo svolto dalle piante acquatiche: da un lato la loro eliminazione comporta una riduzione degli stock di nutrienti in laguna, dall'altra costituiscono la fonte maggiore di ossigeno. Anche questa interpretazione può comunque essere limitata, perché non considera le scale temporali degli effetti prodotti: la riduzione dell'accumulo di nutrienti opera nell'ordine degli anni (o delle decine di anni) con l'obiettivo del risanamento definitivo del corpo idrico, quella dell'ossigeno nella scala delle ore (o dei minuti in alcuni momenti) e determina morie di pesci.

Riteniamo che dotarsi di un modello completo e ben legato a quello idrodinamico (vedi capitoli successivi) potrebbe aiutare nella scelta di strategie adeguate.

7. Modello idrodinamico della laguna di Orbetello

7.1. Obiettivi dello studio

La gestione della laguna di Orbetello coinvolge numerose e complesse tematiche ambientali che abbiamo descritto nei precedenti capitoli, molte delle quali sono fortemente influenzate dalla circolazione delle acque, dagli scambi con il mare e dai livelli idrici in laguna.

Disporre di strumenti operativi a supporto della conoscenza della circolazione e dei livelli idrici in laguna è quindi una necessità innegabile, al fine di prendere decisioni ben motivate e quindi definire protocolli di gestione efficaci ed efficienti. E' necessario infatti una quantificazione accurata e spazialmente dettagliata delle correnti, degli scambi con il mare e dei livelli della laguna per studiare lo sviluppo di processi ambientali, dei bilanci di massa e della diffusione/trasporto dei composti inquinanti. In realtà, dalla revisione delle pubblicazioni tecnico-scientifiche estesa ai decenni passati, gli studi dell'idrodinamica della Laguna di Orbetello sono proporzionalmente molto bassi rispetto all'enorme quantità di studi che riguardano quegli aspetti ambientali che da tale idrodinamica sono in relazione.

Va sottolineato che, nella quasi totalità dei casi, questi studi utilizzano dati idrodinamici derivanti dalle poche misure condotte su un numero estremamente limitato di punti che non sono adeguati alla rappresentazione della complessità dell'idrodinamica o, peggio, si basano su ipotesi arbitrarie non verificate.

A tale scopo, l'obiettivo della ricerca presso il DICEA è quello di sviluppare un modello di simulazione numerica dell'idrodinamica della laguna, che possa essere utilizzato per fornire supporto alle esigenze della Regione per la gestione della Laguna di Orbetello, anche in un'ottica di valutazione di scenari di intervento a breve e lungo periodo.

7.2. Metodologia e attività svolte

La metodologia del lavoro può essere riassumibile nelle seguenti attività:

1) Reperimento dei dati necessari alla realizzazione del modello di simulazione numerica.

È stata fatta una ricerca delle pubblicazioni inerenti la Laguna di Orbetello. Sono state censite centinaia di pubblicazioni inerenti ai temi ambientali e solo poche unità inerenti gli aspetti idrodinamici di interesse per la presente ricerca. I dati utilizzati in queste pubblicazioni derivano dalle misure batimetriche condotte in un arco di tempo che va dal 2002 al 2004 circa. Tali dati batimetrici sono stati utilizzati per la costruzione di questo nuovo modello. È di tutta evidenza che nei successivi 15 anni i fondali della Laguna di Orbetello possano essere cambiati, rispetto a quelli rilevati nei primi anni 2000, quindi è auspicabile condurre un nuovo rilievo per integrare il nuovo modello con dati aggiornati. In questa fase sono state reperite anche misure idrauliche (velocità e livelli) acquisite sempre nei primi anni 2000, quando era operativa una rete attualmente non più presente. Questi dati sono utilizzati per il presente studio nella fase di calibrazione e validazione del nuovo modello. Sono stati reperiti i dati di vento e i dati delle maree, necessari per simulare l'idrodinamica indotta nella laguna. La descrizione di questi dati è dettagliatamente riportata nei capitoli seguenti di questa relazione. In sintesi, la marea tipica per la zona in esame crea variazioni del livello del mare eterno alla laguna, che si alza o si abbassa dell'ordine di 10cm. I venti più intensi e più frequenti provengono da sud-est e una certa frequenza e intensità dei venti è caratteristica anche delle direzioni da Nord-Ovest.

2) Costruzione del modello di simulazione numerica, calibrazione e validazione.

La versione attuale del modello di simulazione numerica è stata sviluppata utilizzando il software MIKE21-FM già in dotazione alla Regione e già utilizzato dal proprio personale. Il DICEA si è dotato dello stesso software ed ha lavorato con questo, al fine di agevolare il trasferimento delle competenze all'uso del sistema sviluppato verso il personale della Regione. Il modello è stato calibrato e verificato utilizzando i dati batimetrici e idraulici disponibili. Nuove calibrazioni e verifiche potranno essere condotte, se il rilievo dei fondali sarà aggiornato e se nuove misure idrauliche saranno svolte. utilizzo del modello per la ricostruzione di scenari tipici della laguna nella condizione attuale.

3) Utilizzo del modello per la ricostruzione di scenari di circolazione lagunare e scambi con l'esterno indotti da condizioni marea e venti tipici.

L'analisi dei dati di vento e di marea ha permesso di definire degli scenari tipici per la laguna e il modello numerico è stato impiegato per simulare, nella situazione attuale:

- 1) la circolazione idraulica;
- 2) i livelli in laguna;
- 3) le portate scambiate con il mare attraverso i canali di Nassa, Fibbia e Ansedonia.

Gli scenari di vento e marea simulati sono in totale circa 60. I risultati delle simulazioni sono riassunti in schede di scenario allegati alla presente relazione (Allegato A).

4) Utilizzo del modello volto a verificare l'efficacia ed eventualmente perfezionare i protocolli operativi.

Quest'attività riguarda per esempio lo studio di diversi scenari possibili di intervento che saranno continuamente concertati con la Regione, come ad esempio:

- a. pompaggio forzato di portate di intensità voluta (per esempio a supporto del progetto di nuove pompe);
- b. studio degli effetti sulla circolazione apportati dall'escavo di canali interni alla laguna;
- c. studio degli effetti sulla circolazione apportati dalla modifica dei canali esistenti e/o dell'apertura di nuovi canali di collegamento con il mare;
- d. verifica dell'efficacia di differenti protocolli che tengano conto dell'interazione del sistema di pompaggio forzato con le circolazioni indotte da determinate condizioni di vento o marea.

5) Supporto e formazione alla Regione per continuare ad utilizzare il modello sviluppato anche con il proprio personale.

Quest'attività è prevista in itinere e nei 12 mesi seguenti la conclusione del presente accordo. L'inizio di tale attività è da concordare con la Regione, tenuto conto anche degli eventuali sviluppi futuri degli accordi di collaborazione, finalizzati a render operativo il modello realizzato in sinergia con una rete di misura.

Tutte le suddette attività sono state condotte operando scelte che poi potranno essere valorizzate a lungo termine e nell'ambito di un rinnovo dell'accordo DICEA-Regione, per perseguire il potenziale e ulteriore obiettivo di integrare il modello di simulazione numerica, realizzato nell'ambito di questo primo accordo, con una rete di misura di velocità e livelli in alcuni punti interni alla laguna.

Con questo ulteriore sviluppo della ricerca, lo strumento sviluppato potrà essere utilizzabile operativamente non solo per simulare scenari ideali, o ricostruire l'idrodinamica di eventi

passati, ma anche per prevedere l'idrodinamica che si instaurerà in laguna a breve termine, ad esempio durante la settimana prossima. Per il raggiungimento di questo secondo potenziale obiettivo, sarà necessario svolgere una serie di ulteriori attività. La prima di queste è il progetto e la realizzazione di una rete di misura.

Nel seguito del presente e primo accordo di collaborazione saranno comunque fornite alla Regione le indicazioni tecniche ed economiche necessarie alla realizzazione della rete e alla stima del relativo costo di costruzione e manutenzione.

7.3. Inquadramento del sito oggetto dello studio

La Laguna di Orbetello si estende per circa 26 km², è situata sulla costa tirrenica, nella parte Sud della Toscana ed è separato dal mare a ponente a levante da due Tomboli sabbiosi lunghi circa 6 km (i Tomboli della Giannella a NW e della Feniglia a SE) e ad ovest dal promontorio dell'Argentario.



Figura 41 –Il sistema lagunare oggetto dello studio idrodinamico.

Una terza lingua istmica di terra si protende nel centro della laguna dove sorge il centro urbano di Orbetello. Un ponte artificiale (la diga Leopoldiana) collega Orbetello al Monte Argentario e divide la laguna in due parti, la laguna di Ponente e la laguna di Levante.

La profondità media della laguna è di circa -1.13m -1.7m s.l.m. e le escursioni di marea non superano gli 0.4m. Tali condizioni comportano quindi scarsi scambi con le acque marine e una forte presenza di nitrati e di sali di potassio dovuti all'immissione in laguna di scarichi

provenienti dalle colture agricole. L'apporto continuo di nutrienti determina a sua volta la proliferazione algale con conseguente impoverimento di ossigeno. Per questo motivo uno studio dettagliato della circolazione ed il ricambio idrici risultano di estrema importanza.

È inoltre importante notare che l'attività della pesca riveste un ruolo fondamentale per l'economia dell'area. In particolare, tra le principali tecniche di pesca presenti, i lavorieri costituiscono dei veri e propri sbarramenti posti in corrispondenza degli unici tre canali che mettono in comunicazione la laguna con il mare: Nassa, Fibbia e Ansedonia.

Il canale di Nassa lungo circa 1520 m e profondo -2 m, ed il canale di Fibbia lungo circa 2820 m e profondo mediamente -1.8 m, sono i due canali che collegano rispettivamente a Est e ad Ovest la laguna di Ponente al mare. Allo sbocco in laguna dei due canali sono presenti lavorieri dotati di griglie (sgrigliatori), pompe e paratoie con le quali è possibile chiudere il collegamento tra mare e laguna, durante le fasi di pompaggio forzato in laguna con lo scopo di consentire temporaneamente un maggior ricircolo delle acque e una regolazione del livello in laguna.

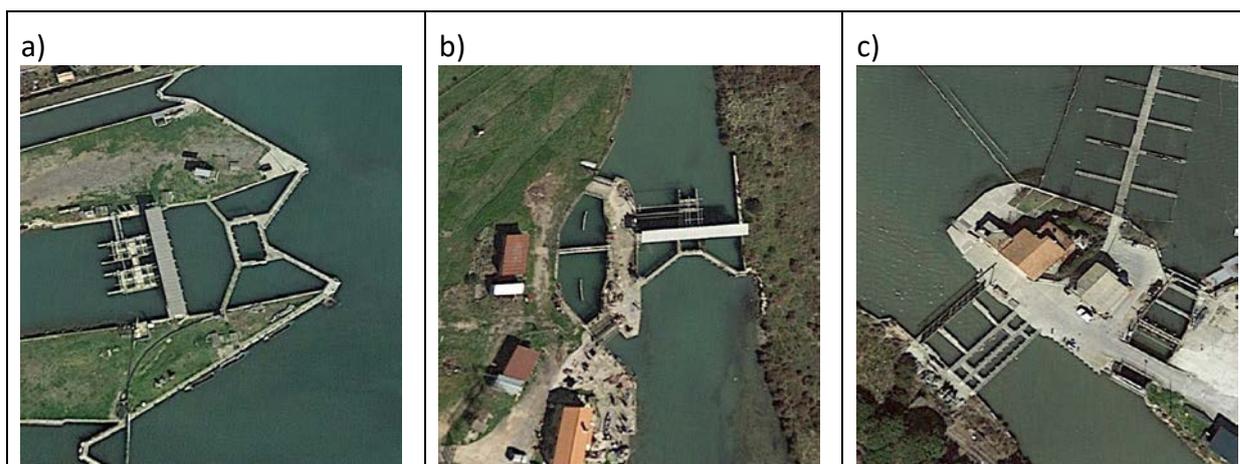


Figura 42 – Lavorieri localizzati alle bocche lato laguna di Ponente dei canali di: a) Nassa e b) Fibbia e c) Ansedonia.

Il canale di Ansedonia invece è l'unico collegamento esistente a SE tra la laguna di Levante ed il mare, e attraversa il tombolo della Feniglia per una lunghezza di circa 1850 m ed una profondità di -1.7m s.l.m. Come i canali di Nassa e Fibbia anch'esso è dotato di un lavoriero, di pompe e paratoie.

8. Il modello numerico MIKE 21 FM

La ricostruzione bidimensionale del campo di correnti e dell'andamento dei livelli idrici in tutta la laguna di Orbetello è stata eseguita mediante simulazioni con il codice di calcolo Mike 21-FM.

Note le caratteristiche batimetriche dell'area di studio, i dati di vento e dei livelli, l'impiego di un modulo idrodinamico permette di simulare le variazioni di livello e i flussi dovuti alle forzanti nel dominio di calcolo (Figura 44).



Figura 43 - Diagramma illustrativo della modellistica numerica utilizzata

Il modulo usato è il MIKE 21 HD-FM (HydroDynamic Flexible Mesh) del codice di calcolo MIKE 21, che utilizza uno schema di soluzione esplicito (ai volumi finiti) centrato su ogni singolo triangolo (centro triangolo).

Il particolare tipo di griglia di Mike 21-FM ha la proprietà di essere infittita o diradata in alcune aree rispetto ad altre, permettendo dei risultati di maggior dettaglio nelle aree di maggior interesse e di velocizzare il calcolo del modello in altre aree dove non si ritiene opportuno tale dettaglio.

I principali fenomeni inclusi nel modello sono quelli elencati come segue:

- flooding and drying;
- perdite di carico;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/evaporazioni;
- moto ondoso (attraverso radiation stresses);
- apporti puntuali (pozzi e sorgenti).

8.1. Dati batimetrici

Il sito oggetto del presente studio si estende dal promontorio di Monte Argentario alla costa toscana per mezzo di due tomboli sabbiosi (Giannella a NW e della Feniglia a SE) ed ha una superficie di 27km², divisa per mezzo di una terza barra di sabbia mediana, in due bacini comunicanti (bacino di Ponente e di Levante) con profondità media di circa -1m SWL ed una profondità massima di -2m SWL.

Ciascun bacino comunica con il mare attraverso i seguenti 3 canali principali:

- i canali di Nassa e Fibbia a nord, sul tombolo della Giannella;
- il canale di Ansedonia a sud sul tombolo della Feniglia.

La batimetria dell'intera superficie lagunare è stata ricostruita utilizzando i dati dei rilievi effettuati dallo Studio ARIA nel triennio '02-'04, con un livello di dettaglio ancora più elevato nelle zone dell'Area EX SITOCO, Stagnino e Stagnone (Figura 45).

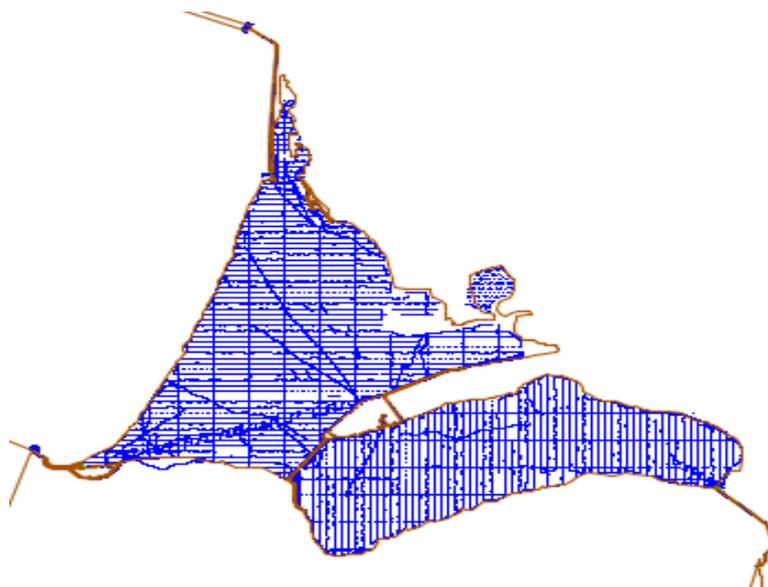


Figura 44 - Rilievo batimetrico del 2002 -2004.

Il modello digitale dei fondali è stato integrato con le batimetrie dell'area circostante il sito d'interesse (da -10m a -100m SWL), mediate i dati reperiti sulle carte nautiche dell'I.I.M., rispettivamente: "Dal Canale di Piombino al Promontorio Argentario e Scoglio Africa" per il tratto di mare a Nord della laguna e "Dal Promontorio Argentario a Capo Linario" per il tratto di mare a sud.

8.2. Dati anemometrici

I valori di velocità del vento in input al modello idrodinamico di MIKE 21-FM, sono stati resi disponibili dal Settore Idrologico Regionale (SIR) del Centro Funzionale della Regione Toscana. In particolare, essendo localizzata in una posizione centrale dell'area d'interesse, è stato fatto riferimento alle misurazioni della stazione anemometrica di Orbetello (LAT. 42.43°N LON. 11.18°E) (Figura 46).



Figura 45 – Stazione anemometriche di Orbetello.

8.2.1. Dati anemometrici per la simulazione degli scenari caratteristici

Per la riproduzione di scenari tipici di circolazione lagunare indotta da forzante di vento, sono stati analizzati i dati anemometrici, forniti come media giornaliera delle registrazioni della stazione di Orbetello, per il periodo 2003- 2010, che sono riportati sotto forma di tabelle in cui sono indicati i seguenti parametri:

- data e ora della registrazione;
- velocità (a 3 m di altezza);
- direzione del vento.

Successivamente, allo scopo di valutare quantitativamente l'influenza del vento sulla circolazione in laguna, sono state elaborate le serie storiche dei dati di vento. I dati sono stati accorpati, sia per settore di provenienza, sia per classi di velocità. Mediante il calcolo della frequenza di accadimento sul totale, è stata poi ricavata la distribuzione direzionale in frequenza del vento. In Tabella 14 è riportata la distribuzione delle frequenze in % delle velocità del vento per ciascun settore di provenienza e in Figura 47 è riportato il grafico

relativo alla rosa dei venti omnidirezionale annuale. I valori di direzione e intensità rappresentano il valore medio della classe analizzata (per la direzione classi di 30° e per le intensità di 2m/s).

Tabella 14: Distribuzione direzionale delle frequenze [%] annuali.

		ANNUALE									SOMMA [%]
		VELOCITA' [m/s]									
		1	3	5	7	9	11	13	15	17	
DIREZIONE [°N]	15	1.43	0.31	0	0.04	0	0	0	0	0	1.78
	45	0.15	0.39	0.54	0.15	0.12	0	0	0	0	1.35
	75	0.19	1.16	0.58	0.27	0.08	0	0.04	0	0	2.32
	105	0.42	0.93	0.89	0.39	0.15	0.04	0	0	0	2.82
	135	1.54	3.75	5.25	1.78	0.58	0.19	0	0	0	13.09
	165	2.90	9.69	6.87	1.81	0.85	0.23	0	0	0	22.36
	195	2.24	7.45	3.63	1.00	0.27	0.19	0	0	0	14.79
	225	2.28	6.10	2.86	0.66	0.31	0.08	0	0	0	12.28
	255	1.43	5.68	2.28	0.42	0.15	0	0	0	0	9.96
	285	1.04	6.41	5.21	0.35	0.08	0	0	0	0	13.09
	315	0.19	2.36	3.24	0.23	0	0	0.04	0	0	6.06
	345	0	0	0.12	0	0	0	0	0	0	0.12

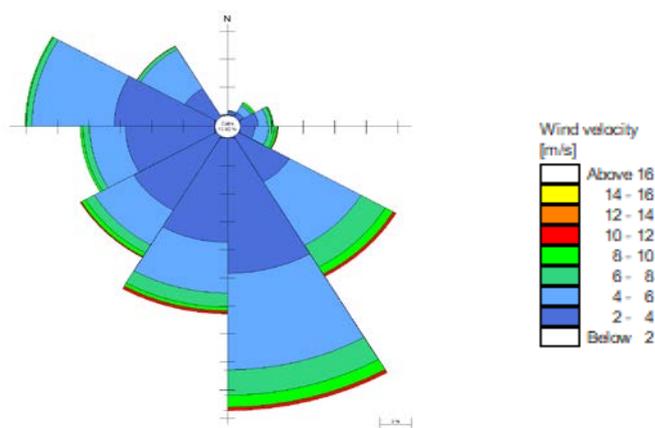


Figura 46 – Distribuzione direzionale annuale della frequenza dei venti per classi di velocità.

Dall'analisi della distribuzione annuale di velocità dei venti, è possibile evidenziare che più dell'85% dei venti provengono dal settore SSE - ONO (classi da 135°N a 285°N) e sono caratterizzati da velocità inferiori o uguali ai 11m/s.

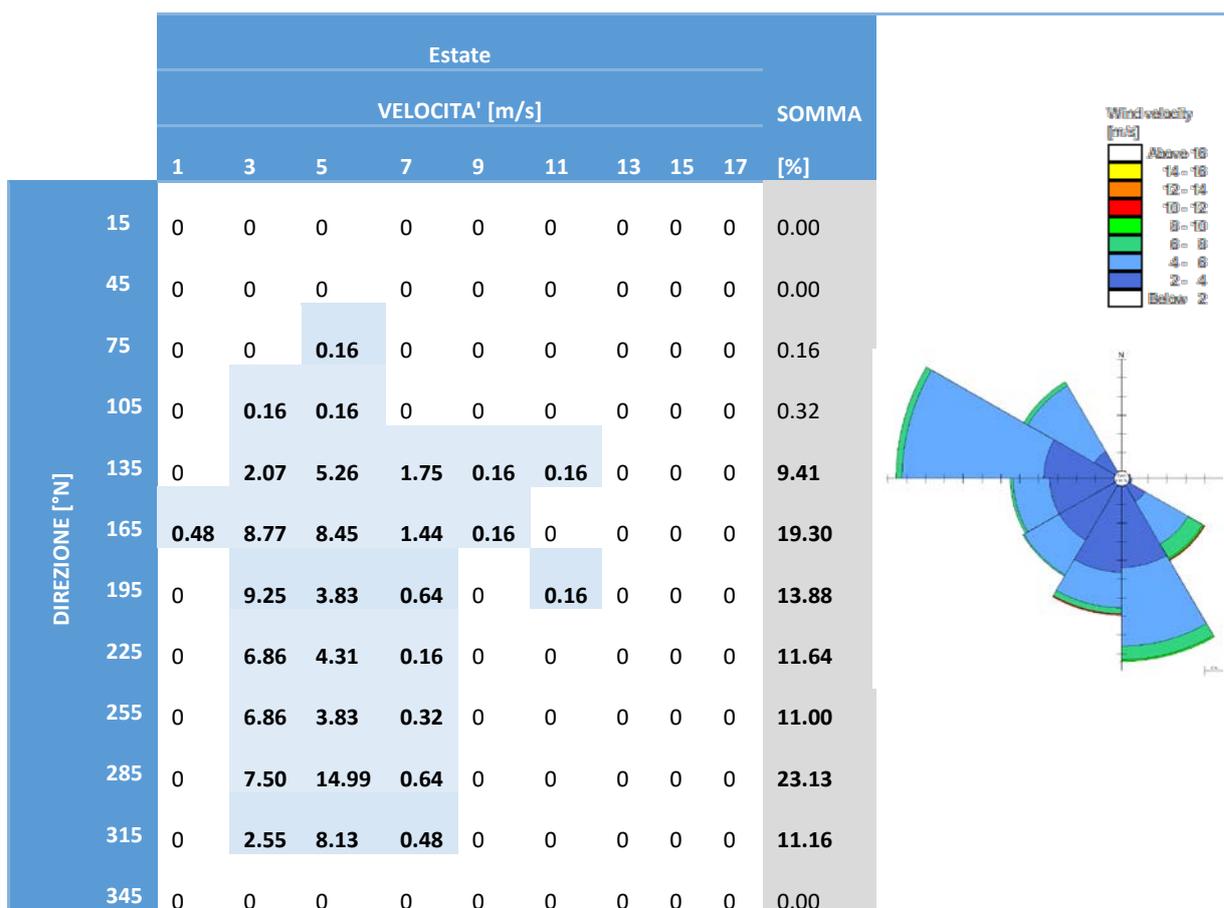
Circa il 23% dei venti proviene dalla direzione 165°N (che comprende il settore 150°N-180°N), di cui il 10% ha un'intensità compresa fra 2 e 4m/s. Inoltre, i venti provenienti da 135°N, 195°N, 225°N e 285°N hanno una frequenza ciascuno compresa fra 12% e 14%.

I venti con intensità maggiore (compresa fra 12m/s e 14m/s) sono stati registrati dalle direzioni 75°N e 315°N e sono pari allo 0.04%, mentre il 90% dei venti ha una velocità inferiore a 6m/s.

Le serie temporali dei dati di vento forniti dal SIR sono state analizzate anche tenendo conto della stagionalità allo scopo di fornire una valutazione dell'influenza del vento sulla circolazione in laguna, in quattro diversi periodi dell'anno.

In Estate (Tabella 15) la direzione prevalente dei venti risulta essere quella da 285°N con circa il 23% di eventi registrati. Tale direzione è generalmente caratterizzata da velocità inferiori a 8m/s e circa il 15% di eventi presenta intensità di 5m/s.

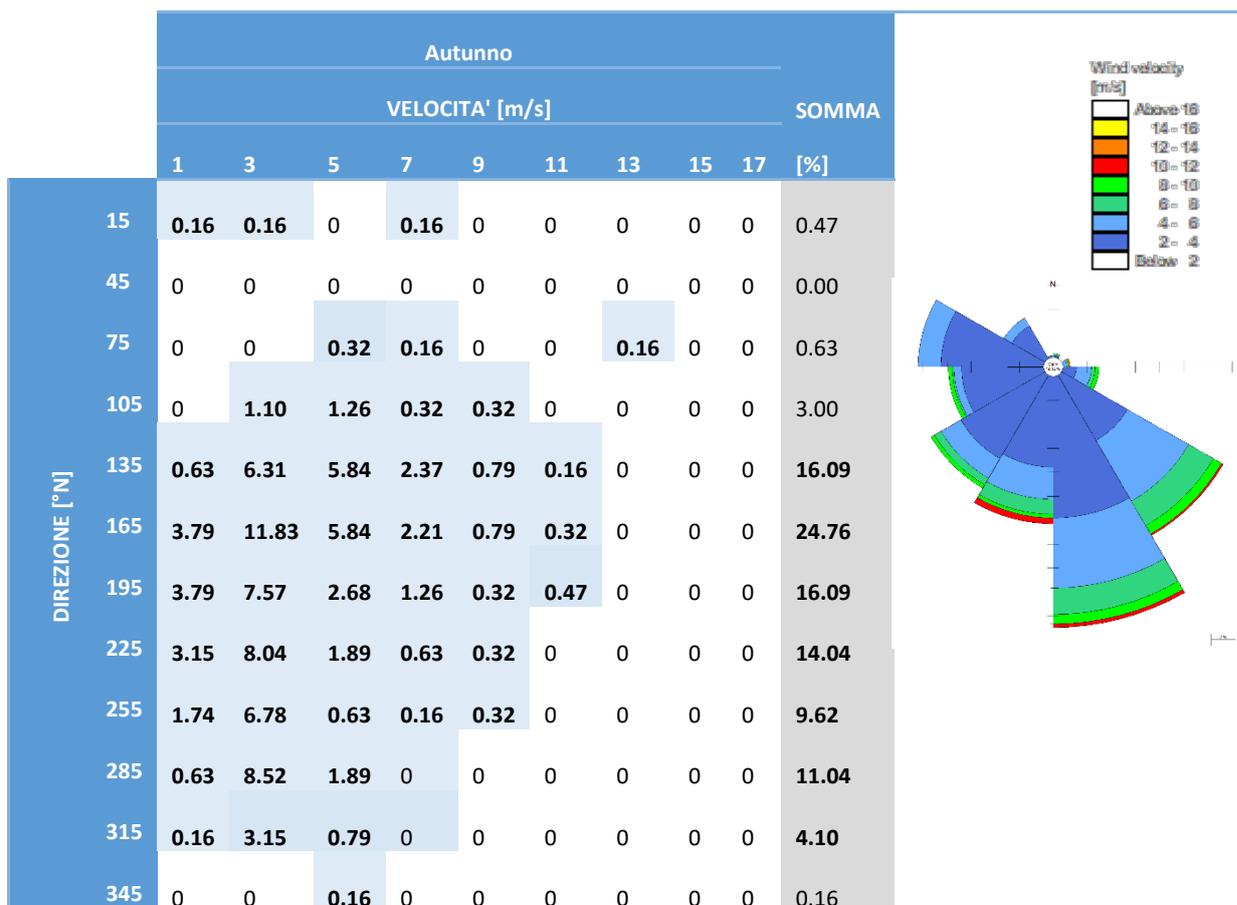
Tabella 15: Distribuzione direzionale delle frequenze [%] per il periodo estivo.



La direzione 165°N registra il 19.3% dei venti con intensità inferiore a 10m/s, mentre eventi con intensità compresa fra i 10 e 12m/s sono registrati per le direzioni 135°N e 195°N con una frequenza pari al 0.16%.

In Autunno (Tabella 16) la direzione prevalente dei venti risulta essere quella da 165°N con circa il 25% di eventi registrati e velocità inferiori o uguali a 11m/s. Circa il 12% di venti provenienti da tale direzione presenta intensità di 3m/s. Il 16% degli eventi invece ha direzione da 135°N e 195°N con intensità variabile fra 0 e 12m/s. Infine in questo periodo dell'anno, con frequenza pari a 0.16%, si registrano venti provenienti da 75°N con intensità compresa fra i 12 e 14m/s.

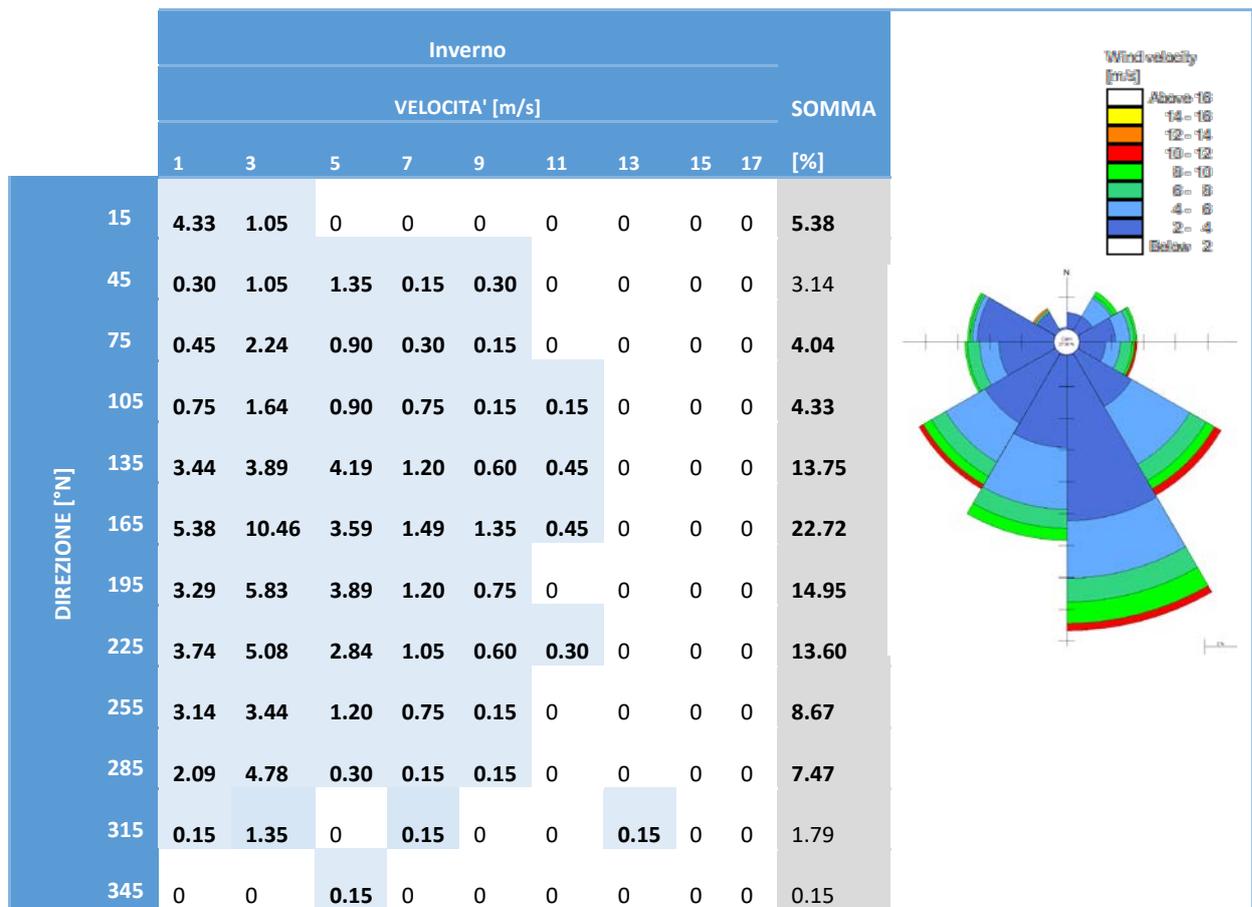
Tabella 16: Distribuzione direzionale delle frequenze [%] per il periodo autunnale.



Nella stagione invernale (Tabella 17) la direzione prevalente dei venti risulta essere quella da 165°N con circa il 23% di eventi registrati, caratterizzati da intensità inferiore a 11m/s. Circa il 10.5% dei venti da 165°N presenta intensità di 3m/s.

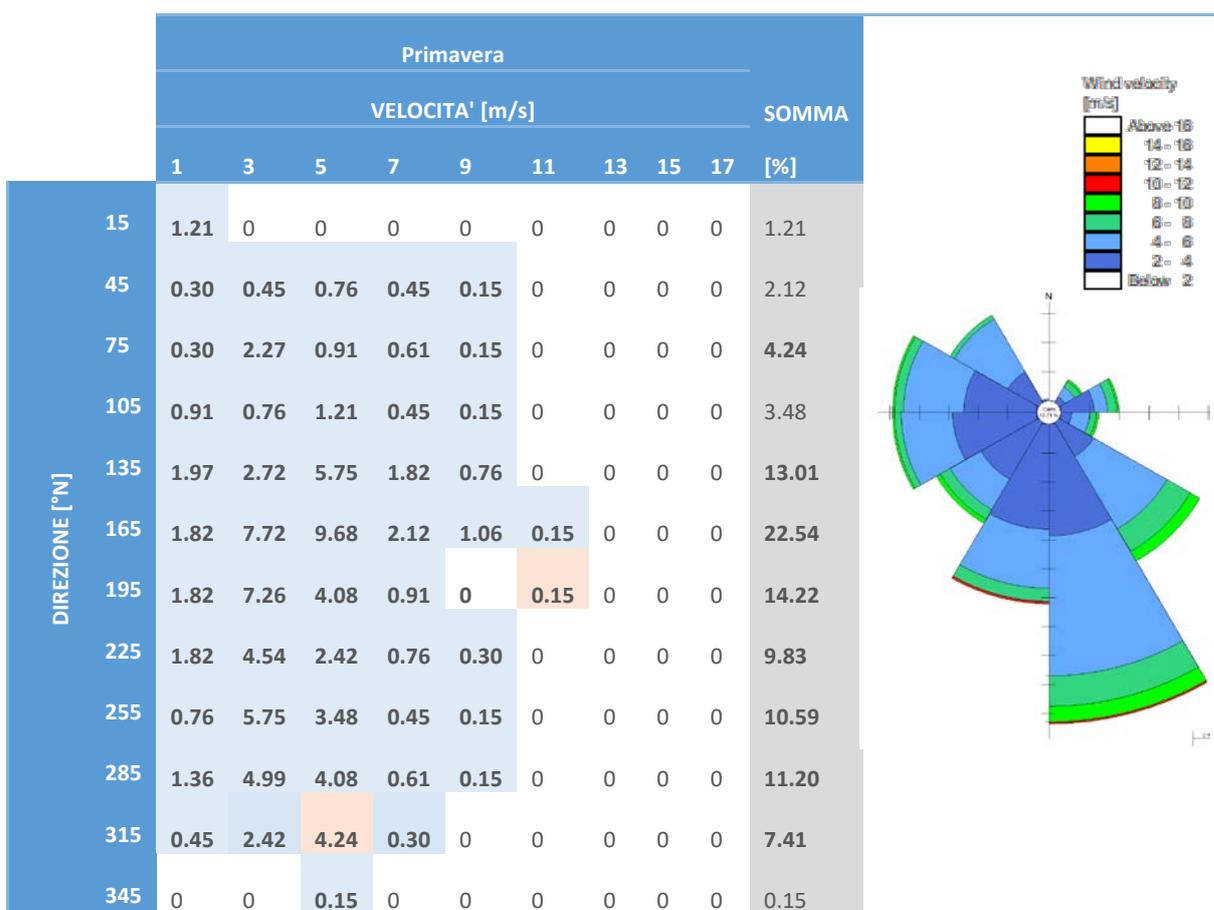
La direzione 195°N registra circa il 15% dei venti con intensità inferiore a 11m/s, mentre eventi con intensità compresa fra i 12 e 14m/s sono registrati per la direzione 315°N con una frequenza pari al 0.15%.

Tabella 17: Distribuzione direzionale delle frequenze [%] per il periodo invernale.



In Primavera (Tabella 18) la direzione prevalente dei venti risulta essere sempre quella da 165°N con circa il 22.54% di eventi registrati e velocità inferiori o uguali a 11m/s. Circa il 10% di venti provenienti da tale direzione presenta intensità di 5m/s. I venti con intensità maggiore provengono dalla 165°N e dalla 195°N (con frequenza ciascuno dello 0.15%).

Tabella 18: Distribuzione direzionale delle frequenze [%] per il periodo primaverile.



8.2.2. Dati anemometrici per la simulazione degli scambi annuali

Per le simulazioni degli scambi di volumi d'acqua tra mare e laguna è stato scelto di utilizzare i dati di velocità e direzione del vento del 2016, resi disponibili dal Settore Idrologico Regionale (SIR) del Centro Funzionale della Regione Toscana. Tali dati sono acquisiti alla stazione anemometrica di Orbetello ogni 15 minuti per un periodo che va dal 01/01/2016 ore 00:00 al 31/12/2016 ore 23:45.

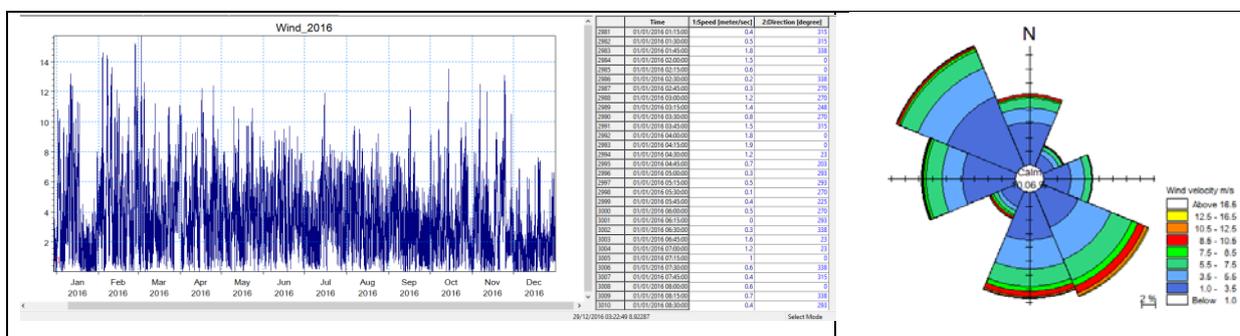


Figura 47- Dati anemometrici misurati alla stazione di Orbetello TOS11000508 durante il 2016 e distribuzione direzionale delle frequenze [%].

8.3. Dati idrometrici

I dati idrometrici sono stati ottenuti per le stazioni di Civitavecchia e Marina di Campo utilizzando i valori di ampiezza e fase della marea lunare semidiurna principale, ricavati dalla Rete Mareografica Nazionale (<http://www.mareografico.it/>) e localizzati in Figura 49.

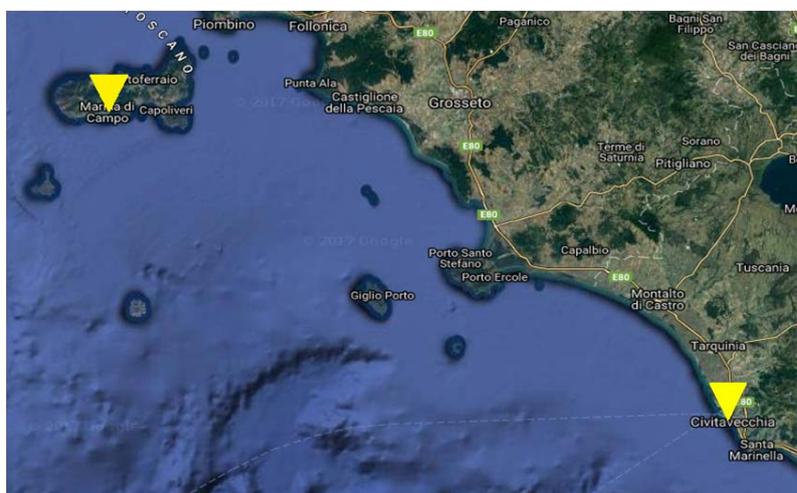


Figura 48 – Mareografi di Civitavecchia e Marina di Campo.

Con lo scopo di validare il modello sono stati utilizzati i dati idrometrici forniti dal CFR in 4 stazioni di rilevamento poste all'interno della laguna e localizzate come riportato in Figura 50 e Tabella 19 .

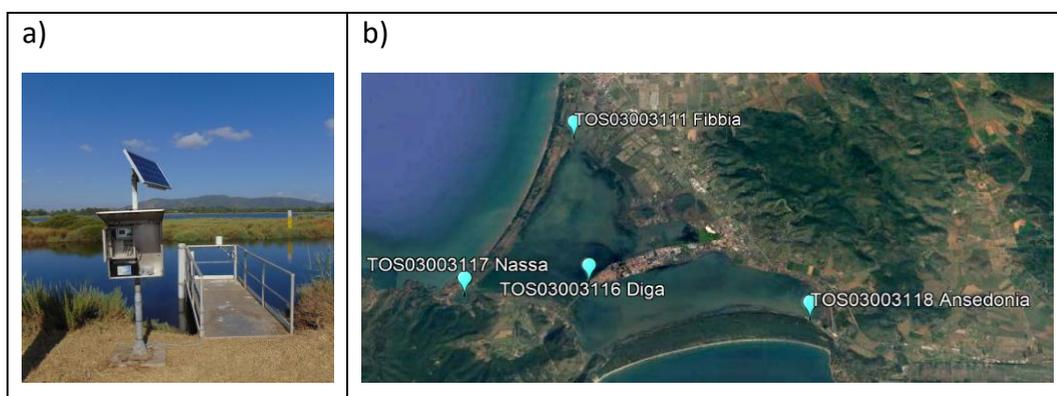


Figura 49 – a) Stazione di rilevamento di Fibbia, b) Localizzazione delle stazioni idrometriche del CFR.

Tabella 19: Coordinate WGS84 UTM32 delle stazioni idrometriche del cfr

SEZIONE	EST [m]	NORD [m]
TOS03003111 Fibbia	680749.18	4705705.51
TOS03003117 Nassa	678361.25	4700219.89
TOS03003118 Ansedonia	687149.36	4699686.06
TOS03003116 Diga	681591.72	4700794.06

In particolare, è importante notare che per una corretta interpretazione e validazione dei risultati ottenuti dal modello, solo le stazioni idrometriche di Nassa e della Diga (TOS03003117 e TOS03003116) sono poste all'interno della laguna, mentre le stazioni di Fibbia e Ansedonia (TOS03003111 e TOS03003118) sono localizzate a monte dei lavorieri, pertanto i livelli misurati non sono indicativi dell'idrodinamica che si sviluppa all'interno della laguna.

8.3.1. Dati idrometrici per la simulazione di scenari caratteristici di marea

In Tabella 20 si riportano i valori di ampiezza e fase di Marina di Campo e Civitavecchia ottenuti mediando i valori rispettivamente di 4 anni (2011-2014) e 10 anni (2005-2014).

Tabella 20: Valori estratti dai mareografi di riferimento.

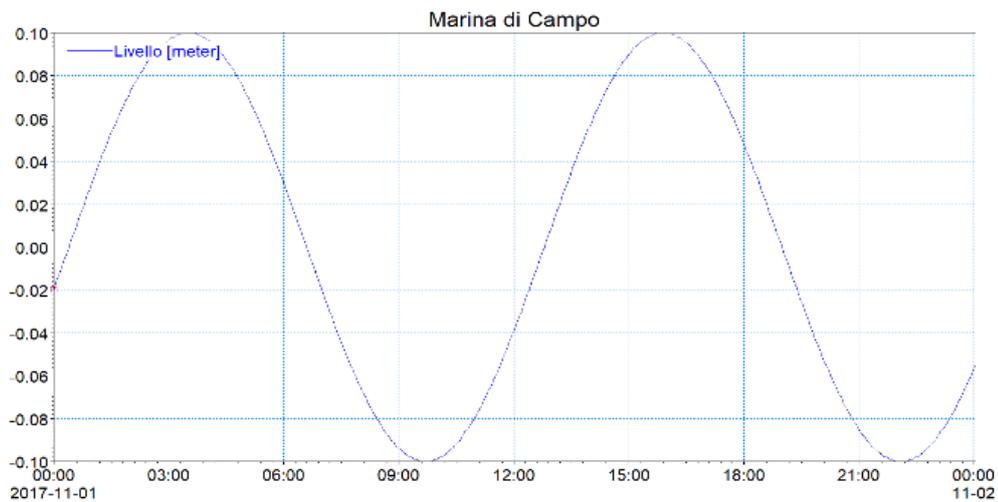
	Ampiezza a [m]	Fase α [°]	Fase α [rad]
Marina di Campo	10.77	200.30	3.49
Civitavecchia	9.90	211.53	3.69

I livelli dovuti alla marea semidiurna lunare, con periodicità 12.4 ore, sono stati stimati mediante l'equazione seguente:

$$\eta(t) = \sum_{n=1}^M a_n \cos(w_n t + \alpha_n) \quad \text{Eq. 1}$$

dove $\eta(t)$ è il livello dovuto alla marea all'istante t , a_n è l'ampiezza e α_n è la fase angolare della marea semidiurna, w_n è la frequenza angolare. Inserendo i parametri riportati in Tabella 20, sono stati ottenuti gli andamenti dei livelli a Marina di Campo e Civitavecchia.

a)



b)

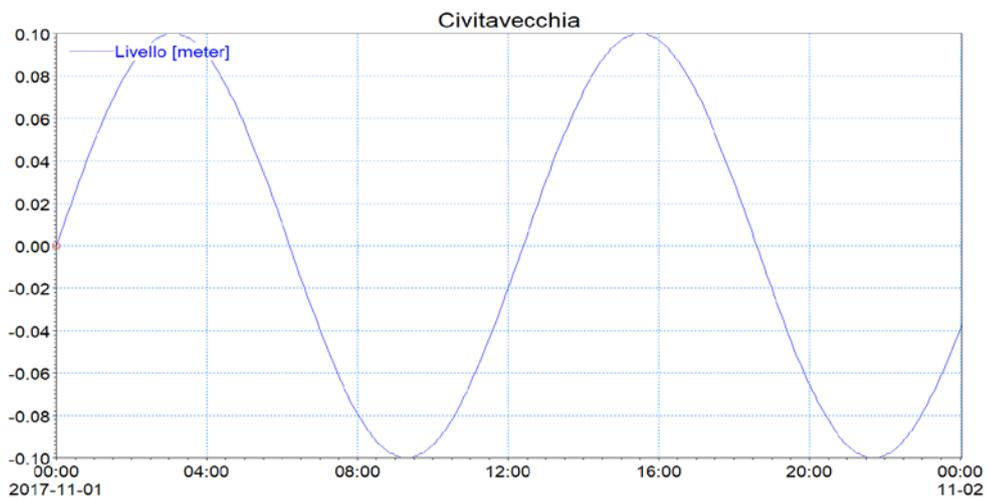


Figura 50 – Livelli stimati a Marina di Campo (a) e a Civitavecchia (b)

In Figura 51 è possibile notare che i livelli della stazione di Marina di Campo sono sfasati rispetto a quelli stimati per Civitavecchia. Tale differenza di fase è risultata essere pari a circa 24 minuti, ottenuti uguagliando i livelli delle due stazioni mareografiche come di seguito:

$$w(t + \Delta t) + \alpha_{Marina\ Campo} = wt + \alpha_{Civitavecchia}$$

$$\Delta t = \frac{\alpha_{Civitavecchia} - \alpha_{Marina\ Campo}}{w} = \frac{0.2}{2\pi} \cdot 12.4 \cdot 60 = 23.7min$$

8.3.2. Dati idrometrici per la simulazione degli scambi annuali con il mare

I valori dei livelli idrici sono stati ricavati dalle registrazioni acquisite ogni 10 minuti dalla Rete Mareografica Nazionale (<http://www.mareografico.it/>) per l'anno 2016 alle stazioni di Civitavecchia e Marina di Campo (dal 01/01/2016 ore 00:00 al 12/12/2016 ore 23.40).

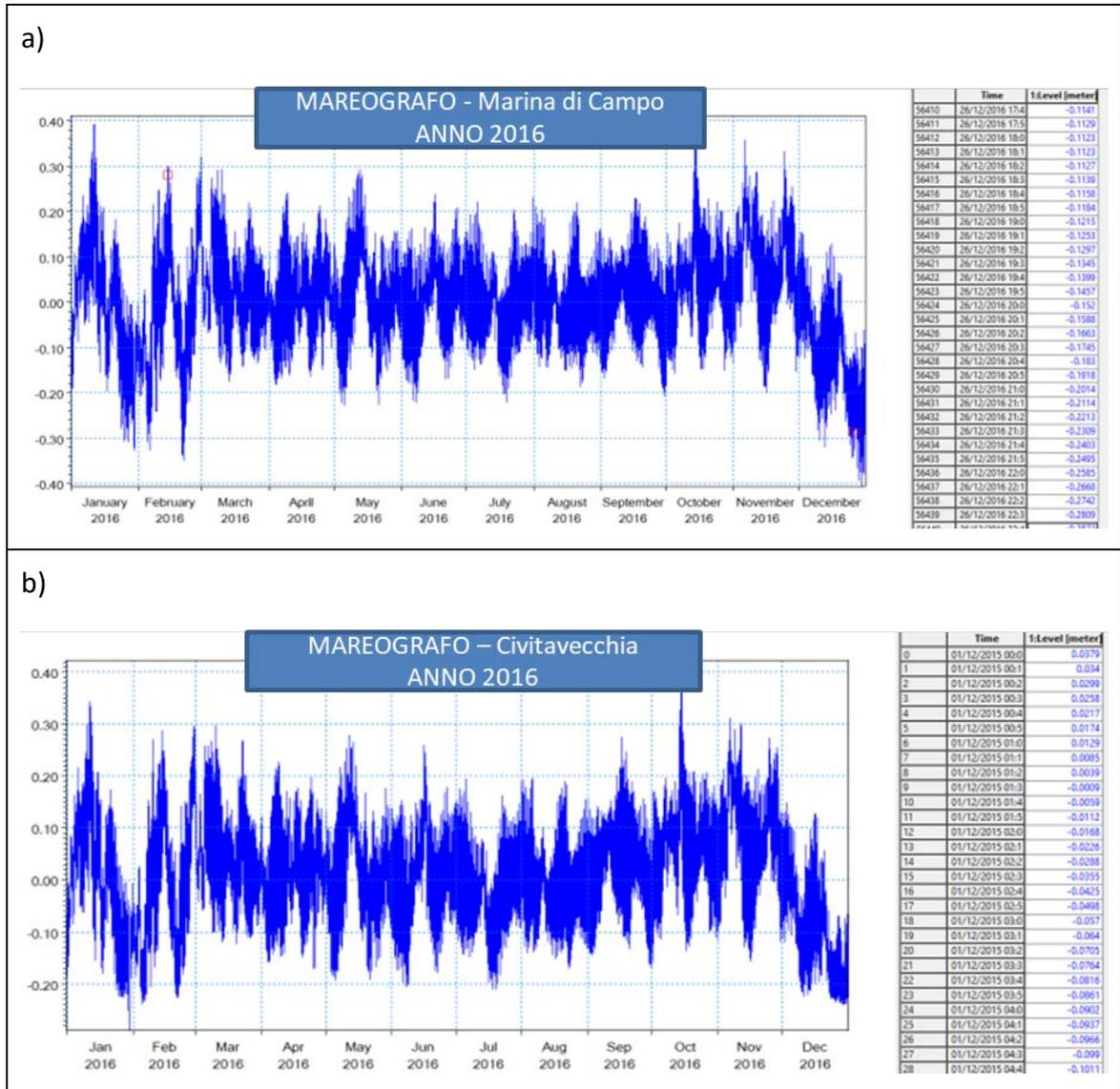


Figura 51- Registros acquisite ai mareografi di Marina di Campo e Civitavecchia durante il 2016.

8.4. Portate del fiume Albegna

Per la stima dei volumi d'acqua scambiati, attraverso i canali di Fibbia, Nassa e Ansedonia è stato inoltre considerato l'apporto annuale dovuto alla presenza del fiume Albegna, la cui foce è localizzata in corrispondenza del tratto del canale di Fibbia lato mare (Figura 53).



Figura 52- Tratto della foce del fiume Albegna in corrispondenza del canale di Fibbia.

Quindi per una corretta riproduzione dei volumi scambiati durante un anno, tra laguna e mare, è stata scelto di simulare in aggiunta alle forzanti di marea e venti, la forzante dovuta al fiume Albegna, introdotta nel modello come un valore medio di portata stimato per ciascuna stagione dell'anno (Tabella 21).

Tabella 21: Valori stimati per le portate stagionali del fiume Albegna.

	Potata [m ³ /s]
Inverno	0.468
Primavera	0.370
Estate	0.333
Autunno	0.361

9. Scenari di circolazione lagunare e scambi con l'esterno indotti da condizioni marea e venti tipici

9.1. Dominio di calcolo per la forzante marea

Il dominio di calcolo usato con la forzante marea comprende un tratto di costa lungo circa 140km che va da Marina di Campo a Civitavecchia, per un totale di 176204 triangoli e 91599 nodi (Figura 54 e dettagli in Figura 55).

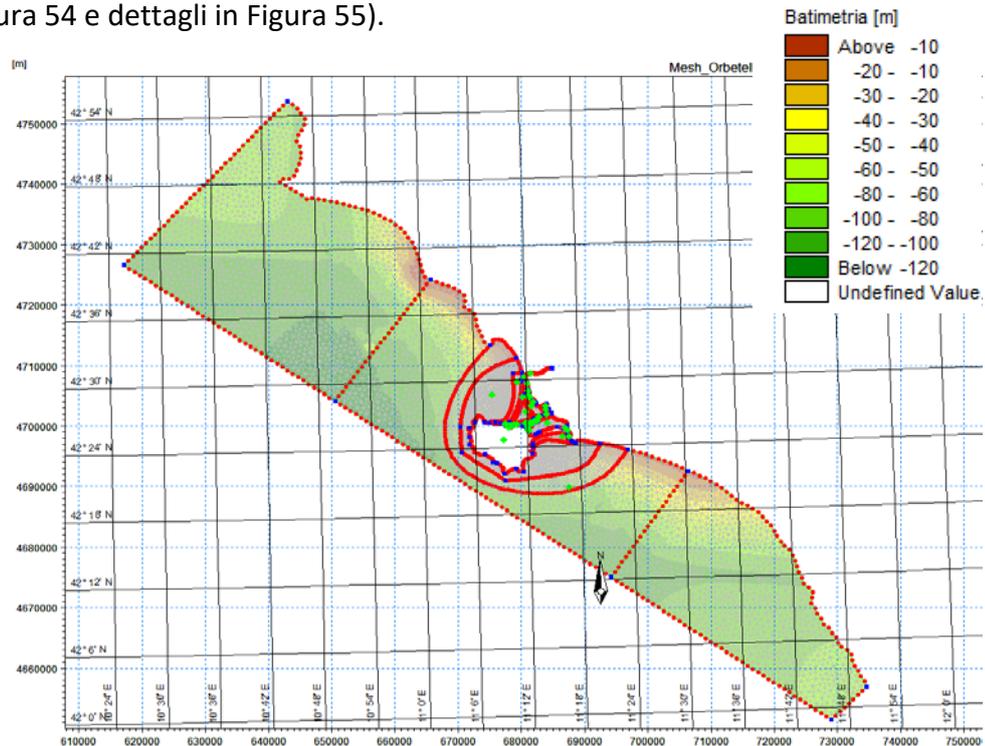


Figura 53 - Dominio di calcolo per forzante marea.

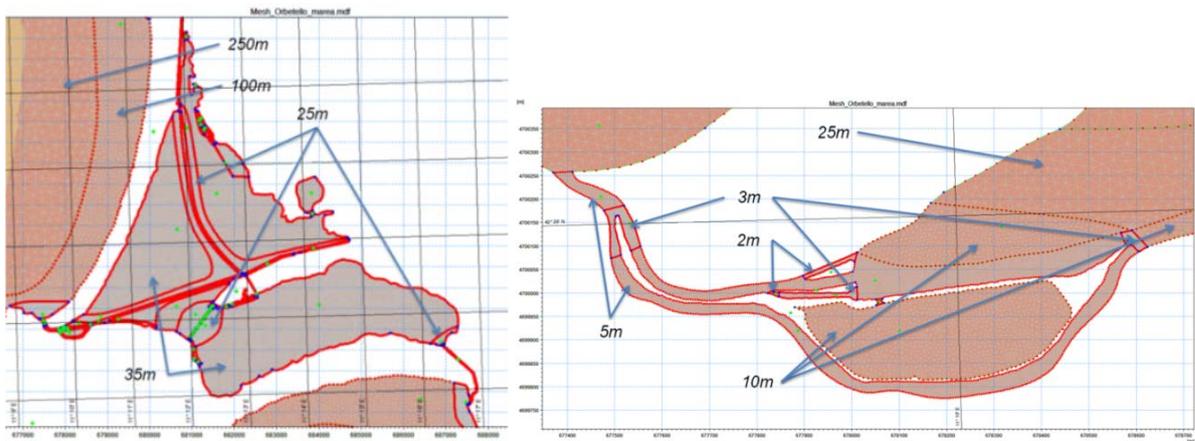


Figura 54 - Dettagli della mesh di calcolo del modulo idrodinamico di Mike 21-FM.

La risoluzione utilizzata all'interno della laguna di Orbetello varia tra 2m e 35m, al fine di ridurre il più possibile i tempi di calcolo, garantendo comunque una risoluzione adeguata in tutte le aree della laguna. Tale risoluzione è strutturata come segue:

- Risoluzione tra 2m-5m, nei canali naturali di dimensioni particolarmente contenute (comprese fra 5m e 50m).
- Risoluzione di 10m, nei canali artificiali (come il vecchio canale navigabile che andava da Nassa a Orbetello) e nella zona intorno al ponte diga.
- Risoluzione di 25m, per garantire un passaggio graduale fra le varie risoluzioni scelte per l'interno della laguna e tra i canali e il mare aperto.
- Risoluzione di 35m, nel resto della laguna.
- Risoluzione di 100m, nella zona di mare aperto su profondità inferiori a 10m.
- Risoluzione tra 250m-1000m, nella zona di mare lontano dalla zona di interesse.

9.2. Dominio di calcolo per forzante di vento

Il dominio di calcolo utilizzato per la forzante di vento si estende da Marina di Alberese a Montalto di Castro per una lunghezza di circa 55km, ed un totale di 171853 triangoli e 89285 nodi Figura 56.

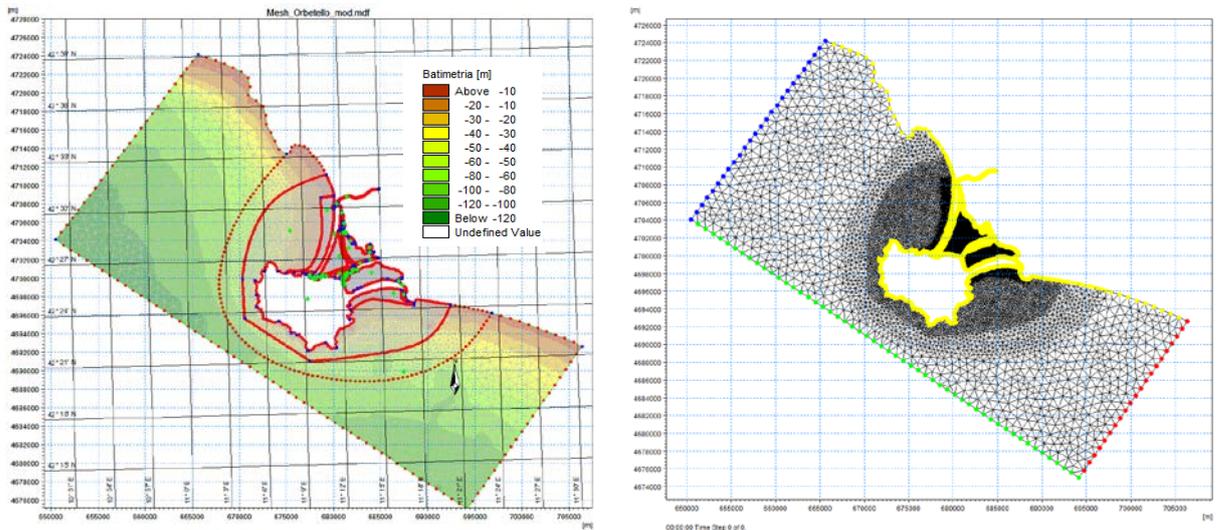


Figura 55 - Dominio di calcolo per forzante vento.

La risoluzione adottata, per omogeneità, è la medesima di quella usata per la forzante marea. La batimetria risultante nella laguna di Orbetello è riportata in Figura 57.

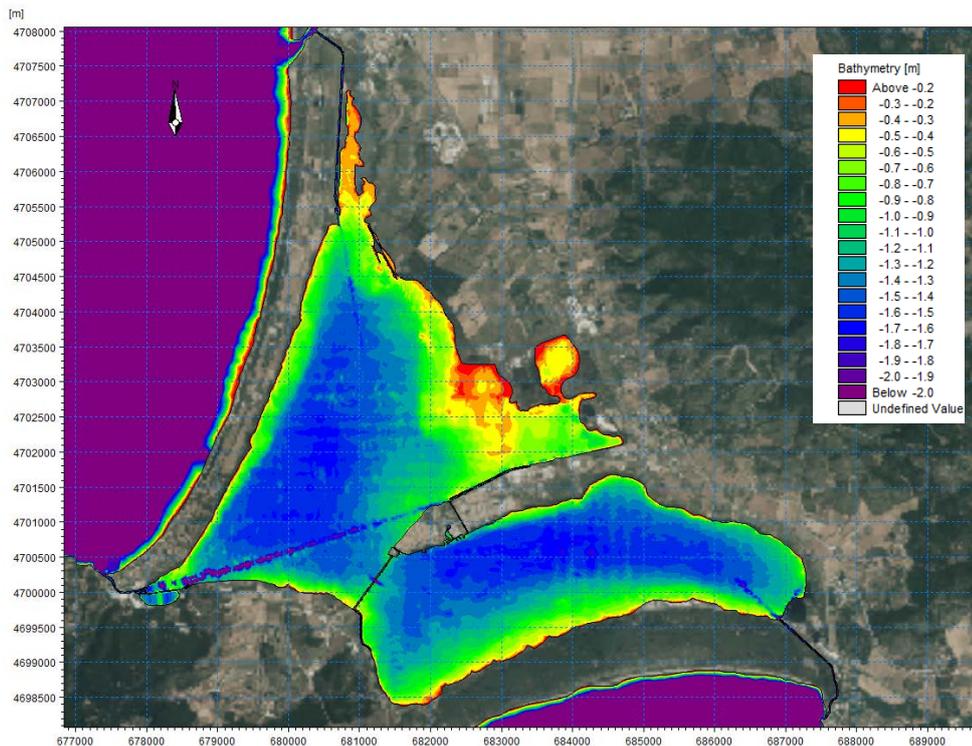


Figura 56 - Batimetria della laguna di Orbetello.

9.3. Metodologia e discussione dei risultati delle simulazioni degli scenari tipici di vento e marea

Nelle simulazioni con la forzante di marea è stata analizzata la marea semi-diurna lunare poiché è ritenuta quella più importante.

Come condizioni al contorno sono stati inseriti nella condizione al contorno nord l'andamento dei livelli per la stazione di Marina di Campo (Figura 51a) e nella condizione al contorno sud l'andamento dei livelli per la stazione di Civitavecchia (Figura 51b).

Sulla condizione al contorno esterna il valore varia linearmente al variare dei valori delle due stazioni. Il valore di scabrezza al fondo usato in mancanza di altre informazioni è pari a $32\text{m}^{1/3}/\text{s}$ e l'eddy viscosity pari a $0.001\text{m}^2/\text{s}$.

La simulazione è stata impostata affinché raggiunga gradualmente in 5 giorni il valore di livello imposto alle condizioni al contorno.

Nelle simulazioni con le forzanti di vento sono stati analizzati gli eventi riportati in Tabella 22. La prima direzione analizzata è la 165°N poiché è la direzione da cui provengono la maggior parte dei venti (venti regnanti) come descritto nel paragrafo 1.2. L'altra direzione analizzata è la 285°N , poiché è la direzione prevalente tra i settori settentrionali.

Tabella 22: Caratteristiche dei venti simulati.

N° SCENARIO	FREQUENZA [%]					VENTO	
	ESTATE	AUTUNNO	PRIMAVERA	INVERNO	ANNUALE	DIR [°N]	V [m/s]
1	0%	0.16%	1.21%	4.33%	1.43%	15	1
2	0%	0.16%	0%	1.05%	0.31%	15	3
3	0%	0.16%	0%	0%	0.04%	15	7
4	0%	0%	0.30%	0.30%	0.15%	45	1
5	0%	0%	0.45%	1.05%	0.39%	45	3
6	0%	0%	0.76%	1.35%	0.54%	45	5
7	0%	0%	0.45%	0.15%	0.15%	45	7
8	0%	0%	0.15%	0.30%	0.12%	45	9
9	0%	0%	0.30%	0.45%	0.19%	75	1
10	0%	0%	2.27%	2.24%	1.16%	75	3
11	0.16%	0.32%	0.91%	0.90%	0.58%	75	5
12	0%	0.16%	0.61%	0.30%	0.27%	75	7
13	0%	0%	0.15%	0.15%	0.08%	75	9
14	0%	0.16%	0%	0%	0.04%	75	13
15	0%	0%	0.91%	0.75%	0.42%	105	1
16	0.16%	1.10%	0.76%	1.64%	0.93%	105	3
17	0.16%	1.26%	1.21%	0.90%	0.89%	105	5
18	0%	0.32%	0.45%	0.75%	0.39%	105	7
19	0%	0.32%	0.15%	0.15%	0.15%	105	9
20	0%	0%	0%	0.15%	0.04%	105	11
21	0%	0.63%	1.97%	3.44%	1.54%	135	1
22	2.07%	6.31%	2.72%	3.89%	3.75%	135	3
23	5.26%	5.84%	5.75%	4.19%	5.25%	135	5
24	1.75%	2.37%	1.82%	1.20%	1.78%	135	7
25	0.16%	0.79%	0.76%	0.60%	0.58%	135	9
26	0.16%	0.16%	0%	0.45%	0.19%	135	11
27	0.48%	3.79%	1.82%	5.38%	2.90%	165	1
28	8.77%	11.83%	7.72%	10.46%	9.69%	165	3
29	8.45%	5.84%	9.68%	3.59%	6.87%	165	5

30	1.44%	2.21%	2.12%	1.49%	1.81%	165	7
31	0.16%	0.79%	1.06%	1.35%	0.85%	165	9
32	0%	0.32%	0.15%	0.45%	0.23%	165	11
33	0%	3.79%	1.82%	3.29%	2.24%	195	1
34	9.25%	7.57%	7.26%	5.83%	7.45%	195	3
35	3.83%	2.68%	4.08%	3.89%	3.63%	195	5
36	0.64%	1.26%	0.91%	1.20%	1.00%	195	7
37	0%	0.32%	0%	0.75%	0.27%	195	9
38	0.16%	0.47%	0.15%	0%	0.19%	195	11
39	0.32%	3.15%	1.82%	3.74%	2.28%	225	1
40	6.86%	8.04%	4.54%	5.08%	6.10%	225	3
41	4.31%	1.89%	2.42%	2.84%	2.86%	225	5
42	0.16%	0.63%	0.76%	1.05%	0.66%	225	7
43	0%	0.32%	0.30%	0.60%	0.31%	225	9
44	0%	0%	0%	0.30%	0.08%	225	11
45	0%	1.74%	0.76%	3.14%	1.43%	255	1
46	6.86%	6.78%	5.75%	3.44%	5.68%	255	3
47	3.83%	0.63%	3.48%	1.20%	2.28%	255	5
48	0.32%	0.16%	0.45%	0.75%	0.42%	255	7
49	0%	0.32%	0.15%	0.15%	0.15%	255	9
50	0%	0.63%	1.36%	2.09%	1.04%	285	1
51	7.50%	8.52%	4.99%	4.78%	6.41%	285	3
52	14.99%	1.89%	4.08%	0.30%	5.21%	285	5
53	0.64%	0%	0.61%	0.15%	0.35%	285	7
54	0%	0%	0.15%	0.15%	0.08%	285	9
55	0%	0.16%	0.45%	0.15%	0.19%	315	1
56	2.55%	3.15%	2.42%	1.35%	2.36%	315	3
57	8.13%	0.79%	4.24%	0%	3.24%	315	5
58	0.48%	0%	0.30%	0.15%	0.23%	315	7
59	0%	0%	0%	0.15%	0.04%	315	13
60	0%	0.16%	0.15%	0.15%	0.12%	345	5

Per ogni vento analizzato è stato impostato un passaggio graduale dal valore zero al valore imposto pari a 6 ore e la durata della simulazione è variabile tra 2 e 6 giorni, poiché per

ognuno è stata valutata la stazionarietà dei valori delle portate estratte nei canali di Ansedonia, Fibbia e Nassa. In Figura 58 e

Tabella 23 sono riportate la localizzazione e le coordinate delle sezioni di ogni canale su cui sono stati estratti i valori di portata.

Tabella 23: Coordinate WGS84 UTM32 delle sezioni di estrazione delle portate.

SEZIONE	EST [m]	NORD [m]	EST [m]	NORD [m]
FIBBIA	680710	4705381	680690	4705378
NASSA	677800	4700021	677801	4699997
ANSEDONIA	686931	4699591	686950	4699606



Figura 57 - Localizzazione delle sezioni analizzate.

Ciascuna sezione è localizzata nella parte terminale dei canali (lato laguna) ed è caratterizzata da una larghezza di circa 20m. Inoltre, come per i modelli precedenti è stata assunta una convenzione dei segni positiva (+) in caso di portata entrante in laguna, negativa (-) nel caso di portata uscente (Figura 62).

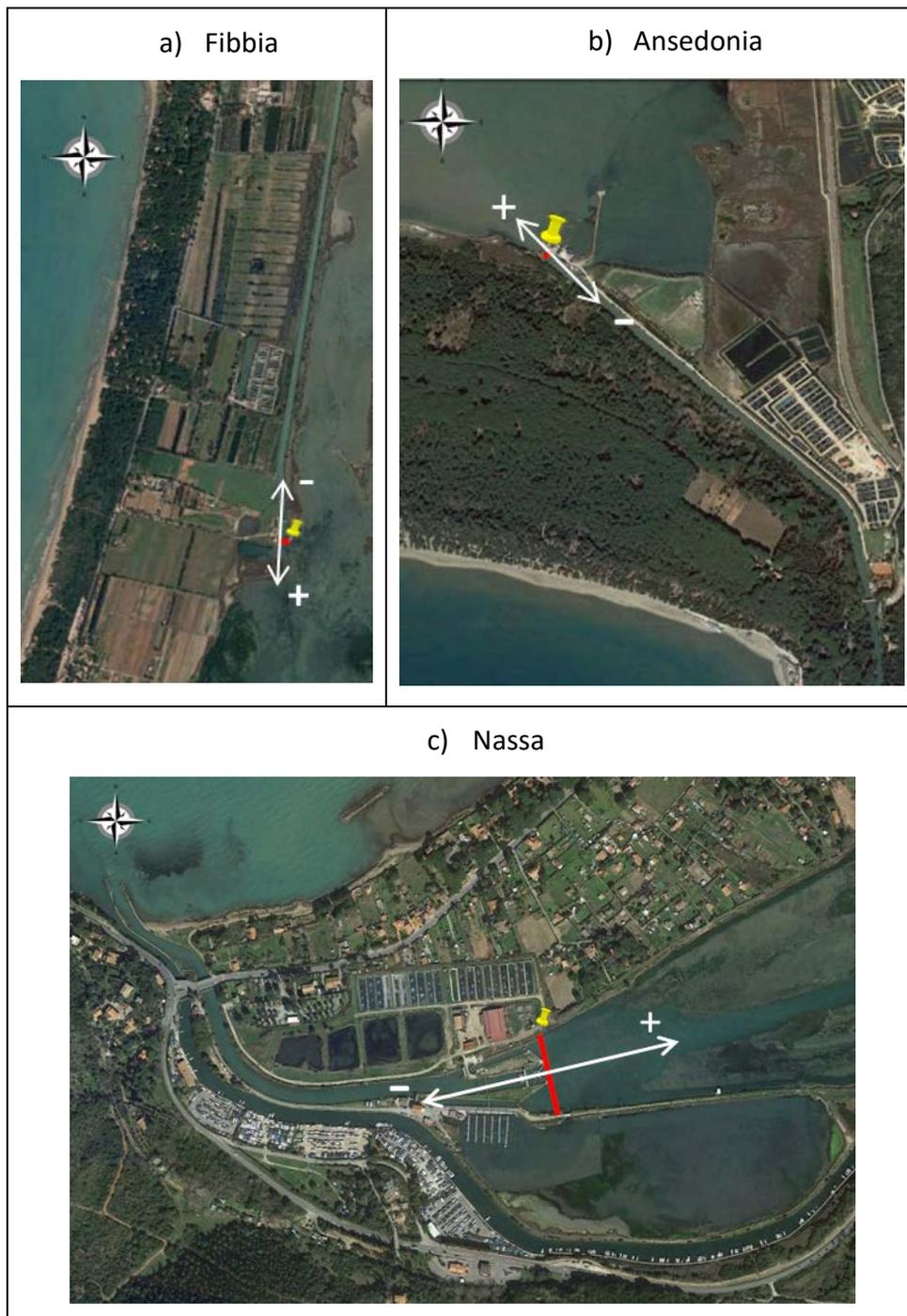


Figura 58 - Particolare della localizzazione delle sezioni di estrazione delle portate nei canali e della convenzione dei segni: (a) Fibbia e (b) Ansedonia, (c) Nassa.

Al fine di caratterizzare quantitativamente i risultati sono stati estratti anche i valori di livello e velocità nei punti riportati in Tabella 24.

Tabella 24: Coordinate WGS84 UTM32 dei punti di estrazione delle velocità e dei livelli.

P.to	DESCRIZIONE	EST [m]	NORD [m]
1	Inizio Fibbia lato mare	680377	4707999
2	Inizio Nassa lato mare	677390	4700258
3	Ansedonia lato mare	687550	4698207
4	Fine Fibbia lato laguna	680698	4705384
5	Fine Nassa lato laguna	677800	4700009
6	Fine Ansedonia lato laguna	686936	4699601
7	Laguna Ponente	680844	4701974
8	Laguna Levante	683684	4700388

I punti 1, 2 e 3 sono estratti all’inizio dei canali di Fibbia, Nassa e Ansedonia rispettivamente. I punti 4, 5 e 6 alla fine dei canali di Fibbia, Nassa e Ansedonia rispettivamente, prima dell’immissione in laguna e i punti 7 e 8 all’interno della laguna di Ponente e Levante rispettivamente.

9.3.1. Livelli idrici risultanti dalle forzanti di vento

Per ciascun punto riportato in Tabella 24 sono stati estratti I livelli idrici indotti dalla sola forzante vento, senza cioè tenere conto dell’effetto dovuto alla marea e al sovrizzo barico.

In Tabella 25 sono riportati tutti i valori estratti per ciascuno dei 60 scenari di vento simulati.

Tabella 25: Valori estratti per i livelli idrici indotti dai 60 scenari di vento.

Estate	Autunno	Primavera	Inverno	ANNO	VENTO		LIVELLI [cm]							
					DIR °N	V [m/s]	1	2	3	4	5	6	7	8
0%	0.16%	1.21%	4.33%	1.43%	15	1	-0.02	0.00	0.00	-0.06	0.01	-0.01	-0.02	-0.01
0%	0.16%	0%	1.05%	0.31%	15	3	-0.16	0.02	-0.04	-0.55	0.09	-0.07	-0.15	-0.07
0%	0.16%	0%	0%	0.04%	15	7	-0.70	0.14	-0.16	-2.96	0.55	-0.30	-0.81	-0.35
0%	0%	0.30%	0.30%	0.15%	45	1	-0.02	0.00	0.00	-0.03	0.03	-0.03	0.00	-0.01
0%	0%	0.45%	1.05%	0.39%	45	3	-0.17	0.00	-0.01	-0.28	0.27	-0.25	0.00	-0.08
0%	0%	0.76%	1.35%	0.54%	45	5	-0.44	0.03	-0.05	-0.76	0.77	-0.68	0.01	-0.23

0%	0%	0.45%	0.15%	0.15%	45	7	-0.80	0.09	-0.11	-1.49	1.51	-1.33	0.02	-0.45
0%	0%	0.15%	0.30%	0.12%	45	9	-1.24	0.20	-0.21	-2.47	2.50	-2.21	0.01	-0.76
0%	0%	0.30%	0.45%	0.19%	75	1	-0.02	0.00	0.01	-0.01	0.02	-0.07	-0.01	-0.03
0%	0%	2.27%	2.24%	1.16%	75	3	-0.14	0.00	0.02	-0.11	0.24	-0.56	-0.03	-0.27
0.16%	0.32%	0.91%	0.90%	0.58%	75	5	-0.36	0.01	0.02	-0.30	0.67	-1.56	-0.08	-0.73
0%	0.16%	0.61%	0.30%	0.27%	75	7	-0.67	0.05	-0.02	-0.59	1.33	-3.06	-0.15	-1.43
0%	0%	0.15%	0.15%	0.08%	75	9	-1.07	0.10	-0.09	-0.96	2.21	-5.07	-0.23	-2.36
0%	0.16%	0%	0%	0.04%	75	13	-2.14	0.28	-0.31	-2.13	4.52	-10.90	-0.62	-5.12
0%	0%	0.91%	0.75%	0.42%	105	1	-0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	-0.09	-0.02	-0.05
0.16%	1.10%	0.76%	1.64%	0.93%	105	3	-0.06	-0.01	0.04	-0.01	0.08	-0.81	-0.14	-0.45
0.16%	1.26%	1.21%	0.90%	0.89%	105	5	-0.17	-0.02	0.07	-0.04	0.22	-2.25	-0.37	-1.26
0%	0.32%	0.45%	0.75%	0.39%	105	7	-0.33	-0.01	0.08	-0.08	0.44	-4.44	-0.74	-2.50
0%	0.32%	0.15%	0.15%	0.15%	105	9	-0.55	-0.01	0.07	-0.17	0.70	-7.45	-1.25	-4.19
0%	0%	0%	0.15%	0.04%	105	11	-0.82	0.00	0.05	-0.31	1.01	-11.34	-1.94	-6.38
0%	0.63%	1.97%	3.44%	1.54%	135	1	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	-0.08	-0.01	-0.04
2.07%	6.31%	2.72%	3.89%	3.75%	135	3	0.03	-0.02	0.06	0.21	-0.01	-0.72	-0.09	-0.40
5.26%	5.84%	5.75%	4.19%	5.25%	135	5	0.05	-0.04	0.11	0.57	-0.05	-2.01	-0.26	-1.13
1.75%	2.37%	1.82%	1.20%	1.78%	135	7	0.06	-0.08	0.16	1.11	-0.09	-3.96	-0.49	-2.23
0.16%	0.79%	0.76%	0.60%	0.58%	135	9	0.06	-0.14	0.21	1.77	-0.18	-6.65	-0.85	-3.76
0.16%	0.16%	0%	0.45%	0.19%	135	11	0.05	-0.20	0.27	2.56	-0.32	-10.13	-1.35	-5.74
0.48%	3.79%	1.82%	5.38%	2.90%	165	1	0.02	0.00	0.01	0.05	-0.01	-0.04	0.00	-0.02
8.77%	11.83%	7.72%	10.46%	9.69%	165	3	0.10	-0.02	0.06	0.43	-0.06	-0.37	0.04	-0.18
8.45%	5.84%	9.68%	3.59%	6.87%	165	5	0.23	-0.05	0.13	1.19	-0.16	-1.04	0.11	-0.52
1.44%	2.21%	2.12%	1.49%	1.81%	165	7	0.42	-0.11	0.22	2.31	-0.31	-2.05	0.23	-1.02
0.16%	0.79%	1.06%	1.35%	0.85%	165	9	0.64	-0.19	0.32	3.76	-0.53	-3.43	0.36	-1.72
0%	0.32%	0.15%	0.45%	0.23%	165	11	0.89	-0.30	0.44	5.55	-0.81	-5.19	0.52	-2.61
0%	3.79%	1.82%	3.29%	2.24%	195	1	0.02	0.00	0.01	0.06	-0.01	0.01	0.02	0.01
9.25%	7.57%	7.26%	5.83%	7.45%	195	3	0.16	-0.01	0.04	0.53	-0.09	0.07	0.15	0.07
3.83%	2.68%	4.08%	3.89%	3.63%	195	5	0.38	-0.03	0.10	1.45	-0.27	0.16	0.41	0.19
0.64%	1.26%	0.91%	1.20%	1.00%	195	7	0.69	-0.08	0.19	2.78	-0.56	0.28	0.77	0.33
0%	0.32%	0%	0.75%	0.27%	195	9	1.07	-0.15	0.32	4.52	-0.96	0.43	1.25	0.51
0.16%	0.47%	0.15%	0%	0.19%	195	11	1.53	-0.25	0.48	6.64	-1.48	0.58	1.82	0.71
0.32%	3.15%	1.82%	3.74%	2.28%	225	1	0.02	0.00	0.00	0.03	-0.03	0.03	0.00	0.01
6.86%	8.04%	4.54%	5.08%	6.10%	225	3	0.17	0.01	0.00	0.27	-0.30	0.24	-0.01	0.08
4.31%	1.89%	2.42%	2.84%	2.86%	225	5	0.44	0.01	0.03	0.72	-0.85	0.66	-0.03	0.22

0.16%	0.63%	0.76%	1.05%	0.66%	225	7	0.82	0.00	0.09	1.39	-1.68	1.28	-0.06	0.41
0%	0.32%	0.30%	0.60%	0.31%	225	9	1.30	-0.01	0.21	2.26	-2.81	2.07	-0.13	0.65
0%	0%	0%	0.30%	0.08%	225	11	1.89	-0.03	0.39	3.24	-4.31	2.96	-0.32	0.84
0%	1.74%	0.76%	3.14%	1.43%	255	1	0.02	0.00	-0.01	0.02	-0.03	0.06	0.00	0.03
6.86%	6.78%	5.75%	3.44%	5.68%	255	3	0.14	0.02	-0.02	0.12	-0.26	0.54	0.03	0.26
3.83%	0.63%	3.48%	1.20%	2.28%	255	5	0.37	0.04	-0.01	0.32	-0.74	1.49	0.08	0.73
0.32%	0.16%	0.45%	0.75%	0.42%	255	7	0.71	0.07	0.07	0.61	-1.46	2.88	0.14	1.40
0%	0.32%	0.15%	0.15%	0.15%	255	9	1.30	-0.01	0.21	2.26	-2.81	2.07	-0.13	0.65
0%	0.63%	1.36%	2.09%	1.04%	285	1	0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.09	0.02	0.05
7.50%	8.52%	4.99%	4.78%	6.41%	285	3	0.06	0.02	-0.04	0.02	-0.09	0.77	0.14	0.45
14.99%	1.89%	4.08%	0.30%	5.21%	285	5	0.17	0.06	-0.05	0.06	-0.23	2.13	0.39	1.26
0.64%	0%	0.61%	0.15%	0.35%	285	7	0.35	0.11	0.00	0.11	-0.46	4.14	0.76	2.47
0%	0%	0.15%	0.15%	0.08%	285	9	0.59	0.18	0.12	0.16	-0.79	6.77	1.22	4.03
0%	0.16%	0.45%	0.15%	0.19%	315	1	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	0.00	0.07	0.01	0.04
2.55%	3.15%	2.42%	1.35%	2.36%	315	3	-0.03	0.02	-0.05	-0.21	0.02	0.68	0.09	0.41
8.13%	0.79%	4.24%	0%	3.24%	315	5	-0.06	0.07	-0.08	-0.58	0.05	1.89	0.26	1.14
0.48%	0%	0.30%	0.15%	0.23%	315	7	-0.05	0.15	-0.08	-1.12	0.11	3.71	0.52	2.24
0%	0%	0%	0.15%	0.04%	315	13	0.17	0.58	0.23	-4.07	0.23	12.29	1.59	7.44
0%	0.16%	0.15%	0.15%	0.12%	345	5	-0.25	0.07	-0.11	-1.23	0.17	0.98	-0.12	0.53

In generale si osserva un aumento dell'innalzamento o dell'abbassamento del livello idrico lagunare, all'aumentare dell'intensità del vento.

In particolare, i venti da 165°N inducono nel canale di Fibbia un innalzamento che raggiunge, con una intensità del vento di 11m/s, un valore di circa 5cm nel punto 4 in Tabella 24, in corrispondenza della sezione di estrazione delle portate. Nel canale di Nassa, per la stessa condizione di vento si osserva un lieve abbassamento del livello dell'ordine di mm, mentre nel canale di Ansedonia è possibile notare un lieve innalzamento nella zona lato mare e un abbassamento di 5cm con intensità di vento maggiori lato laguna. Per quanto riguarda l'interno della laguna, si evidenzia un lieve innalzamento dell'ordine di mm nella zona di Ponente e un abbassamento che va da 0.02cm a 2.6cm in quella di Levante.

La direzione da 285°N induce solitamente un innalzamento che va da pochi mm a circa 6cm nel canale di Ansedonia lato laguna. Gli unici decrementi dell'ordine di mm risultano nel canale di Nassa lato laguna.

9.3.2. Velocità delle correnti risultanti dalle forzanti di vento

In Tabella 26 sono riportati i valori di velocità negli 8 punti di estrazione selezionati (vedi Tabella 24).

Tabella 26: Valori estratti per la velocità delle correnti indotte dai 60 scenari di vento.

Estate	Autunno	Primavera	Inverno	ANNO	VENTO		VELOCITA' [cm/s]							
					DIR [°N]	V [m/s]	1	2	3	4	5	6	7	8
0%	0.16%	1.21%	4.33%	1.43%	15	1	1.1	0.5	0.6	1.8	0.9	0.6	0.4	0.3
0%	0.16%	0%	1.05%	0.31%	15	3	3.3	1.6	2.1	5.5	2.7	2.1	1.2	1.0
0%	0.16%	0%	0%	0.04%	15	7	7.8	3.7	4.9	12.9	6.3	4.9	2.7	2.4
0%	0%	0.30%	0.30%	0.15%	45	1	0.7	1.0	0.9	1.1	2.0	1.1	0.4	0.4
0%	0%	0.45%	1.05%	0.39%	45	3	2.2	3.0	2.4	3.6	5.9	2.9	1.1	1.3
0%	0%	0.76%	1.35%	0.54%	45	5	3.8	5.1	3.8	6.0	9.8	4.7	1.8	2.2
0%	0%	0.45%	0.15%	0.15%	45	7	5.3	7.1	5.2	8.6	13.7	6.4	2.6	3.1
0%	0%	0.15%	0.30%	0.12%	45	9	6.9	9.1	6.6	11.2	17.5	8.2	3.3	3.9
0%	0%	0.30%	0.45%	0.19%	75	1	0.2	1.0	1.5	0.2	2.0	1.9	0.3	0.5
0%	0%	2.27%	2.24%	1.16%	75	3	0.6	3.0	4.1	0.8	5.9	5.3	0.9	1.4
0.16%	0.32%	0.91%	0.90%	0.58%	75	5	1.0	5.0	6.7	1.6	9.8	8.7	1.5	2.3
0%	0.16%	0.61%	0.30%	0.27%	75	7	1.6	7.0	9.2	2.5	13.6	12.0	2.2	3.3
0%	0%	0.15%	0.15%	0.08%	75	9	2.1	9.1	11.7	3.3	17.5	15.4	2.8	4.2
0%	0.16%	0%	0%	0.04%	75	13	3.6	13.1	16.3	5.8	25.0	22.3	4.0	6.0
0%	0%	0.91%	0.75%	0.42%	105	1	0.5	0.7	1.8	0.9	1.5	2.3	0.2	0.4
0.16%	1.10%	0.76%	1.64%	0.93%	105	3	1.5	2.1	5.2	2.7	4.1	6.6	0.7	1.3
0.16%	1.26%	1.21%	0.90%	0.89%	105	5	2.6	3.5	8.5	4.6	6.8	10.9	1.2	2.2
0%	0.32%	0.45%	0.75%	0.39%	105	7	3.6	4.9	11.7	6.4	9.4	15.2	1.7	3.0
0%	0.32%	0.15%	0.15%	0.15%	105	9	4.6	6.2	14.7	8.1	12.0	19.6	2.2	3.9
0%	0%	0%	0.15%	0.04%	105	11	5.5	7.5	17.6	9.7	14.4	24.1	2.6	4.7
0%	0.63%	1.97%	3.44%	1.54%	135	1	0.9	0.4	1.8	1.5	0.9	2.2	0.3	0.3
2.07%	6.31%	2.72%	3.89%	3.75%	135	3	2.7	1.2	5.1	4.5	2.5	6.5	0.8	1.0
5.26%	5.84%	5.75%	4.19%	5.25%	135	5	4.5	1.9	8.4	7.6	4.1	10.7	1.4	1.7
1.75%	2.37%	1.82%	1.20%	1.78%	135	7	6.5	2.7	11.6	10.7	5.7	15.0	2.0	2.3
0.16%	0.79%	0.76%	0.60%	0.58%	135	9	8.3	3.4	14.7	13.7	7.1	19.3	2.5	2.9
0.16%	0.16%	0%	0.45%	0.19%	135	11	10.2	3.9	17.6	16.7	8.2	23.8	3.0	3.6
0.48%	3.79%	1.82%	5.38%	2.90%	165	1	1.1	0.1	1.4	1.8	0.2	1.8	0.3	0.1
8.77%	11.83%	7.72%	10.46%	9.69%	165	3	3.4	0.2	4.1	5.6	0.3	5.2	1.0	0.3

8.45%	5.84%	9.68%	3.59%	6.87%	165	5	5.8	0.4	6.8	9.4	0.2	8.5	1.7	0.5
1.44%	2.21%	2.12%	1.49%	1.81%	165	7	8.2	0.6	9.3	13.2	0.2	11.9	2.4	0.7
0.16%	0.79%	1.06%	1.35%	0.85%	165	9	10.7	1.0	11.9	17.1	0.5	15.3	3.1	0.8
0%	0.32%	0.15%	0.45%	0.23%	165	11	13.2	1.4	14.3	20.9	0.8	18.7	3.7	1.0
0%	3.79%	1.82%	3.29%	2.24%	195	1	1.1	0.4	0.5	1.9	0.9	0.7	0.4	0.3
9.25%	7.57%	7.26%	5.83%	7.45%	195	3	3.5	1.4	1.6	5.7	2.8	2.0	1.1	1.0
3.83%	2.68%	4.08%	3.89%	3.63%	195	5	6.0	2.4	2.7	9.6	4.7	3.4	1.8	1.7
0.64%	1.26%	0.91%	1.20%	1.00%	195	7	8.5	3.4	3.9	13.5	6.8	5.0	2.6	2.3
0%	0.32%	0%	0.75%	0.27%	195	9	11.0	4.4	5.2	17.4	8.8	6.5	3.3	3.0
0.16%	0.47%	0.15%	0%	0.19%	195	11	13.6	5.4	6.4	21.3	10.8	8.1	4.0	3.6
0.32%	3.15%	1.82%	3.74%	2.28%	225	1	0.7	0.9	1.0	1.2	2.0	1.1	0.3	0.4
6.86%	8.04%	4.54%	5.08%	6.10%	225	3	2.3	2.7	3.0	3.7	6.1	3.1	1.0	1.2
4.31%	1.89%	2.42%	2.84%	2.86%	225	5	3.9	4.6	4.7	6.3	10.2	5.0	1.7	2.0
0.16%	0.63%	0.76%	1.05%	0.66%	225	7	5.6	6.4	6.5	8.9	14.2	6.8	2.4	2.8
0%	0.32%	0.30%	0.60%	0.31%	225	9	7.2	8.1	8.1	11.5	18.3	8.4	3.1	3.6
0%	0%	0%	0.30%	0.08%	225	11	1.9	9.9	9.4	13.9	22.6	9.8	3.8	4.4
0%	1.74%	0.76%	3.14%	1.43%	255	1	0.2	0.9	1.8	0.2	2.0	1.9	0.3	0.4
6.86%	6.78%	5.75%	3.44%	5.68%	255	3	1.0	2.7	5.2	0.9	6.0	5.5	0.8	1.3
3.83%	0.63%	3.48%	1.20%	2.28%	255	5	1.8	4.5	8.5	1.6	10.1	9.0	1.4	2.1
0.32%	0.16%	0.45%	0.75%	0.42%	255	7	2.5	6.4	11.8	2.3	14.2	12.4	2.0	2.9
0%	0.32%	0.15%	0.15%	0.15%	255	9	7.2	8.1	8.1	11.5	18.3	8.4	3.1	3.6
0%	0.63%	1.36%	2.09%	1.04%	285	1	0.5	0.7	2.2	0.9	1.5	2.4	0.2	0.4
7.50%	8.52%	4.99%	4.78%	6.41%	285	3	1.4	2.1	6.4	2.6	4.3	6.9	0.6	1.1
14.99%	1.89%	4.08%	0.30%	5.21%	285	5	2.2	3.4	10.6	4.2	7.1	11.3	1.0	1.9
0.64%	0%	0.61%	0.15%	0.35%	285	7	3.2	4.8	14.9	6.0	9.9	15.6	1.5	2.6
0%	0%	0.15%	0.15%	0.08%	285	9	4.1	6.2	19.2	7.8	12.8	19.8	1.9	3.4
0%	0.16%	0.45%	0.15%	0.19%	315	1	0.8	0.5	2.2	1.4	1.0	2.3	0.3	0.3
2.55%	3.15%	2.42%	1.35%	2.36%	315	3	2.5	1.4	6.3	4.3	2.6	6.8	0.8	0.8
8.13%	0.79%	4.24%	0%	3.24%	315	5	4.2	2.4	10.4	7.2	4.3	11.1	1.4	1.3
0.48%	0%	0.30%	0.15%	0.23%	315	7	6.0	3.3	14.6	10.1	6.1	15.4	1.9	1.9
0%	0%	0%	0.15%	0.04%	315	13	11.2	6.5	27.7	19.6	12.3	27.6	3.6	3.5
0%	0.16%	0.15%	0.15%	0.12%	345	5	5.4	0.4	8.3	8.9	0.6	8.8	1.8	0.7

Dall'analisi del campo di correnti si osserva un incremento delle velocità nei canali rispetto ai valori estratti nelle zone lato mare (punto 4 rispetto punto 1, punto 5 rispetto punto 2 e punto 6 rispetto punto 3). Tale incremento è di circa il 50% per Fibbia e Nassa (ad eccezione dei venti da 165°N con intensità tra 5 e 11m/s, dove comunque le velocità sono inferiori a 0.008m/s), e di circa l'80% per il canale di Ansedonia per venti da 165°N e il 95% per venti da 285°N. All'interno della laguna le velocità scendono nettamente. Nella laguna di Ponente valori di velocità variano da 0.002m/s a 0.037m/s (massimo valore con un vento di 11m/s da 165°N), riducendosi dell'80% rispetto a quelli in uscita dal canale di Fibbia. Nella laguna di Levante da 0.001m/s a 0.034m/s (valore massimo con vento di 9m/s da 285°N), riducendosi dell'95% per la direzione da 165°N e di circa l'80% per la direzione da 285°N rispetto ai valori in uscita dal canale di Ansedonia.

9.3.3. Portate indotte dalle forzanti di vento

In Tabella 27 sono riportati i valori di portata estratti dalle simulazioni con forzante di vento.

Tabella 27: Valori estratti per le portate indotte dai 60 scenari di vento.

Estate	Autunno	Primavera	Inverno	ANNO	VENTO		PORTATA [m ³ /s]			TEST STAZIONARITA' [gg]
					DIR [°N]	V [m/s]	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA	
0%	0.16%	1.21%	4.33%	1.43%	15	1	-0.20	0.48	-0.29	1
0%	0.16%	0%	1.05%	0.31%	15	3	-0.63	1.48	-0.85	2
0%	0.16%	0%	0%	0.04%	15	7	-1.50	3.46	-1.96	3
0%	0%	0.30%	0.30%	0.15%	45	1	0.33	0.30	-0.63	2
0%	0%	0.45%	1.05%	0.39%	45	3	0.89	0.96	-1.85	3
0%	0%	0.76%	1.35%	0.54%	45	5	1.44	1.64	-3.08	3
0%	0%	0.45%	0.15%	0.15%	45	7	2.00	2.30	-4.30	3
0%	0%	0.15%	0.30%	0.12%	45	9	2.50	3.00	-5.50	4
0%	0%	0.30%	0.45%	0.19%	75	1	0.58	0.04	-0.61	3
0%	0%	2.27%	2.24%	1.16%	75	3	1.63	0.22	-1.84	3
0.16%	0.32%	0.91%	0.90%	0.58%	75	5	2.64	0.43	-3.07	3
0%	0.16%	0.61%	0.30%	0.27%	75	7	3.63	0.67	-4.30	3
0%	0%	0.15%	0.15%	0.08%	75	9	4.60	0.92	-5.52	4
0%	0.16%	0%	0%	0.04%	75	13	6.45	1.55	-8.00	6
0%	0%	0.91%	0.75%	0.42%	105	1	0.70	-0.25	-0.45	1
0.16%	1.10%	0.76%	1.64%	0.93%	105	3	2.02	-0.72	-1.30	2

0.16%	1.26%	1.21%	0.90%	0.89%	105	5	3.31	-1.20	-2.11	3
0%	0.32%	0.45%	0.75%	0.39%	105	7	4.60	-1.65	-2.95	4
0%	0.32%	0.15%	0.15%	0.15%	105	9	5.75	-2.05	-3.70	5
0%	0%	0%	0.15%	0.04%	105	11	6.90	-2.45	-4.45	6
0%	0.63%	1.97%	3.44%	1.54%	135	1	0.68	-0.38	-0.29	1
2.07%	6.31%	2.72%	3.89%	3.75%	135	3	1.98	-1.18	-0.80	2
5.26%	5.84%	5.75%	4.19%	5.25%	135	5	3.27	-1.99	-1.28	3
1.75%	2.37%	1.82%	1.20%	1.78%	135	7	4.50	-2.75	-1.75	3
0.16%	0.79%	0.76%	0.60%	0.58%	135	9	5.70	-3.55	-2.15	4
0.16%	0.16%	0%	0.45%	0.19%	135	11	6.90	-4.35	-2.55	5
0.48%	3.79%	1.82%	5.38%	2.90%	165	1	0.55	-0.48	-0.07	2
8.77%	11.83%	7.72%	10.46%	9.69%	165	3	1.58	-1.47	-0.12	2
8.45%	5.84%	9.68%	3.59%	6.87%	165	5	2.62	-2.50	-0.12	2
1.44%	2.21%	2.12%	1.49%	1.81%	165	7	3.61	-3.51	-0.10	2
0.16%	0.79%	1.06%	1.35%	0.85%	165	9	4.60	-4.56	-0.04	3
0%	0.32%	0.15%	0.45%	0.23%	165	11	5.57	-5.65	0.08	3
0%	3.79%	1.82%	3.29%	2.24%	195	1	0.21	-0.49	0.28	2
9.25%	7.57%	7.26%	5.83%	7.45%	195	3	0.64	-1.50	0.86	3
3.83%	2.68%	4.08%	3.89%	3.63%	195	5	1.08	-2.54	1.47	3
0.64%	1.26%	0.91%	1.20%	1.00%	195	7	1.54	-3.59	2.05	3
0%	0.32%	0%	0.75%	0.27%	195	9	2.03	-4.69	2.66	4
0.16%	0.47%	0.15%	0%	0.19%	195	11	2.50	-5.81	3.31	5
0.32%	3.15%	1.82%	3.74%	2.28%	225	1	-0.33	-0.30	0.63	2
6.86%	8.04%	4.54%	5.08%	6.10%	225	3	-0.92	-0.97	1.88	4
4.31%	1.89%	2.42%	2.84%	2.86%	225	5	-1.47	-1.65	3.12	3
0.16%	0.63%	0.76%	1.05%	0.66%	225	7	-2.00	-2.35	4.35	4
0%	0.32%	0.30%	0.60%	0.31%	225	9	-2.51	-3.05	5.56	5
0%	0%	0%	0.30%	0.08%	225	11	-2.96	-3.77	6.73	3
0%	1.74%	0.76%	3.14%	1.43%	255	1	-0.57	-0.05	0.62	2
6.86%	6.78%	5.75%	3.44%	5.68%	255	3	-1.63	-0.24	1.87	3
3.83%	0.63%	3.48%	1.20%	2.28%	255	5	-2.68	-0.44	3.11	4
0.32%	0.16%	0.45%	0.75%	0.42%	255	7	-3.70	-0.62	4.33	2
0%	0.32%	0.15%	0.15%	0.15%	255	9	-4.75	-0.81	5.56	6
0%	0.63%	1.36%	2.09%	1.04%	285	1	-0.70	0.24	0.46	2
7.50%	8.52%	4.99%	4.78%	6.41%	285	3	-2.03	0.70	1.33	3

14.99%	1.89%	4.08%	0.30%	5.21%	285	5	-3.36	1.16	2.20	4
0.64%	0%	0.61%	0.15%	0.35%	285	7	-4.70	1.63	3.07	5
0%	0%	0.15%	0.15%	0.08%	285	9	-6.08	2.12	3.96	6
0%	0.16%	0.45%	0.15%	0.19%	315	1	-0.68	0.38	0.30	2
2.55%	3.15%	2.42%	1.35%	2.36%	315	3	-1.99	1.16	0.83	3
8.13%	0.79%	4.24%	0%	3.24%	315	5	-3.30	1.94	1.36	4
0.48%	0%	0.30%	0.15%	0.23%	315	7	-4.63	2.73	1.90	5
0%	0%	0%	0.15%	0.04%	315	13	-8.85	5.10	3.75	6
0%	0.16%	0.15%	0.15%	0.12%	345	5	-2.61	2.42	0.19	4

Gli eventi provenienti da 165°N raggiungono la stazionarietà in 2-3 giorni a seconda dell'intensità del vento. Tale stazionarietà è invece raggiunta in 6 giorni in caso di venti con direzione da 285°N, che arrivano fino a intensità di 9m/s.

Con i venti da 165°N la portata è entrante (segno +) dal canale di Ansedonia e uscente (segno -) dai canali di Fibbia e in minima parte da Nassa, con valori inferiori a 0.1 m³/s. Solo nel caso di venti di intensità pari a 11m/s il valore della portata sulla sezione di Nassa risulta leggermente positivo, con valori di 0.08m³/s. Con venti da 285°N invece le portate sono entranti dai canali di Fibbia e Nassa, quest'ultimo con una portata circa doppia rispetto al primo, e uscenti da Ansedonia.

Per ciascuno scenario di vento, sono stati inoltre analizzati i valori della portata cumulata e i relativi innalzamenti/abbassamenti medi dei livelli, stimati come portata cumulata diviso l'area della laguna pari a circa 27km² (Tabella 28).

Tabella 28: Valori della portata cumulata e livelli stimati per i 60 scenari di vento.

DIR [°N]	V[m/s]	VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m ³]	LIVELLO [cm]
15	1	-3731	-0.01
15	3	-35408	-0.13
15	7	-198764	-0.74
45	1	-492	0.00
45	3	-15565	-0.06
45	5	-50024	-0.19

45	7	-102546	-0.38
45	9	-180476	-0.67
75	1	-2.81E+03	-0.01
75	3	-34207	-0.13
75	5	-103405	-0.38
75	7	-212639	-0.79
75	9	-361330	-1.34
75	13	-822803	-3.05
105	1	-5580	-0.02
105	3	-63742	-0.24
105	5	-190452	-0.71
105	7	-390635	-1.45
105	9	-672870	-2.49
105	11	-1.05E+06	-3.87
135	1	-3873	-0.01
135	3	-46230	-0.17
135	5	-142936	-0.53
135	7	-292597	-1.08
135	9	-510860	-1.89
135	11	-802150	-2.97
165	1	48	0.00
165	3	-2836	-0.01
165	5	-13118	-0.05
165	7	-31384	-0.12
165	9	-65456	-0.24
165	11	-113944	-0.42
195	1	3653.5	0.01
195	3	35760	0.13
195	5	100012	0.37
195	7	191495	0.71
195	9	312019	1.16
195	11	454410	1.68
225	1	455	0.00
225	3	15205	0.06
225	5	46564	0.17

225	7	93132	0.34
225	9	150350	0.56
225	11	192401	0.71
255	1	2786.13	0.01
255	3	34563.7	0.13
255	5	104283	0.39
255	7	209148	0.77
255	9	350051	1.30
285	1	5553	0.02
285	3	64325	0.24
285	5	193463	0.72
285	7	3.89E+05	1.44
285	9	647940	2.40
315	1	3933	0.01
315	3	47621	0.18
315	5	145412	0.54
315	7	-109354	-0.41
315	13	739970	2.74
345	5	15206.5	0.06

I valori di innalzamento/abbassamento sono stati ottenuti ipotizzando un vento costante per tutta la durata della simulazione.

In Tabella 28 si osserva che i venti da 165°N generano sempre un lievissimo abbassamento del livello idrico dell'ordine di mm, mentre i venti da 285°N inducono degli innalzamenti che raggiungono circa 2cm con l'intensità di 9m/s.

9.3.4. Livelli idrici e velocità delle correnti risultanti dalla forzante di marea

La simulazione con la forzante di marea semidiurna lunare ha avuto una durata complessiva di 8 giorni, di cui i primi 5gg utilizzati per dare una partenza graduale al modello dal valore nullo ai valori di livello imposti alla condizione al contorno nord e sud.

L'importanza di tale passaggio graduale si osserva a titolo di esempio nell'andamento dei livelli estratti per il canale di Fibbia (confronto fra il punto 1 lato mare, e il punto 4 lato

laguna) in Figura 60, dove è possibile evidenziare un incremento graduale del livello nei primi 5gg giorni fino a raggiungere un valore stazionario negli ultimi 3gg.

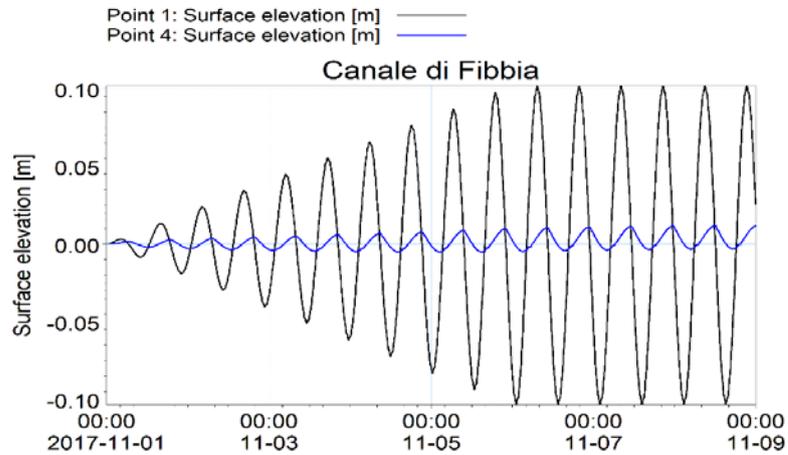


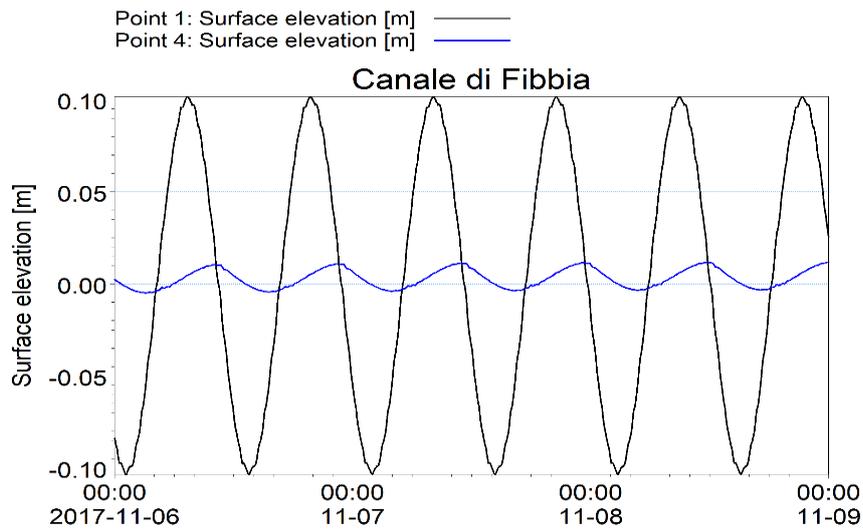
Figura 59- Andamento dei punti 1 e 4 del Canale di Fibbia nei punti livelli in tutta la simulazione.

L'andamento dei valori di livello e velocità sono stati estratti negli stessi punti di Tabella 24. In Tabella 29 si riportano i valori massimi estratti negli 8 punti sia di livello che di velocità.

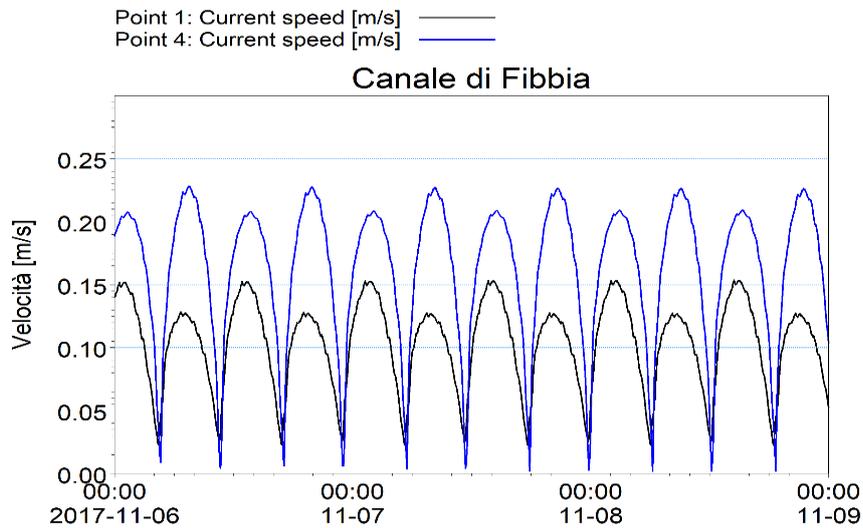
Tabella 29: Valori massimi estratti per livelli e velocità.

		1	2	3	4	5	6	7	8
	LIVELLI MAX [m]	0.102	0.101	0.100	0.012	0.021	0.012	0.012	0.012
	VELOCITA' MAX [m/s]	0.154	0.148	0.218	0.228	0.335	0.231	0.001	0.001

Dai risultati in Tabella 29 e in Figura 61 si può osservare che tra lato mare (punto 1) e lato laguna (punto 4) del canale di Fibbia si ha una riduzione del 90% dei livelli e un incremento variabile fra il 25-50% delle velocità.



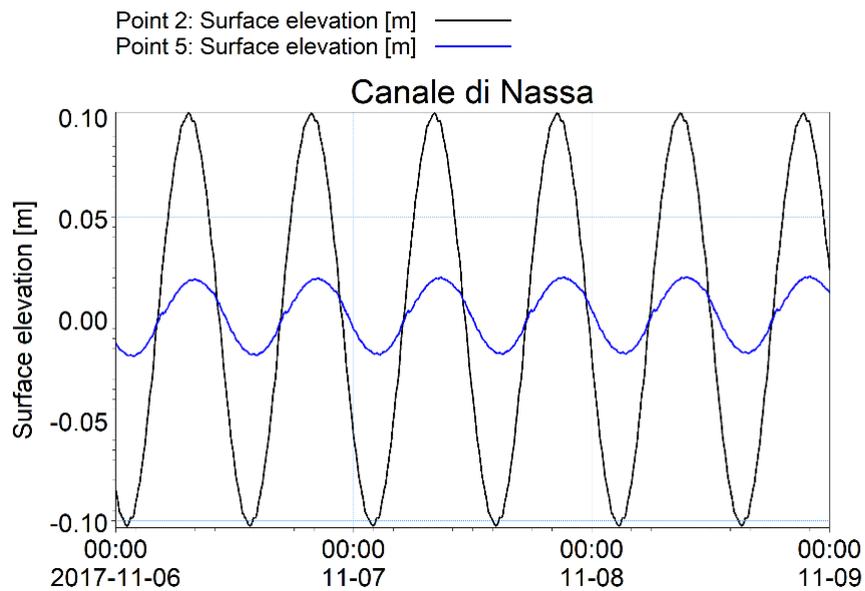
a)



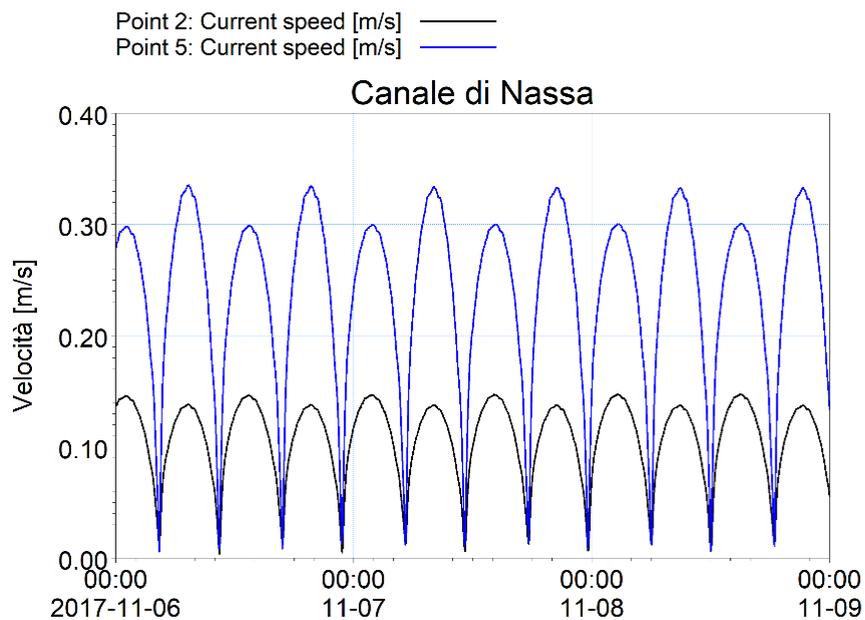
b)

Figura 60- Canale di Fibbia nei punti 1 e 4: a) estrazione livelli, b) estrazione velocità.

Nel canale di Nassa si ha una riduzione dell'80% dei livelli e un incremento di circa il 50% (vedi Tabella 29 e Figura 62) passando da lato mare (punto 2) a lato laguna (punto 5).



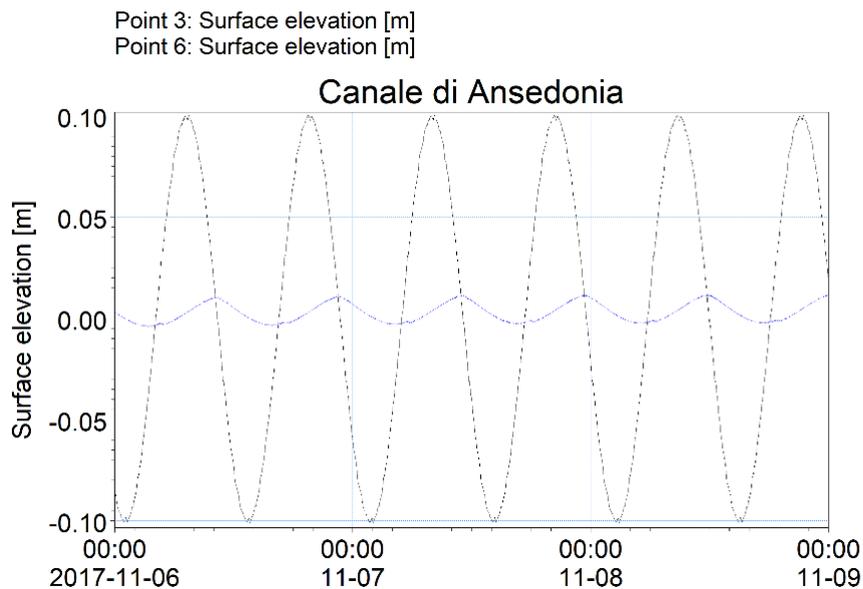
a)



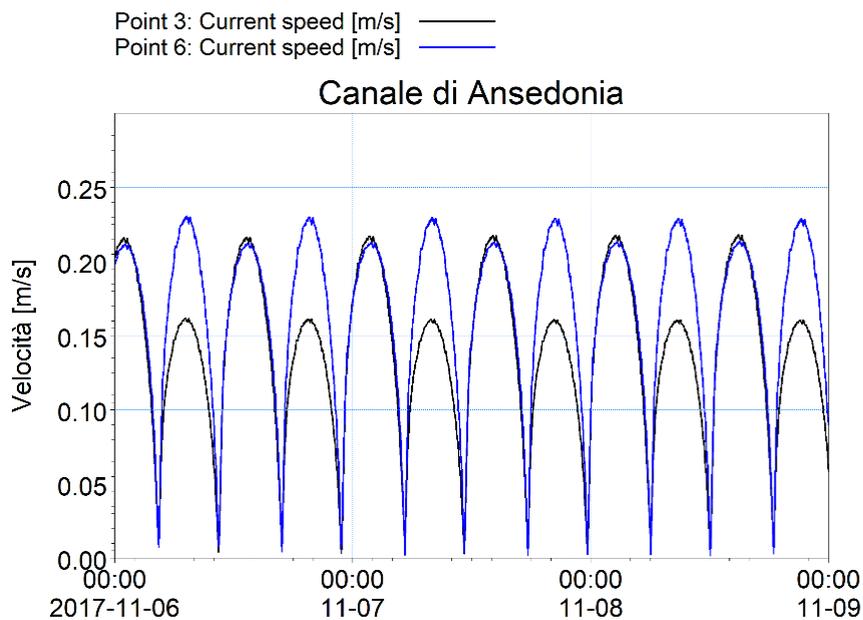
b)

Figura 61- Canale di Nassa nei punti 2 e 5: a) estrazione livelli, b) estrazione velocità

Dall'analisi dei risultati riportati in Tabella 29 e Figura 63 si evidenzia anche nel passaggio fra lato mare (punto 3) del canale di Ansedonia e quello lato laguna (punto 6) un abbattimento dei livelli di circa l'80% e un aumento della velocità variabile tra circa il 10% e il 30%.



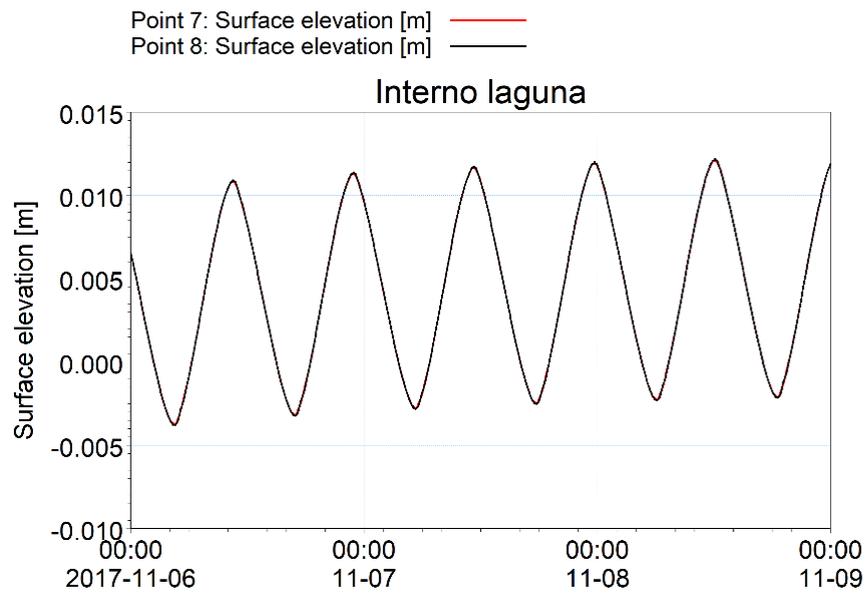
a)



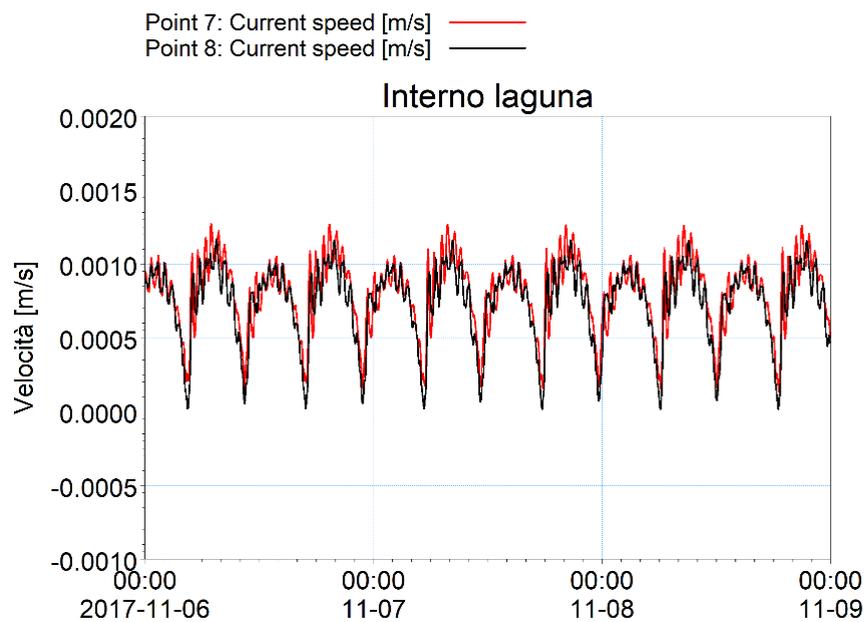
b)

Figura 62- Canale di Ansedonia nei punti 3 e 6: a) estrazione livelli, b) estrazione velocità

Entrambi i punti estratti all'interno della laguna (Tabella 29 e Figura 64) presentano all'incirca lo stesso andamento: il livello massimo raggiunto è di 1.2cm e la velocità massima di 0.1cm/s. Tali valori sono circa 10 volte inferiori rispetto ai valori in ingresso ai canali per quanto riguarda i livelli, e di circa 150-200 volte inferiori per quanto riguarda le velocità.



a)



b)

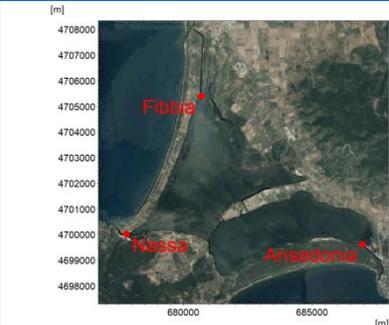
Figura 63- Interno laguna nei punti 7 e 8: a) estrazione livelli, b) estrazione velocità.

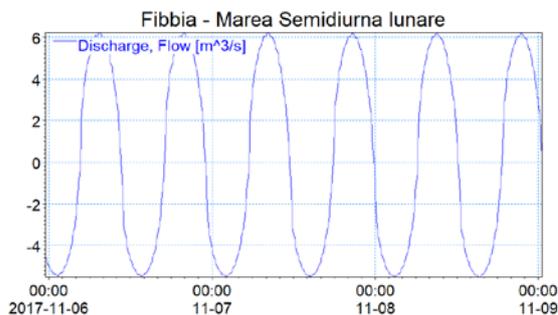
9.3.5. Portate risultanti dalla forzante marea

Anche per la forzante di marea sono stati estratti i valori di portata nei canali di Ansedonia, Fibbia e Nassa evidenziati in Figura 59.

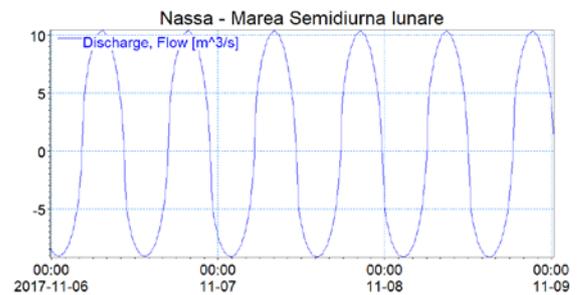
In Figura 65 (a, b, c) si riporta l'andamento delle portate per i tre canali e in Figura 65(d) l'andamento della somma delle portate dei canali stessi. I valori massimi raggiunti (Tabella 30) sono pari a $7\text{ m}^3/\text{s}$ per Ansedonia, $6.2\text{ m}^3/\text{s}$ per Fibbia, $10.4\text{ m}^3/\text{s}$ per Nassa. Invece analizzando la portata cumulata delle singole portate dei canali si può stimare un massimo innalzamento del livello lagunare di circa 1cm e un massimo abbassamento di circa 0.4cm. Tali valori sono stati ricavati dividendo il valore massimo e minimo ottenuto in 8 giorni di simulazione divisi l'area della laguna (26 km^2).

Tabella 30: Valori massimi estratti per le portate.

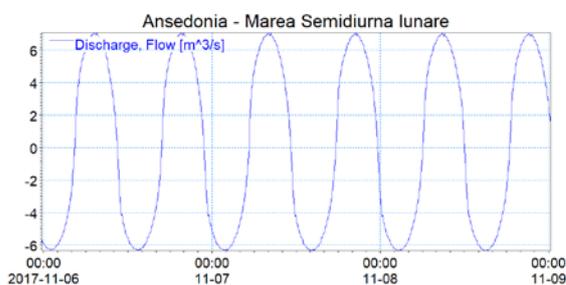
		ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
	PORTATA MAX [m³/s]	7.07	6.24	10.43



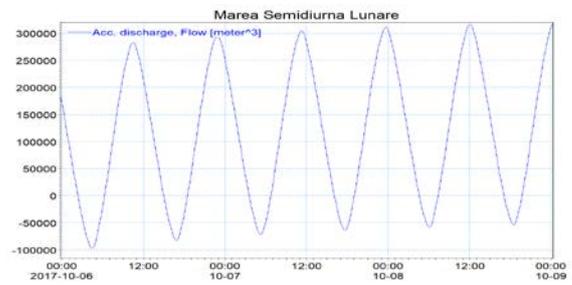
a)



b)



c)



d)

Figura 64- Andamento delle portate [m^3/s] nelle sezioni: a) Fibbia, b) Nassa, c) Ansedonia e d) andamento della somma dei valori delle portate nei tre canali [m^3]

10. Ricostruzione della circolazione lagunare durante un anno tipo

Al fine di fornire un bilancio annuale degli scambi con il mare, dovuti alla sola condizione di circolazione naturale indotta nella laguna da venti, maree e dalle portate del fiume Albegna, è stato scelto di riprodurre in modello un anno “tipo”. A tale scopo, considerati i dati di vento forniti dal Settore Idrologico Regionale (SIR) del Centro Funzionale della Regione Toscana e i dati di livello ricavati dalla Rete Mareografica Nazionale, l’anno tipo selezionato per questo studio è il 2016.

10.1. Dominio di calcolo per la simulazione di un anno di eventi

Per la riproduzione del campo di correnti e degli scambi con il mare durante un intero anno di eventi (venti, maree e portate del fiume Albegna), è stato scelto di utilizzare un dominio di calcolo che, come quello sviluppato per la sola forzante di marea, si estende da Marina di Campo a Civitavecchia, per un’area di circa 700 km²). Tuttavia, con lo scopo di fornire un modello in grado di simulare l’effetto indotto da eventi di durata annuale in tempi relativamente brevi, è stato scelto di modificare il grado di risoluzione della mesh utilizzata in precedenza e garantire una riduzione dei tempi di calcolo di circa 10 volte. La nuova mesh di calcolo è stata quindi sviluppata, lasciando invariata la risoluzione delle zone di mare aperto (dai 10m di profondità), e riducendo in modo graduale la risoluzione delle aree interne alla laguna (Figura 66).

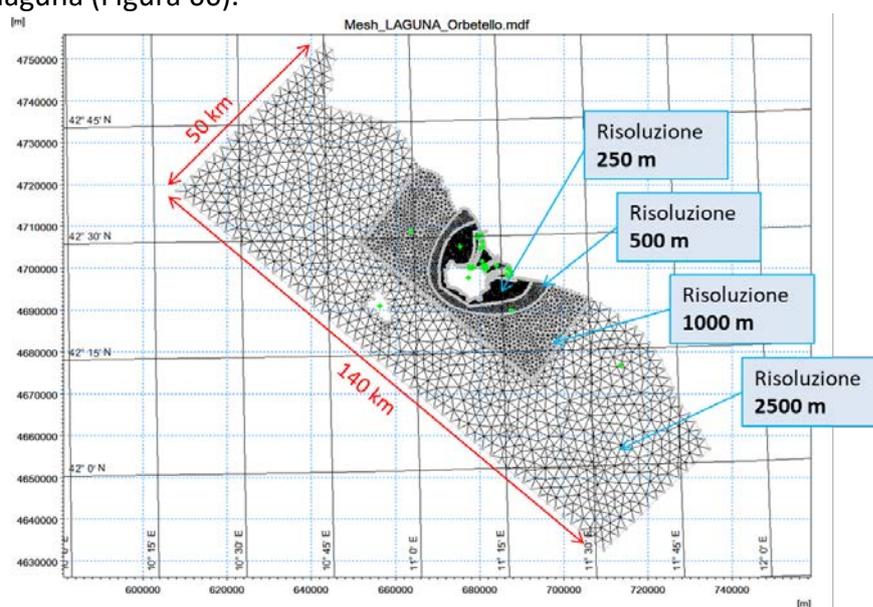


Figura 65- Differenti risoluzioni del dominio di calcolo sviluppato per le simulazioni di un anno tipo.

Tali modifiche hanno permesso così di ottenere una mesh composta da 42270 triangoli e 23146 nodi, riducendo di circa il 77% il dominio per la sola forzante di marea (Figura 54).

La metodologia utilizzata per strutturare la differente risoluzione in tutte le aree della laguna, è riportata dettagliatamente in Tabella 31, mentre in Figura 67 è riportato il particolare della struttura della mesh sviluppata per le aree esterne alla laguna e per i tre canali di Ansedonia, Fibbia e Nassa.

Tabella 31: Caratteristiche della risoluzione utilizzata per i due domini di calcolo

Zone della mesh di calcolo	Risoluzione [m]
Canali naturali di dimensioni contenute (tra 5-50m)	2-5
Canali artificiali (canale navigabile Nassa-Orbetello)	250
Zona intorno al ponte diga	100-50-25
Passaggio tra le varie risoluzioni per interno laguna	12-50-100
Passaggio tra le varie risoluzioni tra canali-mare aperto	25
Interno Laguna	250
Mare aperto su profondità inferiori a 10m	100
Mare aperto	250-1000

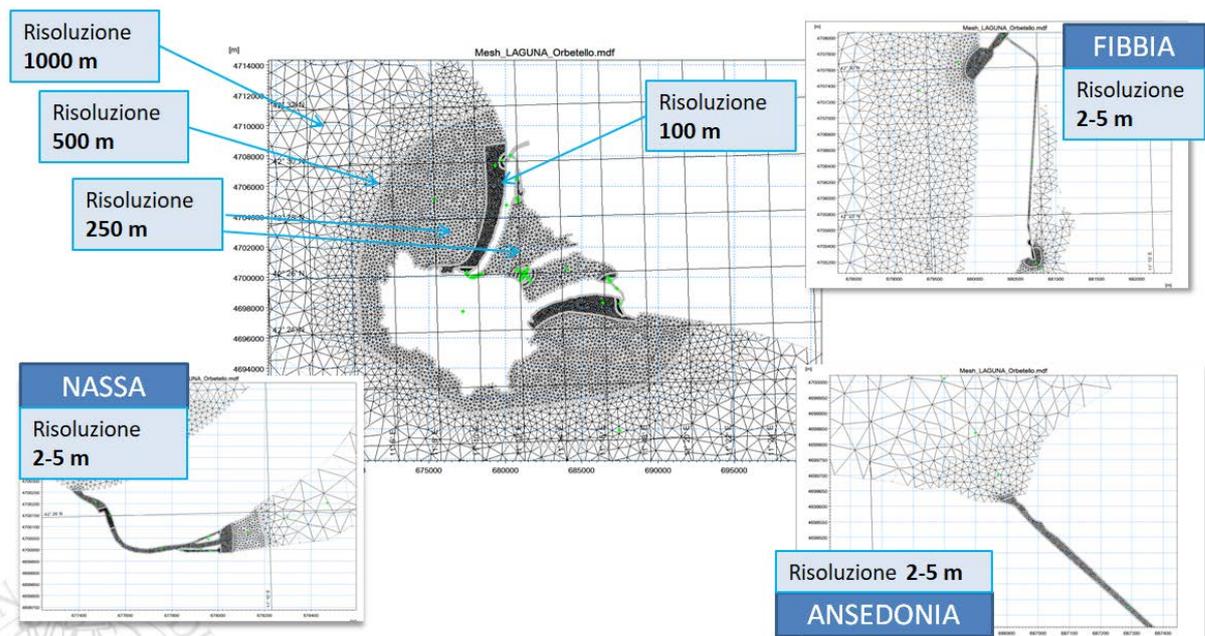


Figura 66- Particolare delle differenti risoluzioni utilizzate per le aree prospicienti la laguna e per i canali.

La batimetria risultante nel dominio di calcolo per la simulazione degli scambi tra laguna e mare durante un intero anno di eventi è riportata in Figura 68.

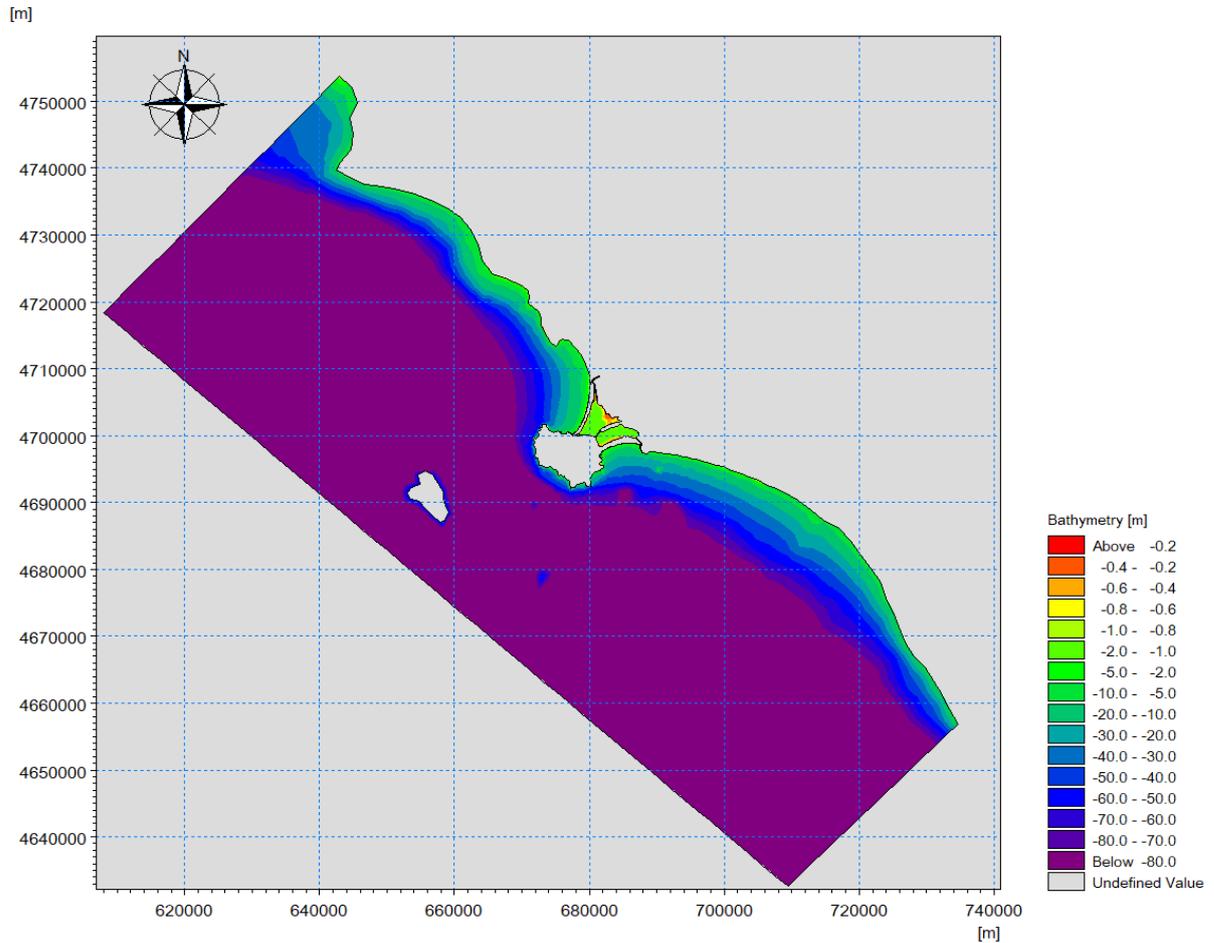


Figura 67- Batimetria del dominio di calcolo per le simulazioni di un anno di eventi.

10.2. Metodologia e discussione dei risultati delle simulazioni del campo idrodinamico annuale

Nelle simulazioni degli scambi annuali con le forzanti di marea e vento misurate per l'anno 2016 e le portate del fiume Albegna stimate per ciascuna stagione, sono stati analizzati i valori di portata nelle sezioni dei canali di Nassa, Fibbia e Ansedonia aventi la medesima localizzazione utilizzata per l'estrazione dei risultati dei modelli con sola forzante di vento (Figura 58 e Tabella 23). Come per i precedenti modelli, le sezioni sono localizzate nella parti terminali dei canali (lato laguna) ed è stata assunta una convenzione dei segni positiva (+) in caso di portate entranti in laguna e negativa (-) nel caso di portate uscenti verso il mare (Figura 63).

Come condizioni al contorno sono stati inserite le registrazioni dei mareografi di Marina di Campo e di Civitavecchia per l'anno 2016.

In particolare, al contorno nord sono stati inseriti i livelli acquisiti a Marina di Campo (Figura 52a) e nella condizione al contorno sud l'andamento dei livelli misurati a Civitavecchia (Figura 52b). Sulla condizione al contorno esterna il valore dei livelli è stato impostato in modo tale che vari linearmente al variare dei valori delle due stazioni.

Per la forzante di vento sono stati inseriti i valori di velocità e direzione del vento misurati per l'anno 2016 dalla stazione di Orbetello (Figura 48). Mentre, per la portata del fiume Albegna sono stati utilizzati i valori di portata media stimati per ciascuna stagione (vedi Tabella 21).

Il valore di scabrezza al fondo usato in mancanza di altre informazioni è pari a $30\text{m}^{1/3}/\text{s}$ e l'eddy viscosity è stata impostata con un coefficiente di Smagorinsky pari a $0.28\text{m}^2/\text{s}$.

La simulazione è stata eseguita a partire dai dati misurati dai mareografi di Civitavecchia e Marina di Campo, nel mese di Dicembre 2015, affinché raggiunga gradualmente durante i primi 20 giorni i livelli imposti alle condizioni al contorno di marea, vento e portate del fiume Albegna. Alla fine della simulazione di Dicembre 2015 è stata estratta una condizione di "hot start" relativa al primo giorno di Gennaio 2016 alle ore 00:00. La condizione di hot start è stata poi utilizzata come condizione iniziale per la simulazione del mese successivo.

La simulazione dell'anno 2016 quindi è stata eseguita riproducendo ciascun mese a partire dalla condizione iniziale di hot start raggiunta dalla simulazione del mese precedente, (es.: Marzo 2016 è stato simulato a partire dalla condizione di hot start ottenuta il 01/03/2016 alle ore 00:00 dalla simulazione di Febbraio 2016).

I risultati ottenuti per l'intero anno 2016 sono stati poi analizzati accorpando i mesi simulati nelle 4 stagioni principali, come segue:

- **INVERNO:** dal 01/01/2016 ore 00:00 al 31/03/2016 ore 23:50;
- **PRIMAVERA:** dal 01/04/2016 ore 00:00 al 30/06/2016 ore 23:50;
- **ESTATE:** dal 01/07/2016 ore 00:00 al 30/09/2016 ore 23:50;
- **AUTUNNO:** dal 01/10/2016 ore 00:00 al 31/12/2016 ore 23:50.

10.2.1. Portate scambiate con il mare durante un anno

Per ciascuna stagione riprodotta in modello, sono stati analizzati sia i valori della portata istantanea che della portata cumulata indicativa dei volumi in ingresso (segno +) ed in uscita (segno -) dalla laguna.

Nelle figure seguenti sono ad esempio riportati i risultati che si riferiscono alle portate istantanee e i volumi scambiati per ciascuna stagione del 2016 in corrispondenza del canale di Nassa.

Tutti i risultati ottenuti per le portate istantanee e le portate cumulate nei tre canali di Nassa Fibbia e Ansedonia durante ciascuna stagione dell'anno 2016 sono riportati nell'Allegato B.

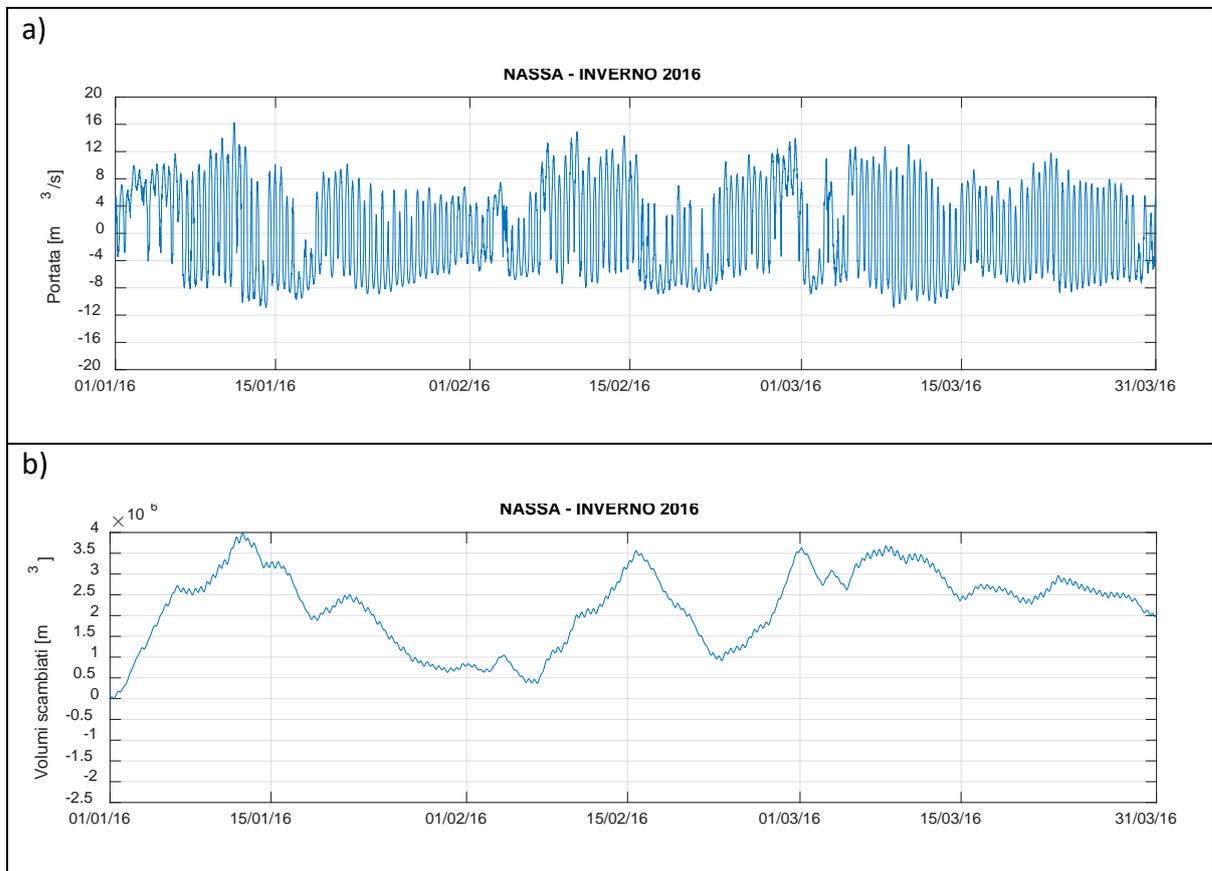


Figura 68- a) Valori di portata istantanei e b) Valori di portata cumulata estratti a Nassa in Inverno.

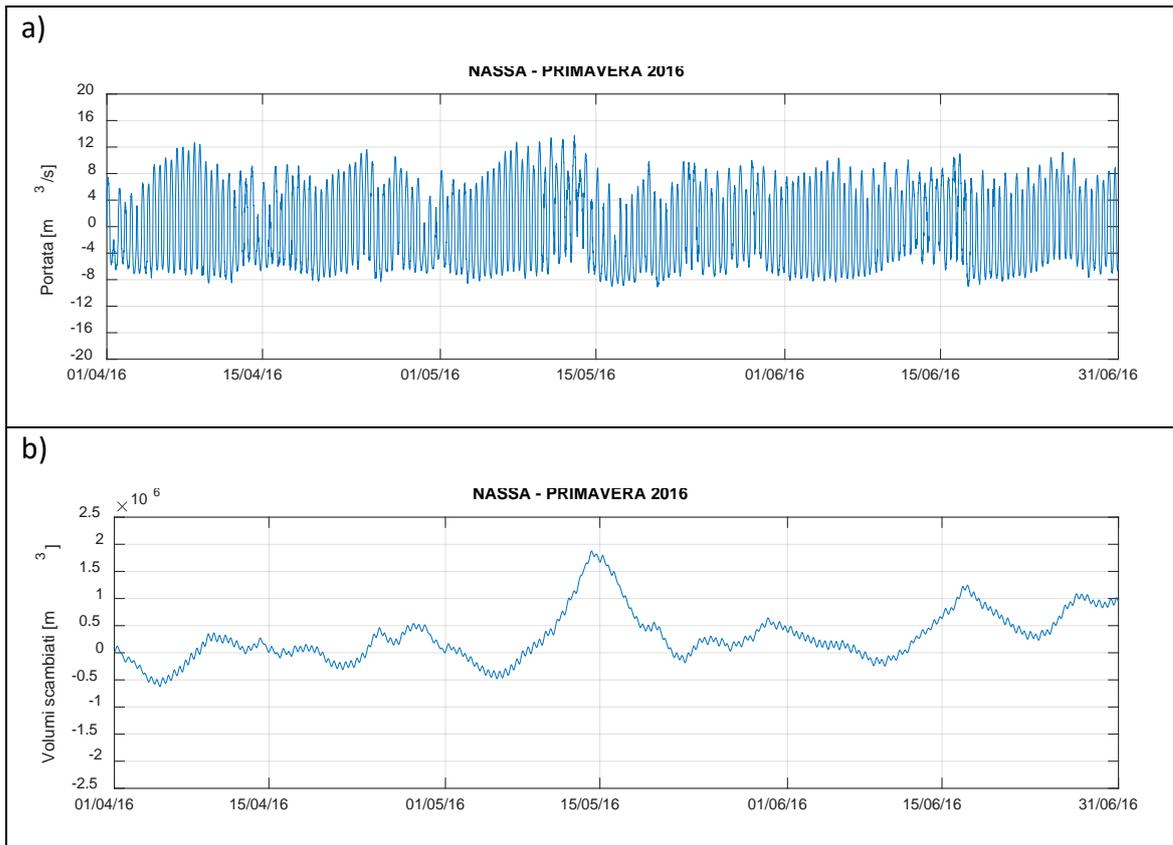


Figura 69- a) Valori di portata istantanei e b) Valori di portata cumulata estratti a Nassa in Primavera.

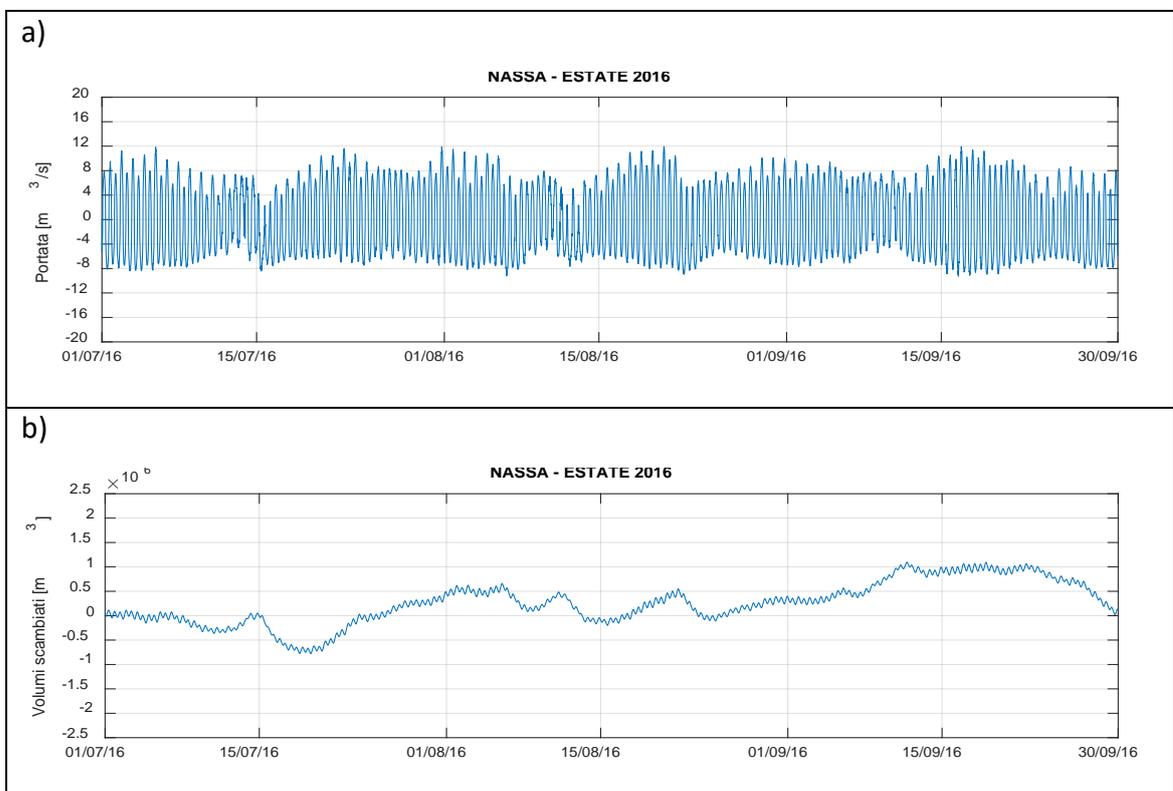


Figura 70- a) Valori di portata istantanei e b) Valori di portata cumulata estratti a Nassa in Estate.

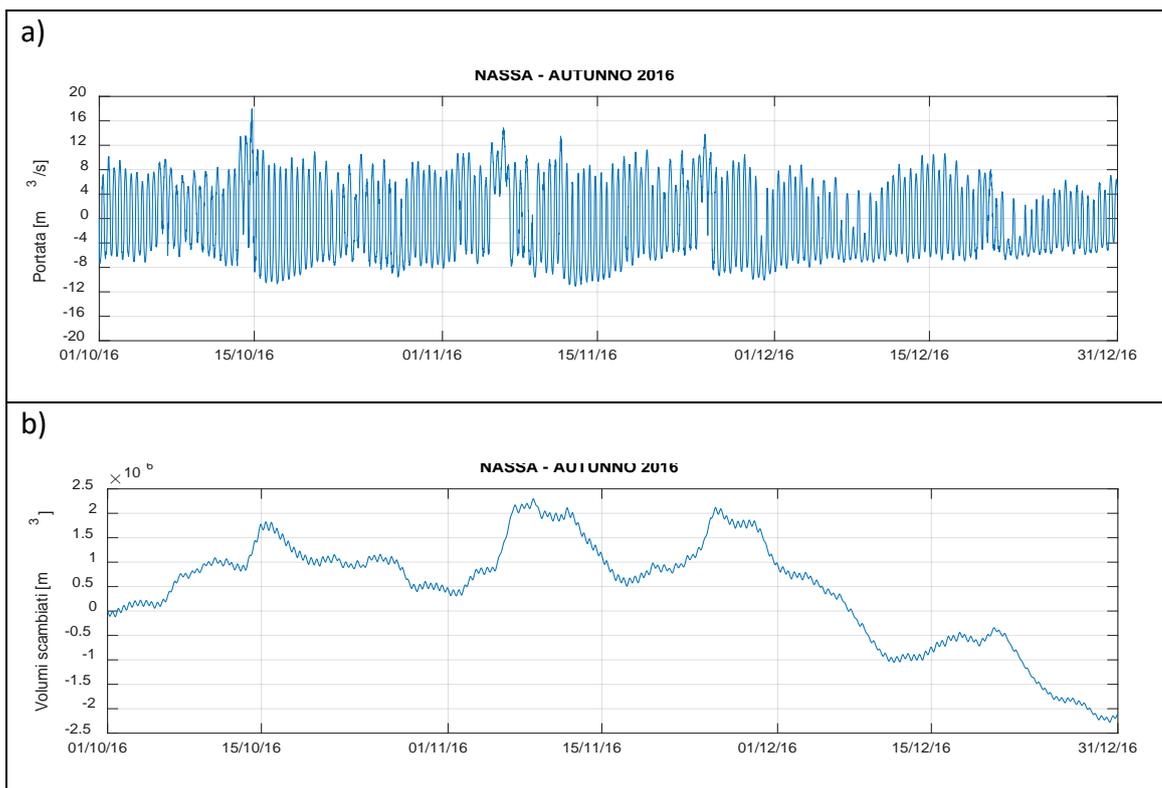


Figura 71- a) Valori di portata istantanei e b) Valori di portata cumulata estratti a Nassa in Autunno.

In Tabella 32 sono riportati i valori di portata cumulata indicativa dei volumi in ingresso (segno +) dal mare, stimati per ciascun canale e suddivisi per stagione.

Tabella 32: Volumi in ingresso stimati per ciascun canale durante il 2016

	INVERNO [m ³]	PRIMAVERA [m ³]	ESTATE [m ³]	AUTUNNO [m ³]	Bilancio annuale dei volumi in ingresso
ANSEDONIA	16M	15M	13M	14M	
FIBBIA	13M	12M	13M	12M	■ FIBBIA
NASSA	24M	22M	22M	21M	■ NASSA

In generale, analizzando il bilancio complessivo dei volumi di acqua che entrano (segno +) in laguna durante un intero anno, il canale di Nassa è quello attraversato da volumi in ingresso maggiori rispetto a Fibbia e Ansedonia.

10.3. Effetto delle griglie installate sui canali di Fibbia, Nassa e Ansedonia sui flussi e reflussi mareali

Gli scambi della laguna con il mare avvengono solo tramite i tre canali di Fibbia, Nassa e Ansedonia. Presso tutti e tre i canali sono presenti strutture finalizzate alla pesca e alloggiamento delle pompe per il ricircolo forzato. I canali, infatti, sono sempre attrezzati per la pesca predisponendo, lungo tutto lo sviluppo di una o più sezioni trasversali, griglie costituite da barre in acciaio che lasciano fessure larghe circa solo un 1.0cm. Nel caso del canale di Ansedonia, inoltre, è collocato anche uno sgrigliatore con griglia a maglie quadrate di lato pari a circa 1.5 cm (Figura 72). La presenza di queste griglie interagisce e altera, senza dubbio, il flusso e reflusso mareale tra mare e laguna.



Figura 72- *A sinistra: tipologia di griglia disposta lungo una o più sezioni dei canali: Fibbia, Ansedonia e Nassa. Al centro e a destra: sgrigliatore posto nel canale di Nassa a valle (verso mare) del sistema di griglie.*

Per caratterizzare, almeno in parte, gli effetti che l'occlusione dei canali con questi sistemi di griglie determina sui flussi e reflussi mareali, può essere fatto riferimento, in prima istanza, alle misure idrometriche gestite dal Centro Funzionale della Regione Toscana attraverso la rete di idrometri evidenziata in Figura 73.

Si nota che gli idrometri di Fibbia e Ansedonia sono collocati "esternamente alla Laguna" e come tale misurano le variazioni del livello del mare che non risente dell'interazione con le griglie (intendendo per "esterne" quelle a monte della sezione su cui sono collocate le griglie sui due canali). Nel caso degli idrometri di Nassa e Ponte Diga, questi sono interni alla laguna e quindi registrano variazioni dei livelli che risentono dell'effetto di interazione del flusso e reflusso mareale che dal mare transita attraverso le griglie e poi raggiunge i due idrometri.

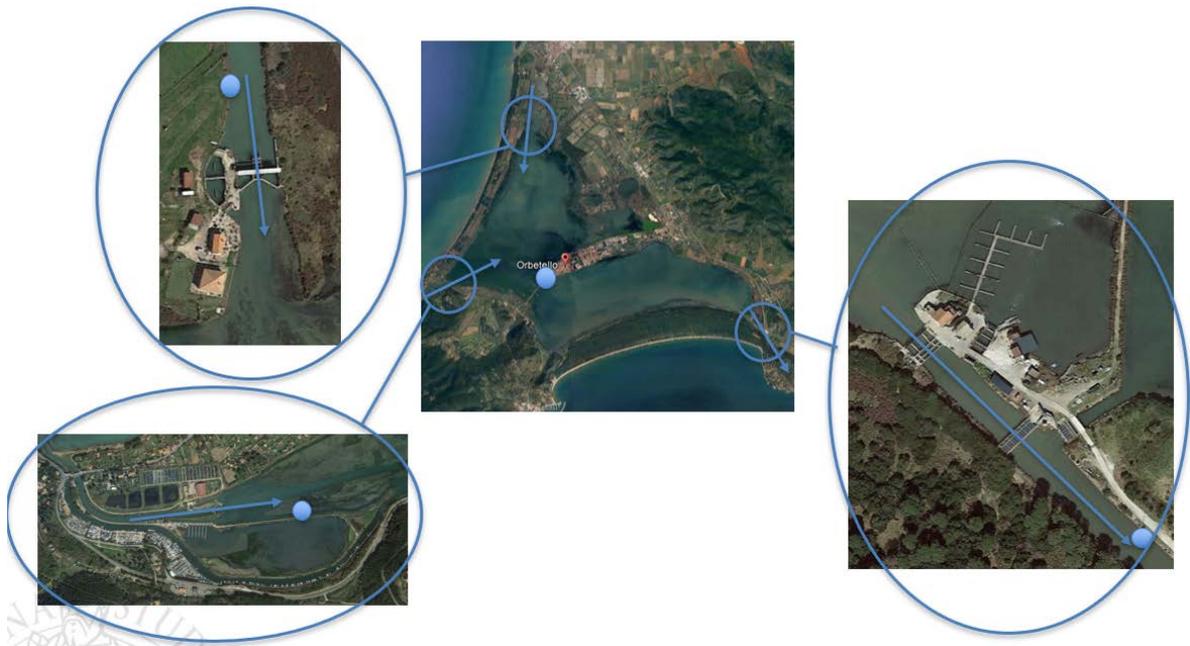


Figura 73- Al centro visione d'insieme della laguna di Orbetello e ai lati zoom sulle sezioni attrezzate con i vari dispositivi per la pesca (griglie) e i pompaggi estivi (pompe e paratie); in alto a sinistra: Fibbia; in basso a sinistra Nassa. In basso a destra Ansedonia. Le frecce indicano la direzione dei flussi forzati in estate e i cerchi a sfondo celeste indicano la posizione degli idrometri gestiti dal CFR della Regione Toscana.

Le registrazioni idrometriche a Fibbia e Ansedonia, in Figura 74, dimostrano che l'onda di marea semidiurna raggiunge il tratto terminale dei due canali, fino alla posizione degli idrometri, senza dissiparsi. Si nota, nei mesi estivi di Giugno, Luglio e Agosto il disallineamento tra le misure a Fibbia e Ansedonia; tale disallineamento è dovuto agli effetti di pompaggio forzato durante i mesi estivi, come illustrato più avanti in questa relazione.

Al contrario, le misure idrometriche a Nassa (dove l'idrometro è posto dentro la laguna a circa 250m dalla sezione chiusa con griglie nel canale di Nassa) e quelle ad Ansedonia, in Figura 75, dimostrano che l'onda di marea semidiurna è quasi totalmente dissipata rimando visibili solo le variazioni a più lungo periodo dovute prevalentemente alle variazioni bariche. Si nota la mancanza di misure a Nassa durante il periodo che va dai primi di Ottobre fino ai primi di Novembre; successivamente i dati sono nuovamente disponibili e si nota che le misure fornite a Nassa si sovrappongono ancora più nettamente, rispetto al precedente periodo, a quelle al Ponte Diga.

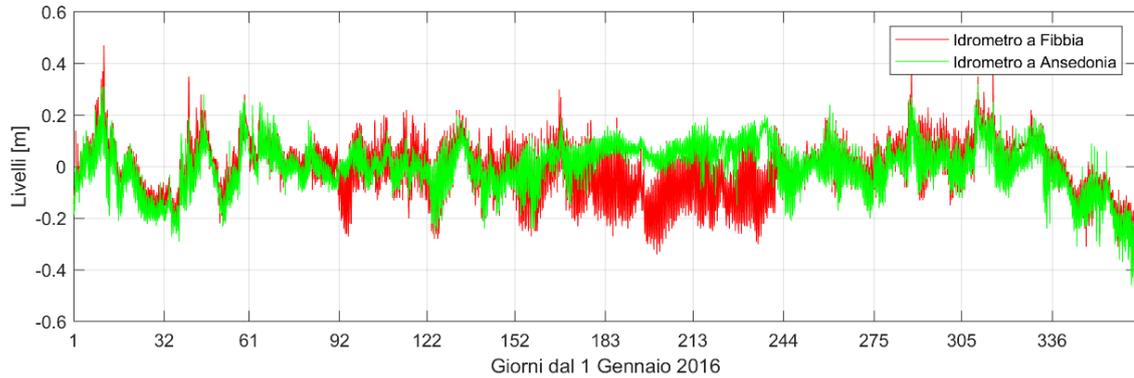


Figura 74- Misure idrometriche durante tutto l'anno 2016 presso gli idrometri di Fibbia e Nassa. Si nota, nei mesi estivi di Giugno, Luglio, Agosto il disallineamento tra le misure a Fibbia e Ansedonia dovuto agli effetti di pompaggio forzato, come illustrato più avanti in questa relazione.

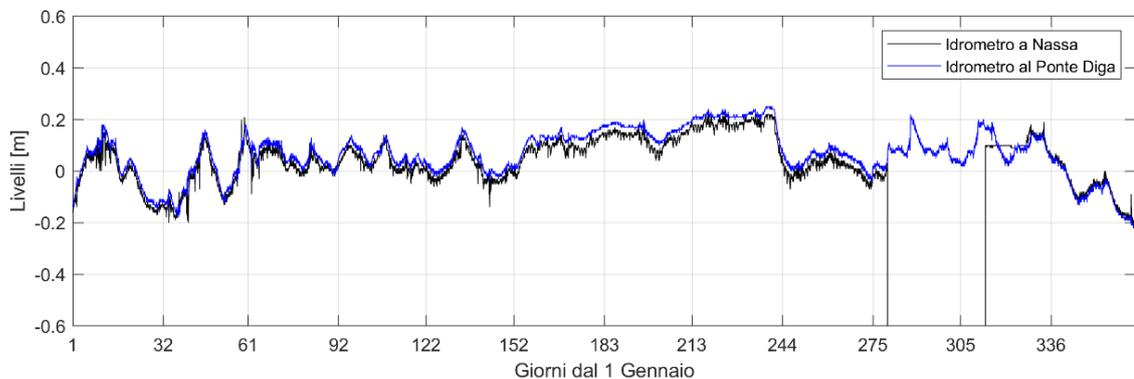


Figura 75- Misure idrometriche durante tutto l'anno 2016 presso gli idrometri di Nassa e Ponte Diga. Si nota la mancanza delle misure a Nassa nel periodo dai primi di Ottobre ai primi di Novembre e successivamente la ripresa del funzionamento di questo idrometro che fornisce misure identiche a quelle al Ponte Diga.

In sintesi, le misure dimostrano che i sistemi di griglie che sbarrano tutti i canali di scambio con il mare, abbattano l'idrodinamismo della laguna al punto tale che la componente semidiurna dei flussi e reflussi mareali non si propaga dentro la laguna.

10.4. Portate scambiate con il mare in regime naturale con la presenza delle griglie presso tutti i canali

Le misure a Nassa e Ponte Diga riportate in Figura 75 dimostrano che i livelli di questi due punti della laguna distanti circa 3km, sono uguali e variano all'unisono.

Se alle misure idrometriche a Fibbia e Nassa, che essendo effettuate su punti esterni alla laguna registrano anche l'onda di marea (vedi Figura 74), eliminiamo tramite filtro numerico la componente semidiurna e diurna della marea si ottiene la serie temporale dei livelli medi

giornalieri. Questi livelli medi giornalieri possono quindi essere confrontati con le misure a Nassa e al Ponte Diga, dove l'onda di marea è già assente perché in questo caso è quasi totalmente filtrata, fisicamente, dalla presenza delle griglie presso i canali.

I risultati di questa analisi sono illustrati in Figura 76, dove vengono anche evidenziate le finestre temporali durante le quali sono state compiute manovre di accensione dei sistemi di pompaggio forzato installati presso i canali.

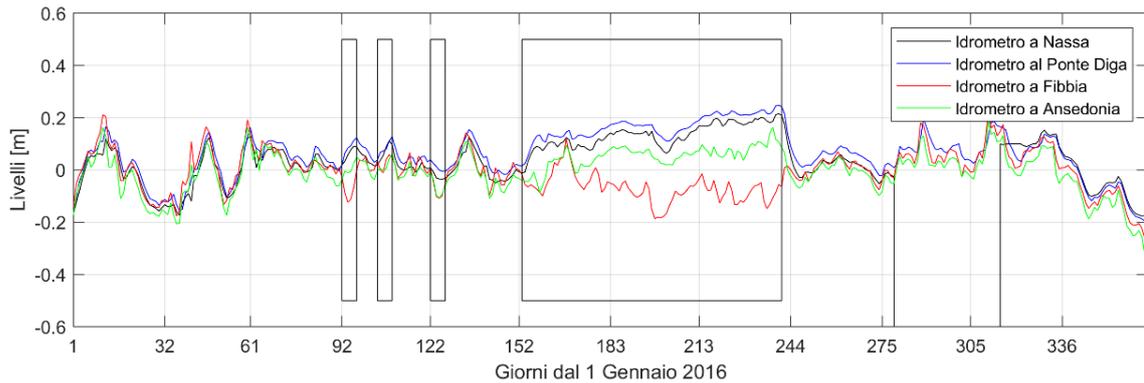


Figura 76- Livelli medi giornalieri a Nassa, Fibbia, Diga e Ansedonia durante tutto il 2016. I riquadri in nero indicano le finestre temporali durante le quali sono state compiute manovre di accensione dei sistemi di pompaggio installati presso i canali.

Questa analisi dimostra che, ad eccezione dei periodi di pompaggio, per i quali si riportano commenti nel seguito di questa relazione, i livelli medi giornalieri in laguna sono uguali e variano all'unisono su 4 punti distribuiti alla periferia della laguna (Fibbia, Nassa e Ansedonia) e al centro di essa (Ponte Diga). In termini di livello medio giornaliero quindi la superficie della laguna si può approssimare ad un piano orizzontale che oscilla nel tempo, lungo la verticale.

Questo risultato permette di derivare la misura delle portate in ingresso, durante le fasi di risalita del livello idrometrico, e le portate in uscita, durante le fasi di ridiscesa del livello idrometrico, secondo la semplice formula in eq. 1:

$$Q = \frac{\Delta z}{86400} \cdot S \quad [mc/s]$$

dove:

- Q è la portata media giornaliera espressa in metri cubi al secondo, positiva se entrante in laguna e negativa se uscente dalla laguna, che viene scambiata con il mare attraverso i canali di Nassa, Fibbia e Ansedonia;

- Δz è la variazione del livello della laguna (viene usato come riferimento univoco quello misurato al ponte diga);
- S è la superficie orizzontale dello specchio acqueo della laguna, assunto pari a 26 km²;

Il risultato di questa analisi, condotta utilizzando solo i dati inerenti ai periodi di assenza di pompaggio, viene riportata in Figura 77 in termini di istogramma di frequenza. I dati dimostrano che durante i periodi di massima risalita o discesa dei livelli della laguna, attraverso canali di Fibbia, Nassa e Ansedonia entrano o escono in totale portate idriche pari a circa 25 m³/s. Inoltre, i casi più frequenti sono quelli durante i quali le portate scambiate sono dell'ordine dei 5 m³/s in ingresso o in uscita.

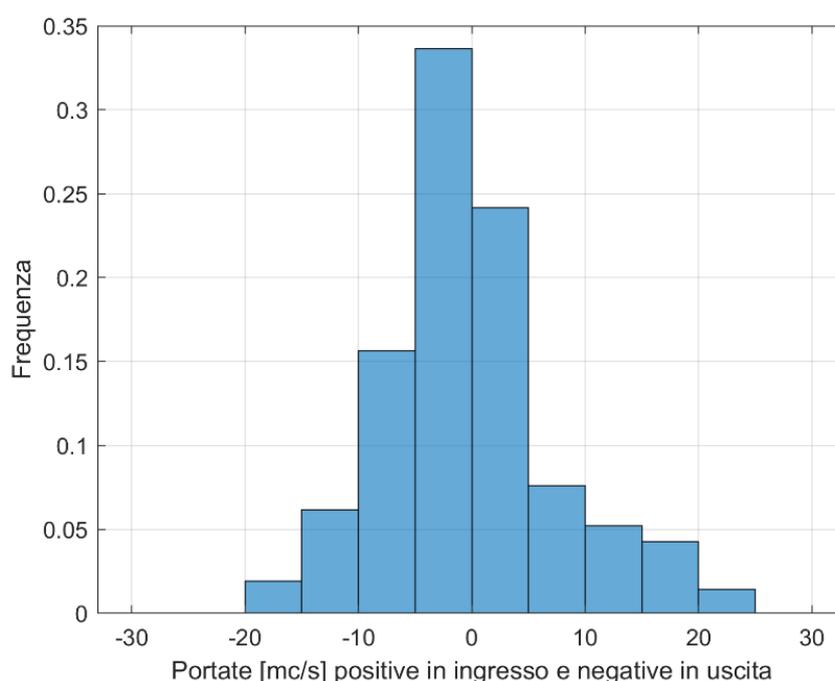


Figura 77- Intensità delle portate scambiate con il mare e relativa frequenza di accadimento. Positive in ingresso e negative in uscita dalla Laguna; sono stati utilizzati i dati 2016 e solo quelli inerenti ai periodi in assenza di pompaggio forzato.

È evidente che il motore di questi scambi idrici mare-laguna siano le variazioni bariche e quindi gli scambi con il mare saranno maggiori durante le fasi transitorie che portano ad alte o basse pressioni e viceversa. Inoltre, è la durata di queste fasi transitorie di variazione di pressione che determina il volume totale invasato o uscito dalla laguna; più a lungo durano questi transitori di variazione di pressione maggiori saranno i volumi scambiati. Tale osservazione suggerisce anche un potenziale approccio all'utilizzo dei sistemi di pompaggio che potrebbe essere caratterizzato dal riprodurre/incrementare artificialmente, in fase con le tendenze naturali, questi transitori durante tutto l'anno al fine di aumentare il volume

scambiato con il mare. Preme tuttavia sottolineare che, giudicare l'utilità o meno di aumentare lo scambio con il mare e soprattutto giudicare la fattibilità di questa gestione dei sistemi di pompaggio in ragione delle interazioni con tutte le altre dinamiche (e.g. chimiche, biologiche, sanitarie, ambientali, sociali ed economiche) è prerogativa del soggetto gestore che deve fare una sintesi di tutte le istanze con il supporto di tutte le competenze tecniche e scientifiche. L'aspetto idraulico è uno dei tanti aspetti tecnici che devono essere considerati e il modello idraulico sviluppato è uno dei tanti strumenti di supporto alle decisioni perché fornisce risultati scientifici che permettono di togliere dal dibattito ipotesi sulle quali appoggiare proposte che non si basano su fatti dimostrati con altrettanta profondità di indagine scientifica.

10.5. Influenza dei pompaggi sui livelli medi giornalieri della Laguna

Le analisi precedenti hanno dimostrato che l'effetto della presenza delle griglie che occludono tutti i canali di scambio con il mare, è quello di ridurre fortemente l'idrodinamismo della laguna legato al flusso e reflusso mareale semidiurno. Inoltre, in termini dei livelli medi giornalieri, tutti i punti della superficie della laguna variano all'unisono come se appartenessero ad un piano orizzontale che oscilla nel tempo lungo la verticale.

In questa situazione, caratterizzata dalla presenza di opere che ostacolano gli scambi mare-laguna, al fine di aumentare l'idrodinamismo soprattutto durante i mesi estivi caratterizzati da lunghi periodi di costante basse pressione, risulta che sono stati installati dei mixer presso i canali di Fibbia, Nassa e Ansedonia.

Attualmente, risultano presenti e funzionanti:

- 1) 7 mixer nel Canale di Nassa,
- 2) 6 mixer nei Canali di Fibbia (nel periodo 2016 erano funzionanti 5 mixer),
- 3) 4 mixer nel canale di Ansedonia,

che risultano essere utilizzati, durante i mesi estivi, per immettere acqua in laguna dai canali di Nassa e Fibbia per poi farla defluire dal canale di Ansedonia. Inoltre, durante i periodi di pompaggio, i canali di Nassa e Fibbia vengono completamente occlusi da paratie, eccetto la mandata delle pompe, mentre nel canale di Ansedonia il sistema di paratie viene utilizzato, realizzando una chiusura maggiore o minore di questo canale, per concorrere a far variare il livello in laguna durante i pompaggi e le pompe sono tenute spente. Sempre ad Ansedonia è anche presente uno sgrigliatore che attraversa completamente il canale e quindi

contribuisce a rallentare il deflusso delle portate e a mantenere il livello alto in laguna. Risulta evidente che l'attuale presenza di tutto questo articolato sistema di griglie, reti, pompe e paratie, sgrigliatore rende la Laguna di Orbetello un sistema totalmente artificiale.

Dall'andamento dei livelli medi giornalieri durante il periodo 2016, riportato in Figura 76, si osserva che l'effetto del pompaggio durante i mesi di Giugno, Luglio e Agosto unitamente alla gestione delle paratie ad Ansedonia ha determinato un innalzamento del livello della laguna fino a circa 20 cm (idrometro al ponte diga) che corrisponde ad un volume invasato di circa 5 milioni di metri cubi su un totale di circa 30 milioni di metri cubi di acqua della laguna.

Il tempo necessario ad invasare questo volume di acqua è legato alla capacità del sistema di pompaggio e alle specifiche manovre di utilizzo dello stesso e all'utilizzo delle paratie ad Ansedonia. In termini medi si può affermare, sulla base delle misure analizzate in questo studio, che i 5 milioni di metri cubi vengono immessi in un tempo di circa 10 giorni e quindi con una portata di circa 6 metri cubi al secondo immessa dai 12 mixer (500 l/s in media per ogni mixer).

Dall'analisi risulta anche evidente che i livelli idrometrici a Fibbia, dove l'idrometro si trova dal lato della presa del sistema di pompaggio, sono molto bassi perché risentono dell'effetto di richiamo determinato dall'aspirazione del sistema di pompaggio. I livelli a Nassa e Ponte Diga sono sostanzialmente coincidenti e rappresentano il livello medio interno alla laguna. Rispetto a tale livello medio lagunare, il livello misurato a Ansedonia, sottocorrente al sistema di griglie, paratie e sgrigliatore, è traslato di circa 10 cm e prova che tutti questi dispositivi ostacolano il deflusso idrico contribuendo significativamente a mantenere alto il livello in Laguna.

10.6. Validazione del modello numerico nel ricostruire l'idrodinamica lagunare

I risultati del modello, in termini di livelli medi giornalieri e portate scambiate con il mare durante tutto l'anno 2016 sono stati messi a confronto con le misure idrometriche (Figura 78) e le portate (Figura 79), ottenute dall'analisi della variazione dei livelli.

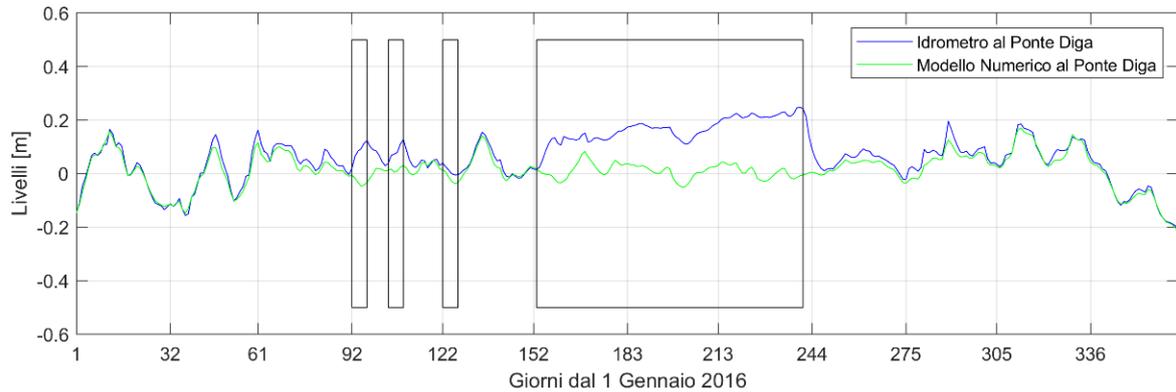


Figura 78- Confronto tra i livelli medi giornalieri della laguna durante tutto il 2016 misurati alla stazione del Ponte diga e previsti dal modello numerico senza l'effetto del pompaggio. I riquadri in nero evidenziano le finestre temporali durante le quali sono state compiute manovre di pompaggio.

La sostanziale perfetta coincidenza dei livelli della laguna misurati con quelli previsti dal modello numerico, durante tutti i mesi di assenza del pompaggio, dimostra il risultato di eccellenza di poter finalmente disporre di uno strumento operativo di comprovata affidabilità.

Una prima utilità di poter disporre di un simile strumento a supporto delle decisioni di gestione appare subito evidente dal poter prevedere cosa sarebbe accaduto se non si fosse manovrato con pompe e paratie nei mesi estivi.

Guardando infatti, in Figura 78, gli andamenti dei livelli interni alla finestra temporale dei tre mesi estivi (Giugno, Luglio e Agosto) si nota che in assenza delle manovre con pompe e paratie il livello medio lagunare sarebbe variato per effetto naturale oscillando intorno allo zero idrometrico (linea verde in Figura 78). Con il pompaggio e le manovre sulle paratie ad Ansedonia invece il livello si alza fino a poco più di 20cm e le oscillazioni naturali del livello sono quasi completamente coincidenti con quelle che sarebbero comunque avvenute (linea blu in Figura 78).

L'analisi delle portate, in Figura 79, dimostra anche l'ottima capacità del modello realizzato di prevedere le portate in ingresso o uscita da tutti i tre canali in confronto alla portata ottenuta dall'analisi della variazione dei livelli medi misurati. Il confronto relativo ai mesi estivi, interni alla finestra temporale dal giorno 152 (1 luglio 2016) al giorno 241 (28 agosto 2016), durante la quale sono state accese le pompe e manovrate le paratie e lo sgrigliatore ad Ansedonia, dimostra che a parte il transitorio iniziale durante il quale si immette acqua in laguna e quello finale durante il quale la laguna si svuota dell'acqua immessa artificialmente,

la variazione delle portate intorno a valore medio garantito dalle pompe rimane sostanzialmente coincidente con quella che si avrebbe avuto naturalmente.

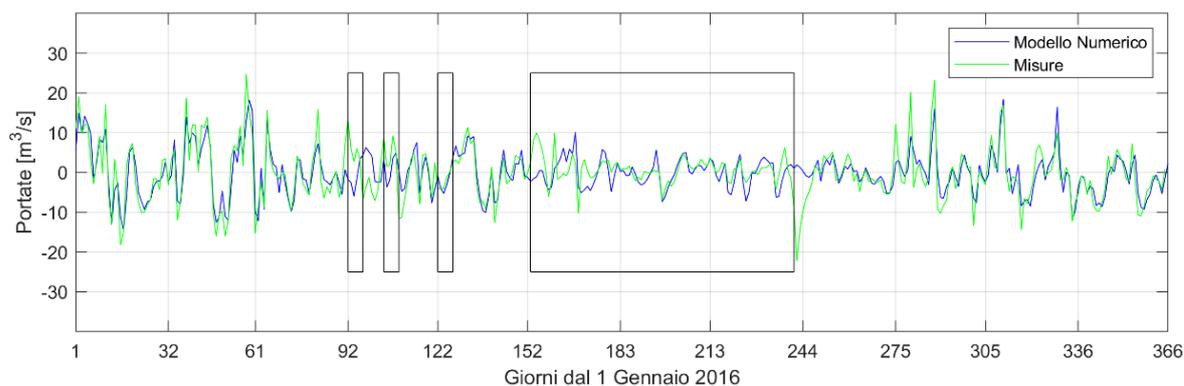


Figura 79- Confronto tra le portate scambiate con il mare durante il 2016. La misura è ottenuta dall'analisi delle variazioni dei livelli medi giornalieri mentre le portate previste dal modello numerico, senza l'effetto del pompaggio, sono quelle estratte attraverso le sezioni dei canali di Fibbia, Nassa e Ansedonia. I riquadri in nero evidenziano le finestre temporali durante le quali sono state compiute manovre di pompaggio. Nel caso delle misure il dato mostrato è al netto della portata media garantita delle pompe.

10.7. Contributo del flusso e reflusso semidiurno e diurno mareale sulle portate in ingresso in laguna.

L'analisi dei livelli idrometrici registrati a Fibbia, Nassa, al Ponte Diga e ad Ansedonia ha dimostrato che l'effetto della presenza del sistema di griglie che attraversa tutti e tre i canali che permettono lo scambio con il mare è quello di attenuare quasi a zero il flusso e reflusso mareale, semidiurno e diurno, all'interno della laguna.

L'idrodinamica legata a questi flussi, se non ci fossero le griglie, sarebbe caratterizzata dall'ingresso e dall'uscita di portate idriche in laguna che giornalmente permeerebbero un'area di dimensione caratteristica di alcune centinaia di metri in prossimità delle bocche interne dei canali per che poi invertono il loro moto e sono richiamate dentro i canali verso il mare.

Per valutare il contributo che questa particolare idrodinamica giornaliera avrebbe sul totale delle portate positive, e quindi la sola componente in ingresso in laguna, durante tutto l'anno 2016 preso come riferimento, sono state condotte simulazioni che includono questa dinamica e simulazioni che la escludono come nel sistema lagunare attuale.

I risultati di quest'analisi sono sintetizzati in Tabella 33. In presenza dei flussi e reflussi giornalieri le portate totali in ingresso in laguna attraverso tutti i tre canali raggiungono il valore

di circa 200 milioni di metri cubi all'anno, mentre in assenza di questa componente il valore scende a circa 70 milioni di metri cubi.

Tabella 33: Volumi in ingresso stimati per ciascun canale durante il 2016.

	VOLUMI SCAMBIATI [m ³] con marea semidiurna	VOLUMI SCAMBIATI [m ³] senza marea semidiurna
ANSEDONIA	58M	23M
FIBBIA	50M	14M
NASSA	90M	30M

È opportuno ribadire che i 130 milioni di metri cubi in più che entrano per effetto dei flussi e reflussi giornalieri sono legati ad una idrodinamica che interessa solo aree di dimensione di qualche centinaio di metri nell'intorno delle bocche interne dei canali lagunari. A prova di questa affermazione, in Figura 80 si riporta il risultato di una apposita simulazione numerica in termini di mappa di dispersione di particelle traccianti immesse a flusso continuo attraverso ogni sezione dei tre canali durante un periodo di riferimento di un mese.

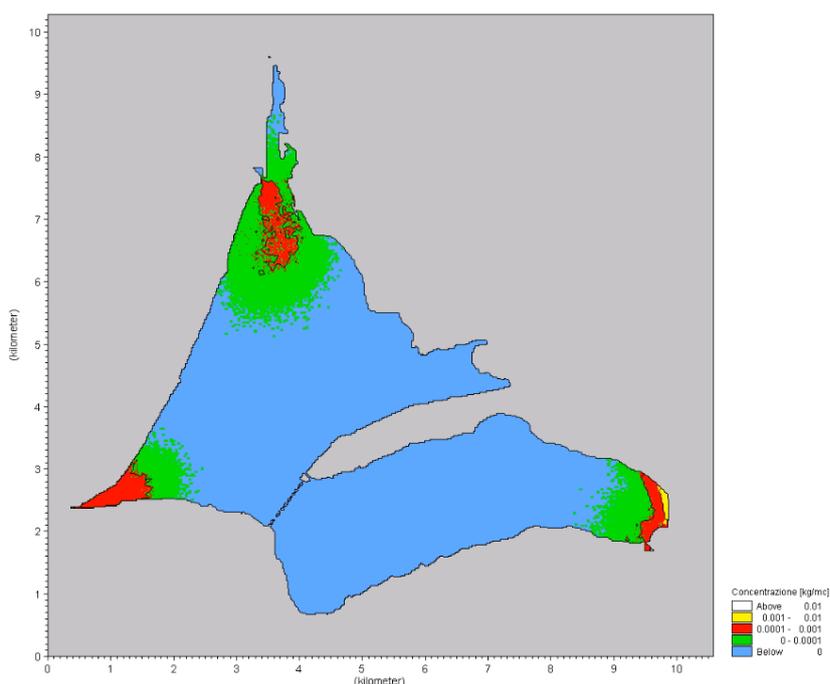


Figura 80– Mappa di dispersione di particelle immesse a flusso continuo attraverso la sezione interna alla laguna dei tre canali (Fibbia, Nassa e Ansedonia) durante un periodo di un mese.

10.8. Valutazione circa l'eventuale implementazione della rete di monitoraggio idrodinamico esistente.

Sulla base delle conoscenze acquisite durante questo studio, si evidenzia la fondamentale importanza delle misure idrometriche esistenti a Fibbia, Nassa, Ponte Diga e Ansedonia. Per la conduzione del lavoro è stato necessario disporre di queste misure e quindi interagire con il Centro Funzionale Regione Toscana verso il quale vogliamo dimostrare il nostro apprezzamento per la prontezza delle risposte, la professionalità dell'operato, la qualità delle misure e l'elevato grado di operatività della rete degli idrometri durante molti anni di esercizio. Le misure forniteci sono risultate determinanti nel concorrere ai risultati raggiunti nella calibrazione e verifica del modello numerico.

Con le conoscenze ad oggi acquisite, è possibile motivare efficacemente la possibile implementazione della rete di monitoraggio idrodinamico esistente. Lo studio ha messo in luce che la presenza di griglie e paratoie poste lungo intere sezioni dei canali di Nassa, Fibbia e Ansedonia concorre a determinare l'instaurazione degli effettivi livelli in laguna e a interagire con la componente giornaliera dei flussi e reflussi mareali. Tale componente dei flussi è risultata molto importante in termini quantitativi in relazione al totale dei flussi scambiati con il mare. Per approfondire tali dinamiche al fine di valutare eventuali ipotesi di intervento e anche per mettere in servizio operativo il modello numerico realizzato e così utilizzarlo prontamente come sistema di supporto alle decisioni in situazioni di emergenza occorre che su ogni canale sia presente una misura idrometrica a monte e a valle del sistema di griglie.

Considerato che a Fibbia e Ansedonia gli idrometri presenti sono installati all'esterno del sistema di griglie, in questi due casi occorrerebbe installare un altro idrometro in ciascun canale, posizionato all'interno del sistema di griglie. Viceversa, nel caso del canale di Nassa dove l'idrometro interno di riferimento per questo canale è già presente occorrerebbe installare un ulteriore idrometro all'esterno di esso.

Inoltre, ogni canale dovrebbe essere dotato: i) di un sistema di misura della portata (cosa differente da misurare la velocità in un singolo punto e che non sarebbe altrettanto utile); ii) di un sistema di monitoraggio delle accensioni e spegnimento di ciascuna pompa.

Infine, si evidenzia anche la necessità di condurre un nuovo rilievo della laguna, prima di studiare accuratamente qualsiasi ipotesi di intervento. Se da un punto di vista di dinamiche globali della laguna, quali ad esempio gli scambi idrici giornalieri o i livelli idrici giornalieri, il

lavoro qui condotto ha dimostrato che pur basando il modello su dati batimetrici del 2002-2004 i risultati delle simulazioni sono perfettamente coincidenti con valori misurati, nel caso si volesse studiare dettagliatamente per esempio i campi di moto associati all'escavazione di nuovi canali allora diventa determinante condurre un nuovo rilievo dei fondali.

L'implementazione dell'attuale rete di monitoraggio idrodinamico, con la strumentazione qui riassunta permetterebbe di ottenere dati sufficienti finalizzare l'operatività corrente il modello numerico già realizzato e utilizzarlo anche come strumento operativo a supporto della gestione delle emergenze, pre-simulando gli scenari di gestione e scegliendo quello che sulla base dei risultati previsti risulti essere il più adeguato a raggiungere gli obiettivi prefissi.

11. Applicazione del modello per la previsione dell'efficacia di ipotesi di intervento

Per la riproduzione del campo di correnti, risultante da ipotesi di intervento da adottare per un miglioramento della circolazione lagunare, è stato scelto di utilizzare un dominio di calcolo avente la stessa estensione del dominio di calcolo sviluppato per la simulazione di eventi annuali. Tuttavia, sebbene le zone a largo siano state riprodotte adottando la medesima risoluzione spaziale, per il dominio interno alla laguna è stato scelto di sviluppare una mesh di calcolo specifica per l'ipotesi di intervento indagata.

11.1. IPOTESI 1: Escavo di nuovi canali interni

Il dominio di calcolo sviluppato per la prima ipotesi di intervento, relativa alla realizzazione di nuovi canali interni alla laguna, che si estendono dalle bocche di Nassa, Fibbia e Ansedonia fino ai due punti di approdo localizzati al cento della laguna, è costituito da un totale di 71163 triangoli e 37661 nodi (Figura 81).

I tre nuovi canali interni sono caratterizzati da un alveo a sezione trapezia con una profondità di -3.60m e pendenza delle sponde 1/5 che porta ad una larghezza del canale pari a circa 45m.

La risoluzione adottata per le aree esterne alla laguna, per omogeneità, è la medesima di quella usata per il dominio di calcolo sviluppato per le simulazioni degli scambi annuali della situazione attuale.

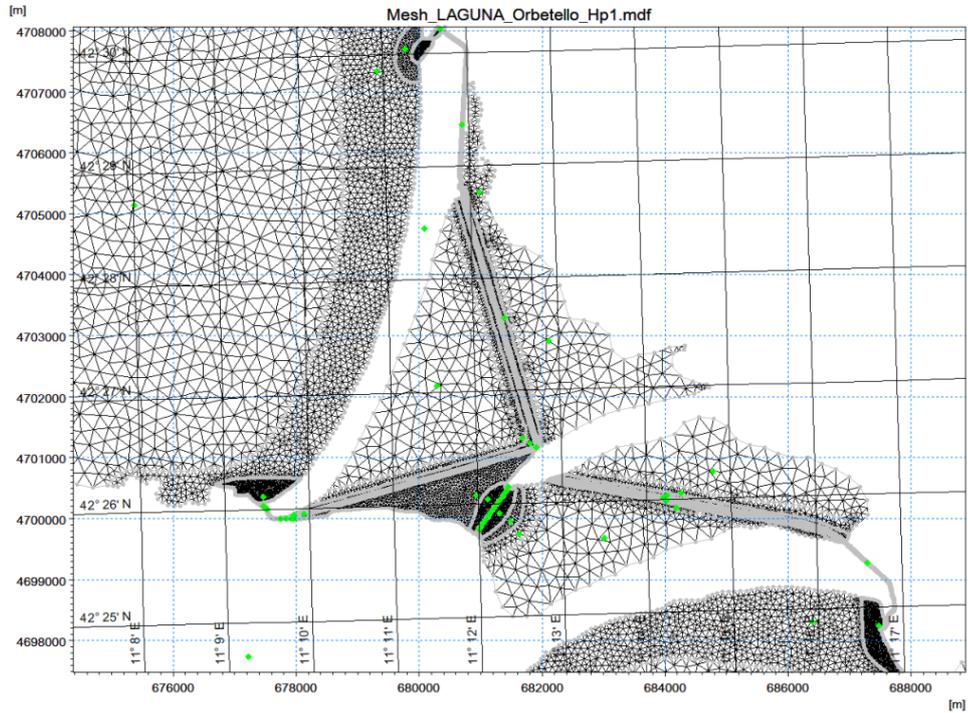


Figura 81- Particolare della mesh di calcolo utilizzata all'interno della laguna per l'ipotesi 1.

Tuttavia la mesh di calcolo relativa alle zone di intervento interne alla laguna è stata realizzata adottando una risoluzione maggiore che passa gradualmente da elementi di maglia pari a 10m, 50m e 100m fino ad arrivare a 250m in centro laguna.

La batimetria risultante nella laguna di Orbetello è riportata in Figura 82.

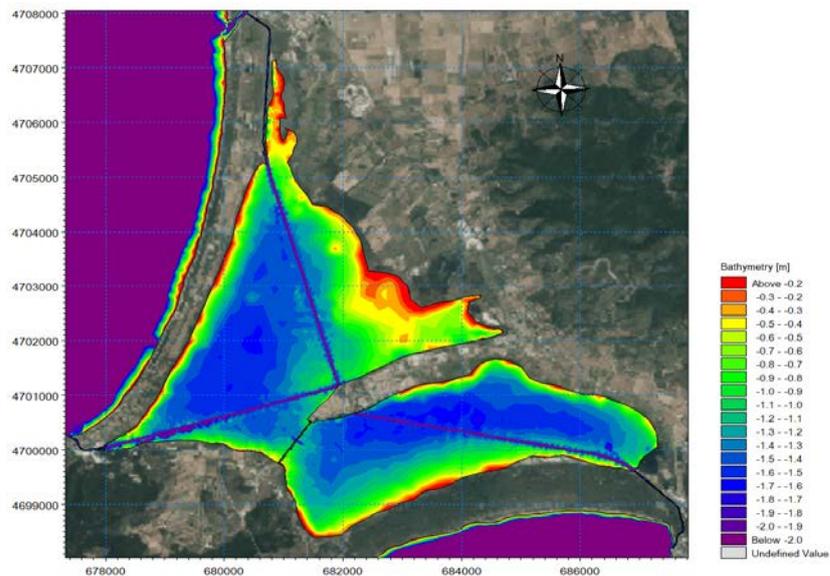


Figura 82- Batimetria della laguna di Orbetello con l'ipotesi di intervento 2.

11.2. IPOTESI 2: Escavo e allargamento dei canali esistenti

Il dominio di calcolo sviluppato per la seconda ipotesi di intervento relativa al raddoppio e all'escavo ad una profondità di -3.50m dei canali esistenti, è costituito da un totale di 54784 triangoli e 29414 nodi (Figura 83) Figura 56.

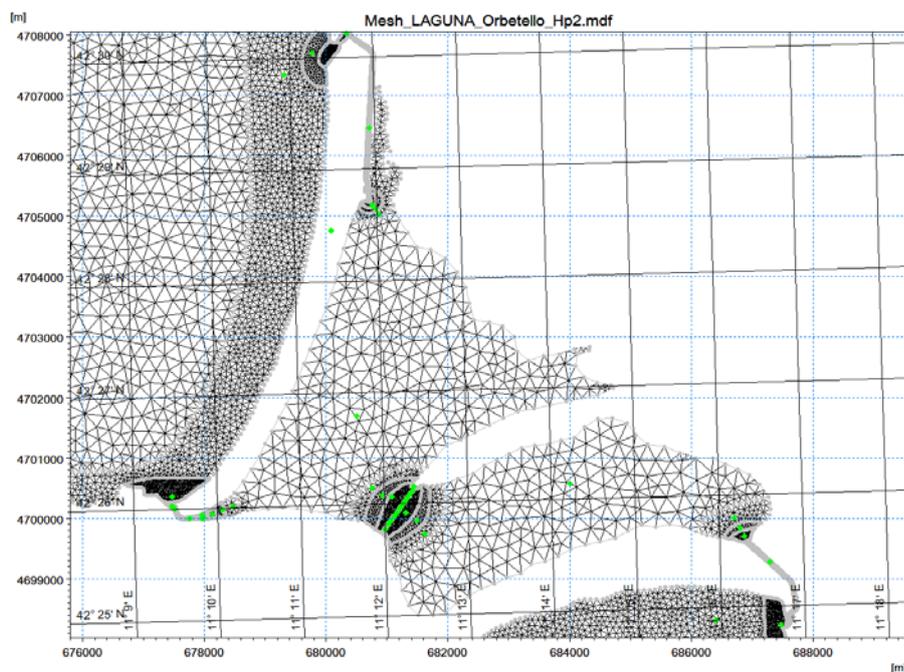


Figura 83- Particolare della mesh di calcolo utilizzata all'interno della laguna per l'ipotesi 2.

La risoluzione adottata, è la medesima di quella usata per il dominio di calcolo sviluppato per valutare gli scambi annuali della situazione attuale. In particolare è stata adottata, la stessa risoluzione sia per le aree esterne alla laguna che per quelle interne e per ciascuno dei tre canali. La batimetria risultante nella laguna di Orbetello è riportata in Figura 84.

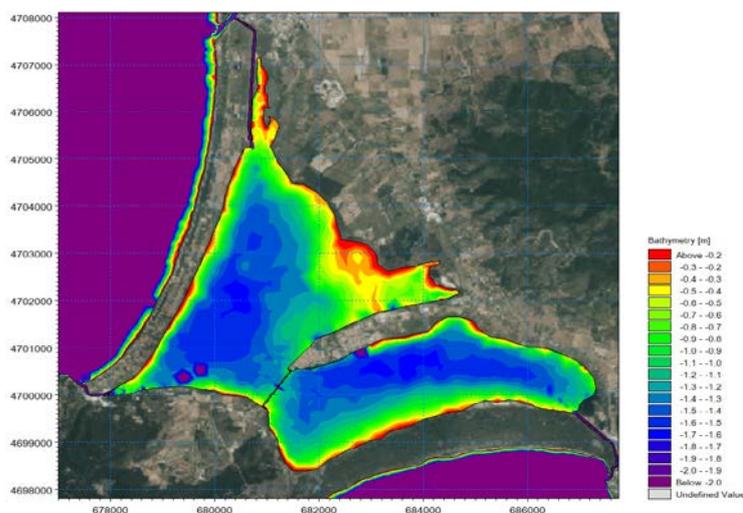


Figura 84- Batimetria della laguna di Orbetello con l'ipotesi di intervento 2.

11.3. IPOTESI 3: Allargamento dei canali esistenti ed escavo di nuovi canali interni

Il dominio di calcolo per la terza ipotesi di intervento, che prevede sia lo scavo ad una profondità di -3.60m s.l.m. di tre nuovi canali interni alla laguna che l'allargamento di 40m e lo scavo a -3.50m dei canali di Nassa, Fibbia e Ansedonia, è costituito da un totale di 81711 triangoli e 42901 nodi (Figura 85) Figura 56.

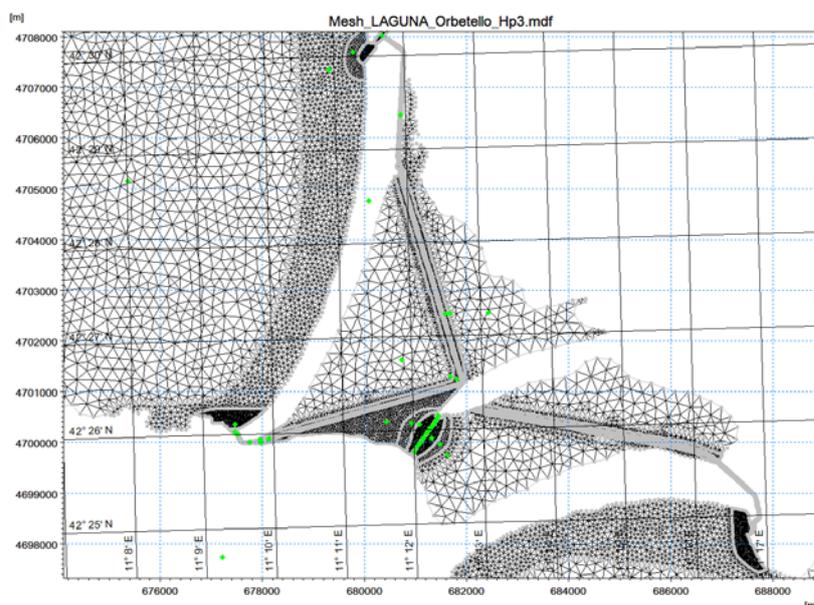


Figura 85- a) Dominio di calcolo per la terza ipotesi di intervento relativa allo scavo e allargamento dei canali esistenti e alla costruzione di nuovi canali interni b) Particolare della mesh di calcolo utilizzata.

La risoluzione adottata, per omogeneità, è quella risultante dall'unione dei due domini di calcolo relativi alle precedenti ipotesi di intervento, sia per le aree esterne alla laguna che per quelle interne e per ciascuno dei tre canali. La batimetria risultante nella laguna di Orbetello è riportata in Figura 86.

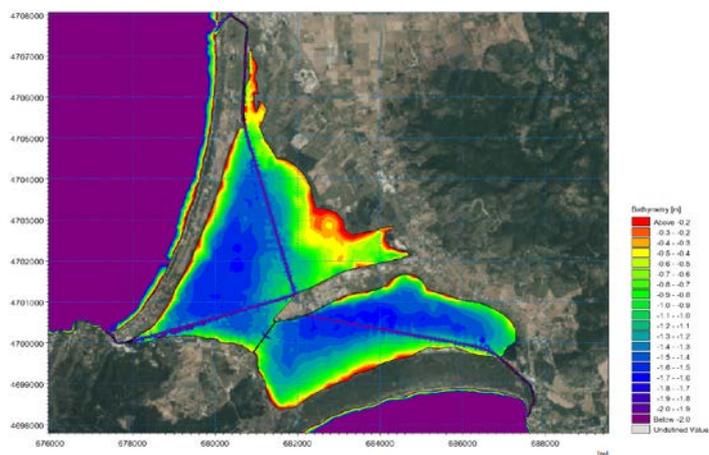


Figura 86- Batimetria della laguna di Orbetello con l'ipotesi di intervento 2.

11.4. Metodologia e discussione dei risultati delle simulazioni delle ipotesi di intervento

Le simulazioni delle ipotesi di intervento sono state eseguite con lo scopo di fornire mediante una analisi comparativa, una valutazione dell'effetto di tali interventi sul campo idrodinamico lagunare rispetto alla situazione attuale.

In particolare, per ciascuna ipotesi di intervento sono stati analizzati i valori di velocità delle correnti indotte nella laguna da forzanti di vento, marea e dalle portate del fiume Albegna per un periodo di tempo pari a 7 giorni.

Nelle condizioni al contorno Nord e Sud sono stati quindi inseriti rispettivamente i livelli misurati alle stazioni di Marina di Campo e Civitavecchia (dal 01/01/2016 al 07/01/2016) e sulla condizione al contorno esterna sono stati impostati valori di livello che variano linearmente al variare dei valori delle due stazioni.

Per la forzante di vento sono stati inseriti i valori di velocità e direzione dei venti misurati i primi 7 giorni di Gennaio 2016 dalla stazione di Orbetello (Figura 48). Mentre per la portata del fiume Albegna è stata utilizzata la portata media pari a $0.468 \text{ m}^3/\text{s}$, stimata per la stagione invernale (vedi Tabella 21).

Il valore di scabrezza al fondo è stato assunto pari a $30\text{m}^{1/3}/\text{s}$ e l'eddy viscosity è stata impostata con un coefficiente di Smagorinsky pari a $0.28\text{m}^2/\text{s}$.

La simulazione è stata impostata in modo da riprodurre complessivamente 7 giorni, di cui il primo è stato utilizzato con lo scopo di dare una partenza graduale al modello dal valore nullo ai valori di livello imposti alle condizioni al contorno.

11.4.1. Analisi comparativa degli effetti derivanti dall'attuazione dell'ipotesi di intervento sul campo di correnti lagunari

Per ciascuna ipotesi di intervento riprodotta in modello, sono state analizzate le intensità delle velocità e sono state messe a confronto con le velocità ottenute per la situazione attuale soggetta alle stesse forzanti di vento, marea e portate del fiume Albegna.

Nelle figure seguenti sono ad esempio riportate le mappe di velocità ottenute per l'ultimo giorno di simulazione, rispettivamente per lo stato attuale e per le ipotesi di intervento.

In generale dal confronto tra le ipotesi di intervento e lo stato attuale emerge che l'estensione e l'intensità del campo di moto è sempre maggiore nelle ipotesi di intervento.

Già la prima ipotesi di intervento (Figura 87) comporta una maggiore circolazione lagunare soprattutto nella laguna di Ponente, dove l'allargamento ed escavo dei canali esistenti

inducono un aumento dei valori di velocità da circa 0.005m/s per lo stato attuale a 0.014 m/s per l'ipotesi di intervento. Nella laguna di levante invece l'aumento del campo di moto è meno intenso con correnti aventi intensità di circa 0.005m/s nello stato attuale e 0.010m/s nello stato di intervento.

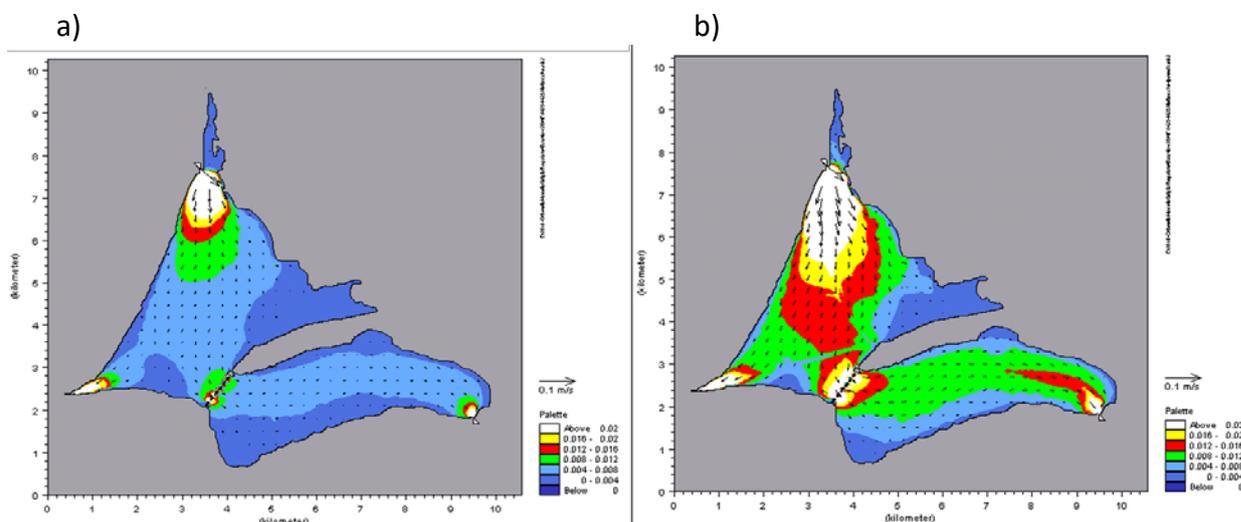


Figura 87- a) Stato attuale, b) Ipotesi 1: Raddoppio della larghezza dei canali esistenti.

La seconda ipotesi di intervento (Figura 88) induce una circolazione lagunare di maggiore intensità rispetto allo stato attuale, seppur maggiormente circoscritta alle bocche dei canali rispetto alla prima.

A differenza della prima ipotesi infatti, l'escavo di nuovi canali interni induce nella laguna di Ponente, valori di velocità che vanno da circa 0.005m/s per lo stato attuale a 0.010m/s per l'ipotesi di intervento. Nella laguna di Levante, è possibile notare un campo di moto più intenso che si estende a pochi chilometri di distanza dalla bocca del canale di Ansedonia.

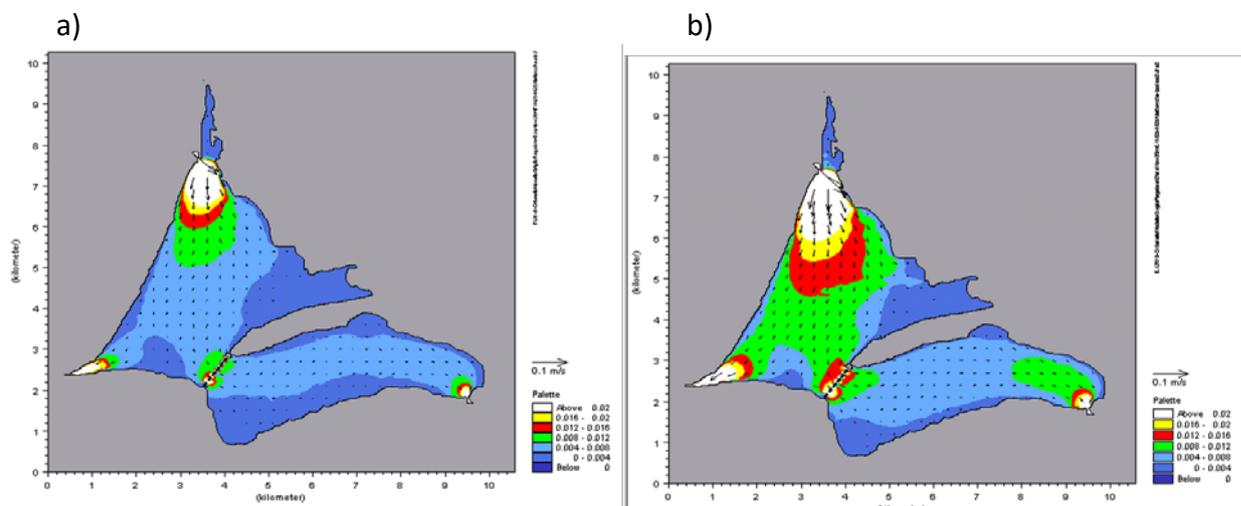


Figura 88- a) Stato attuale, b) Ipotesi di intervento 2: Escavo di canali interni.

La terza ipotesi di intervento (Figura 89), che unisce le precedenti due, è quella che apporta un effetto più rilevante sul campo idrodinamico sia della laguna di Ponente che di Levante. Infatti, è possibile notare che nella laguna di Ponente sia l'escavo di nuovi canali che l'allargamento ed escavo dei canali esistenti comportano un aumento dei valori di velocità di circa 0.01m/s, mentre nella laguna di Levante, tali valori passano da 0.005m/s per lo stato attuale, a 0.014 m/s per l'ipotesi di intervento.

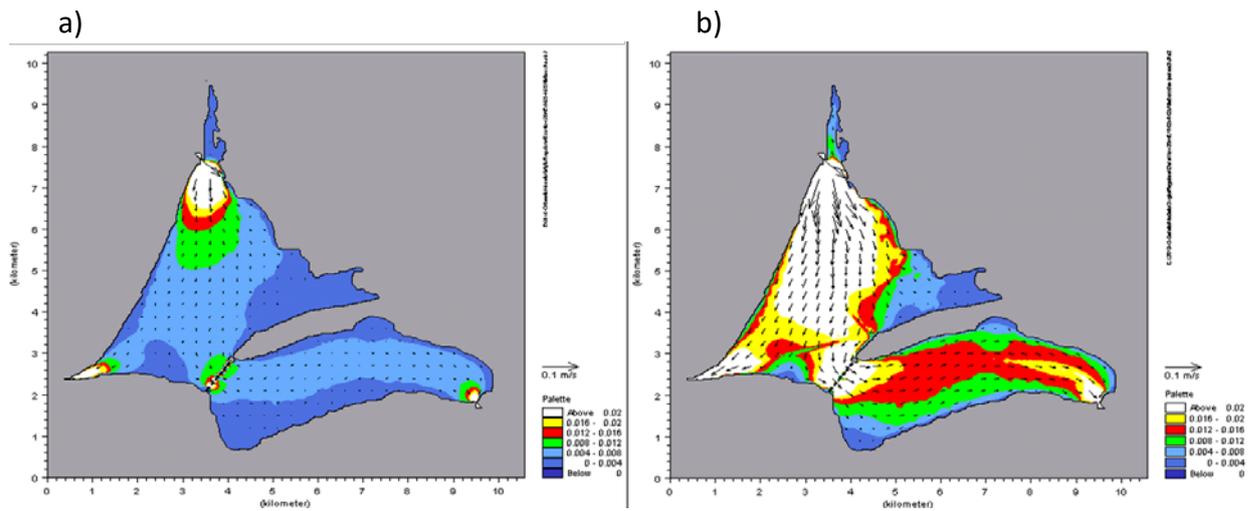


Figura 89- a) Stato attuale, b) Ipotesi di intervento 3: Raddoppio della larghezza dei canali esistenti ed escavo di canali interni.

Bibliografia

Borum, J., Sand-Jensen, K., 1996. Is total primary production in shallow coastal marine waters stimulated by nitrogen loading. *Oikos* 76, 406–410.

Bucci, M., Ghiara, E., Gorelli, V., Gragnani, R., Izzo, G., Morgana, J.G., Naviglio, L., Uccelli, R., 1992. Ecological conditions in the Orbetello Lagoon and suggested actions for its restoration. In: Vollenweider, R.A., Marchetti, R., Viviani, R. (Eds.), *Marine Coastal Eutrophication*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1179–1188.

Carrada, G.C., Fresi, E., 1988. Le lagune salmastre costiere. Alcune riflessioni sui problemi e sui metodi. In: Carrada, G.C., Cicogna, F., Fresi, E. (Eds.), *Le lagune costiere: ricerca e gestione*. CLEM, Massa Lubrense, pp. 35–56.

Cartei, P., Innamorati, M., 1997. Variazioni delle condizioni trofiche della laguna di Orbetello. *Biol. Mar. Medit.* 4, 579–582.

Cognetti G., Angelis C.M., Orlando E., Bonvicini Pagliai A.M., Cognetti Variale A.M., Crema R., Mari M., Mauri M., Tongiorgi P., Zunarelli Vandini R. (1978) - Situazione ecologica ed ittiocoltura. In: *Risanamento e Protezione dell’Ambiente Idrobiologico delle Lagune di Orbetello*. Regione Toscana, Comune di Orbetello. 178 pp.

Cognetti, G., De Angelis, C.M., Orlando, E., Bonvicini Pagliai, A.M., Cognetti Varriale, A.M., Crema, R., Mari, M., Mauri, M., Tongiorgi, P., Vandini Zunarelli, R., de Fraja Frangipane, E., Brambati, A., Giaccone, G., Olivotti, R., 1978. *Risanamento e protezione dell’ambiente idrologico delle lagune di Orbetello*, Comune di Orbetello, Regione Toscana.

Di Giano, F.A.; Adrian, D.D.; Mangarella, P.A. (1977). Eds. *Short Course Proceedings Applications of Stormwater Management Models*. EPA-600/2-77-065 (NTIS PB-265321); Environmental Protection Agency: Cincinnati, OH, USA.

Duarte, C.M., 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia* 41, 87–112.

Edberg, N., Hofsten, B. V., Volume 7, Issue 9, September 1973, Pages 1285-1286, IN1, 1287-1294, Oxygen uptake of bottom sediments studied in situ and in the laboratory.

Innamorati, M., 1998. La laguna di Orbetello: risanamento e gestione conservativa. *Biol. Mar. Medit.* 5, 1352–1361.

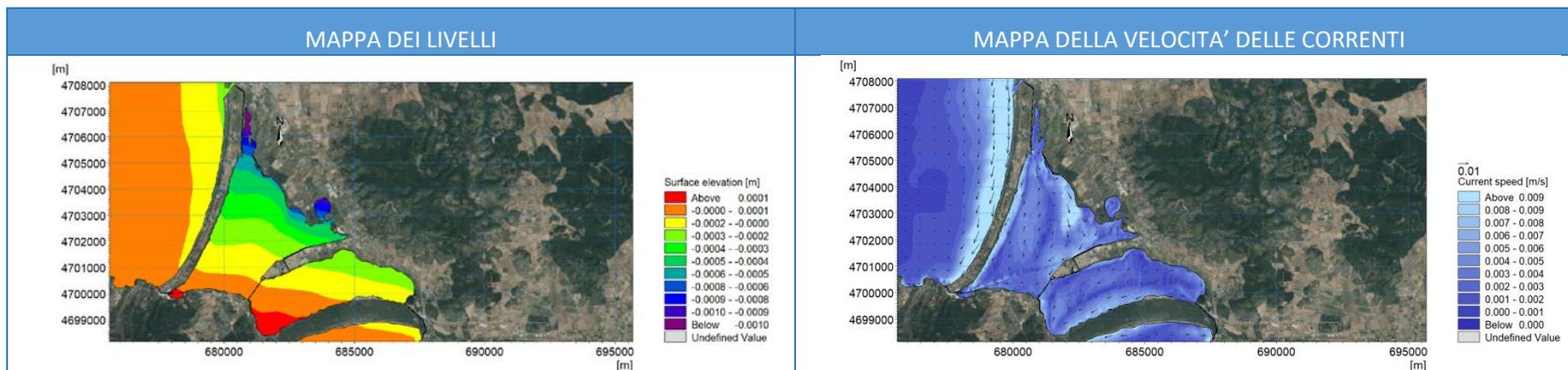
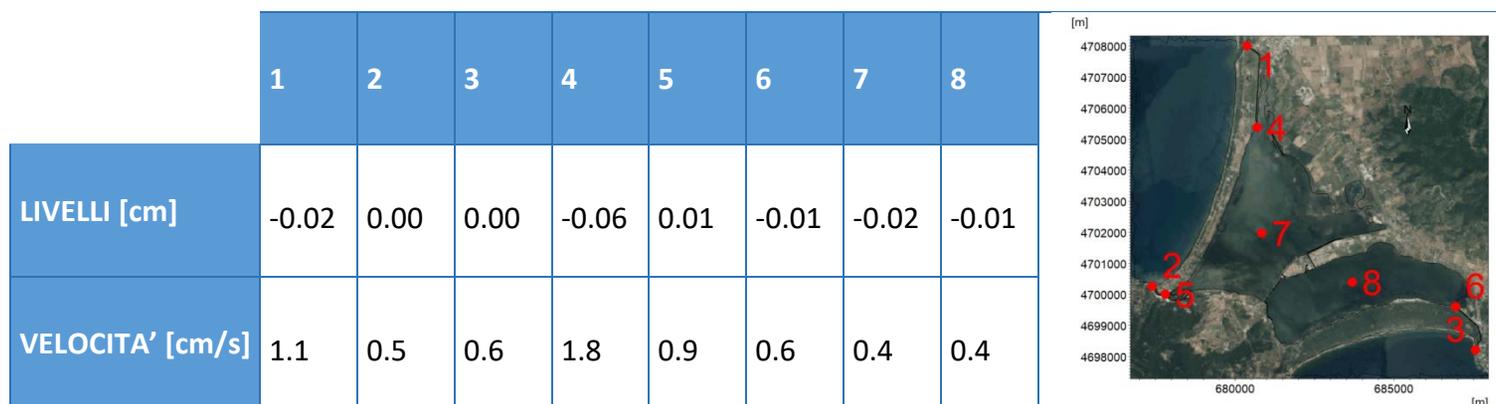
- Izzo G., Risanamento ambientale della Laguna di Orbetello: il ruolo dell'attività microbica dei sedimenti nella distrofia della Laguna di Orbetello, ENEA/RT/PAS/88/12, 1988.
- Izzo, G., Hull, V., 1991. The anoxic crises in dystrophic processes of coastal lagoons: an energetic explanation. In: Rossi, C., Tiezzi, E. (Eds.), *Ecological Physical Chemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 559–572.
- Lenzi M., Palimieri R., Porrello S. (2003). Restoration of the eutrophic Orbetello lagoon (Tyrrhenian Sea, Italy): water quality management. *Marine Pollution Bulletin* 46 (2003) 1540–1548.
- Lenzi, M., 1992. Experiences for the management of Orbetello Lagoon: eutrophication and fishing. In: Vollenweider, R.A., Marchetti, R., Viviani, R. (Eds.), *Marine Coastal Eutrophication*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1189–1198.
- Lenzi, M., Angelini, M., 1984. Indagine sulle condizioni ambientali della laguna di Orbetello. Chimico-fisica e carica microfitica. *Atti Mus. Civ. Stor. Nat. Livorno* 10, 3–17.
- Ludovico A., La laguna di Orbetello. Studi, ricerche, criteri e modalità di intervento in quattro anni di gestione commissariale 2003 – 2006, 2006, Commissario Delegato al Risanamento Ambientale della Laguna di Orbetello.
- Lu Yao, Xiaoliang Jiang, Chengrong Chen, Guihua Liu, Wenzhi Liu, 2016. Within-lake variability and environmental controls of sediment denitrification and associated N₂O production in a shallow eutrophic lake. *Ecological Engineering* 97, 251–257.
- Mann, K.H., 1988. Production and use of detritus in various freshwater, estuarine and coastal marine ecosystems. *Limnol. Oceanogr.* 33, 910–930.
- Marchetto A, Arisci S, Tartari GA, Balestrini R, Tait D, 2014. Stato ed evoluzione temporale della composizione chimica delle deposizioni atmosferiche nelle aree forestali della rete CONECOFOR.
- Markaki, Loÿe-Pilot, Violaki, Benyahya, Mihalopoulos, 2010. Variability of atmospheric deposition of dissolved nitrogen and phosphorus in the Mediterranean and possible link to the anomalous seawater N/P ratio.
- McCrackin, M.L., Elser, J.J., 2010. Atmospheric nitrogen deposition influences denitrification and nitrous oxide production in lakes. *Ecology* 91, 529–539.

- Md. Shahidul Islam, 2005. Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Marine Pollution Bulletin* 50 (2005) 48–61.
- R. Roffilli, M. Lenzi, Valutazione di Incidenza Ambientale dell'azienda Orbetello Pesca Lagunare, 2016.
- Rissanen, A.J., Tiirola, M., Hietanen, S., Ojala, A., 2013. Interlake variation and environmental controls of denitrification across different geographical scales. *Aquat. Microb. Ecol.* 69, 1–16.
- Santamaria, L., Hootsmans, M.J.M., 1998. The effect of temperature on the photosynthesis growth end reproduction of a Mediterranean submerged macrophyte, *Ruppia drepanensis*. *Aquat. Bot.* 60, 169–188.
- Saroglia, M., Mazzatura, A., Ingle, E. (1990) - Impatto dell'acquacoltura sull'ambiente acquatico. Approccio allo studio. Quaderni ICRAP, Acquacoltura, 2: 41-49.
- Sorce C., Persiano Leporatti M., Lenzi M. (2017), Growth and physiological features of *Chaetomorpha linum* (Müller) Kütz. in high density mats, *Marine Pollution Bulletin*.
- Sorokin, Y.I., Sorokin, P., Giovanardi, O., Dalla Venezia, L., 1996. Study of ecosystem of the Lagoon of Venice, with emphasis on anthropogenic impact. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 141, 247–261.
- Studio Tecnico Associato STALF, Valutazione di Incidenza Ambientale dell'azienda Il Vigneto, 2016.
- Studio Tecnico Associato STALF, Valutazione di Incidenza Ambientale dell'azienda La Rosa, 2015.
- Studio Tecnico Associato STALF, Valutazione di Incidenza Ambientale dell'azienda Ittima, 2016.
- TEI Ingegneria dell'Ambiente SpA, 1989. Intervento globale di risanamento delle lagune di Orbetello dal fenomeno dell'eutrofizzazione del corpo idrico. Rapporto Finale.
- Tomascik, K., Sander, F. (1985) - Effects of eutrophication on reef buildings corals growth rate and reef building coral *Montastrea annularis*. *Marine Biology*, 87: 143-155.
- Valiela, I., 1995. *Marine Ecological Processes*. Springer, New York, 686 p.

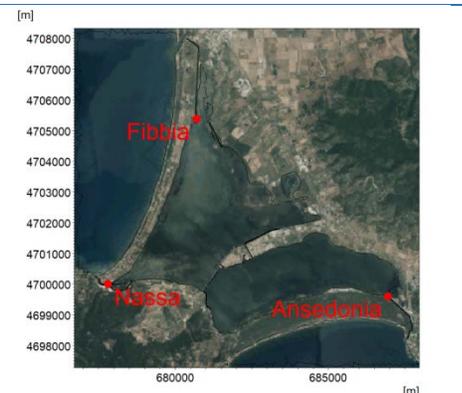
Zhao, J.W., Zhu, D.W., Fan, J.N., Hua, Y.M., Zhou, W.B., 2015. Seasonal variation of anammox and denitrification in sediments of two eutrophic urban lakes. *Pol. J. Environ. Stud.* 24, 2779–2783.

ALLEGATO A – Schede di scenari tipici della laguna di Orbetello nella condizione attuale

ALLEGATO A1 - RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 1M/S PROVENIENTE DA 15°N



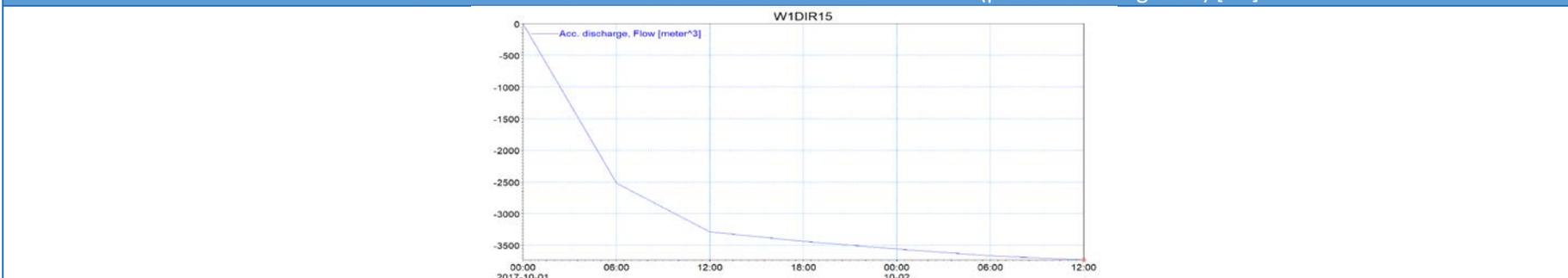
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-0.20	0.48	-0.29



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

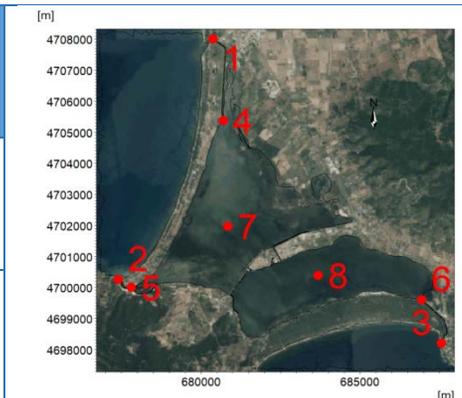
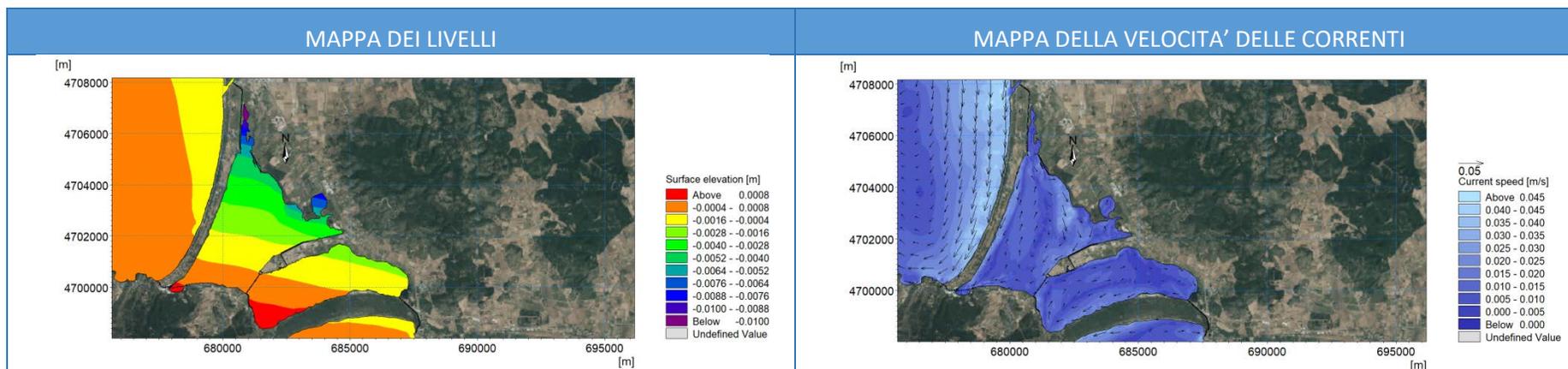


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

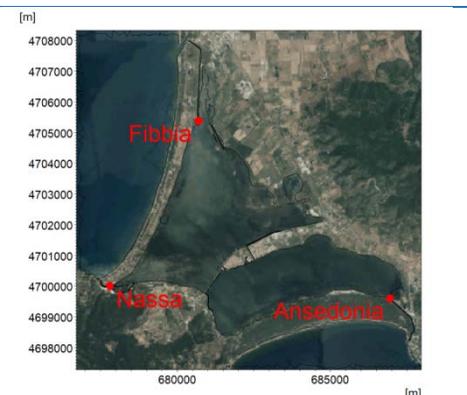


ALLEGATO A2 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 3M/S PROVENIENTE DA 15°N

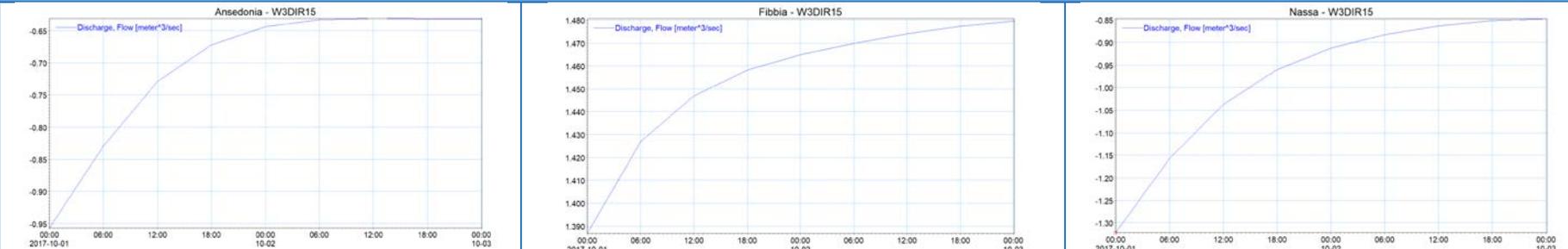
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.16	0.02	-0.04	-0.55	0.09	-0.07	-0.15	-0.07
VELOCITA' [cm/s]	3.3	1.6	2.1	5.5	2.7	2.1	1.2	1.0

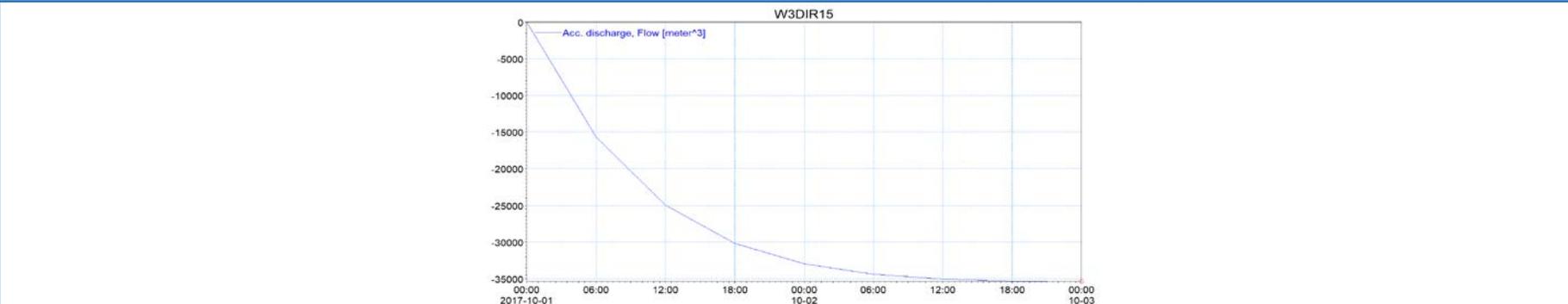
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-0.63	1.48	-0.85



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

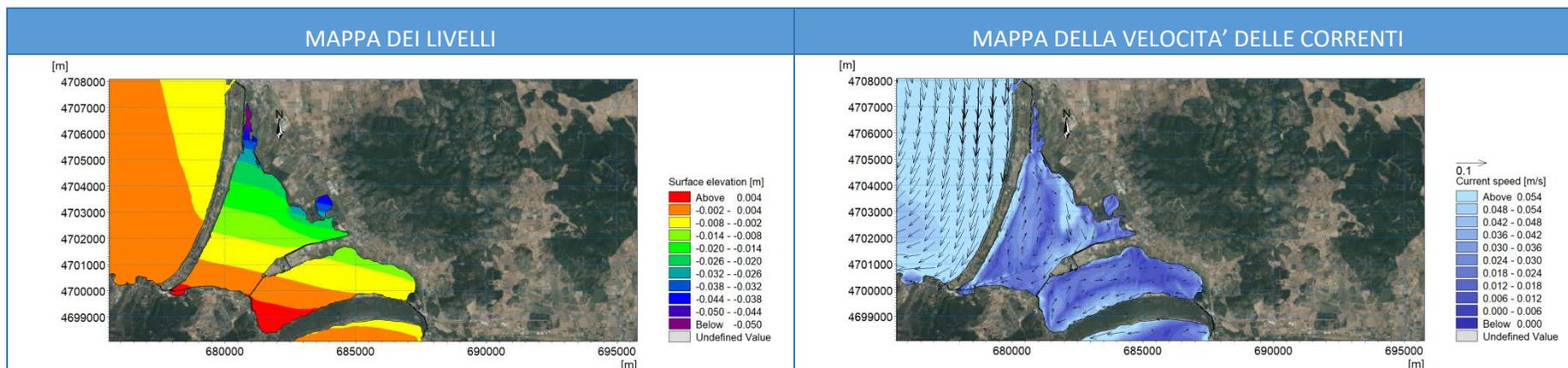


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

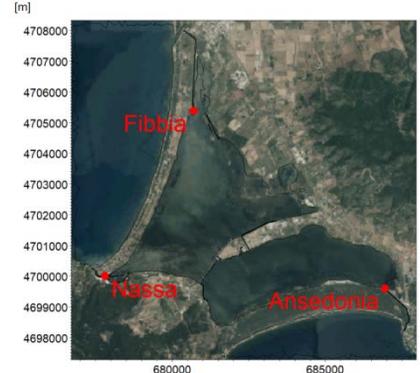


ALLEGATO A3 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 7M/S PROVENIENTE DA 15°N

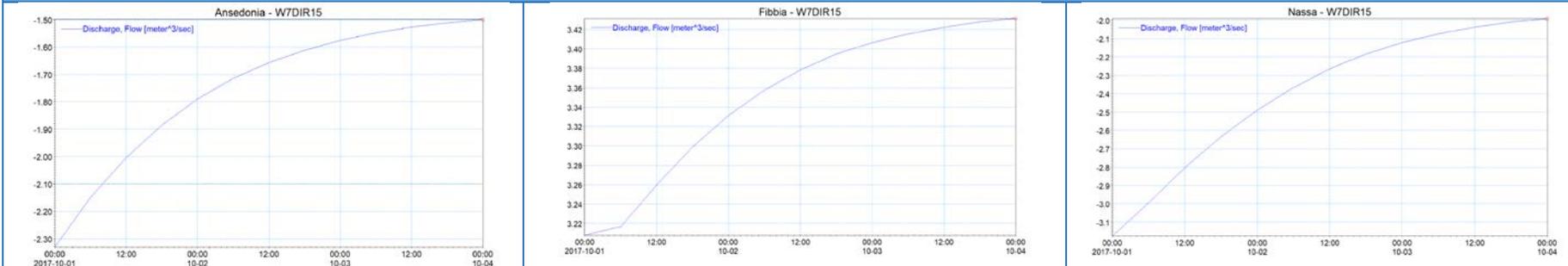
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.70	0.14	-0.16	-2.96	0.55	-0.30	-0.81	-0.35
VELOCITA' [cm/s]	7.8	3.7	4.9	12.9	6.3	5.0	2.7	2.4

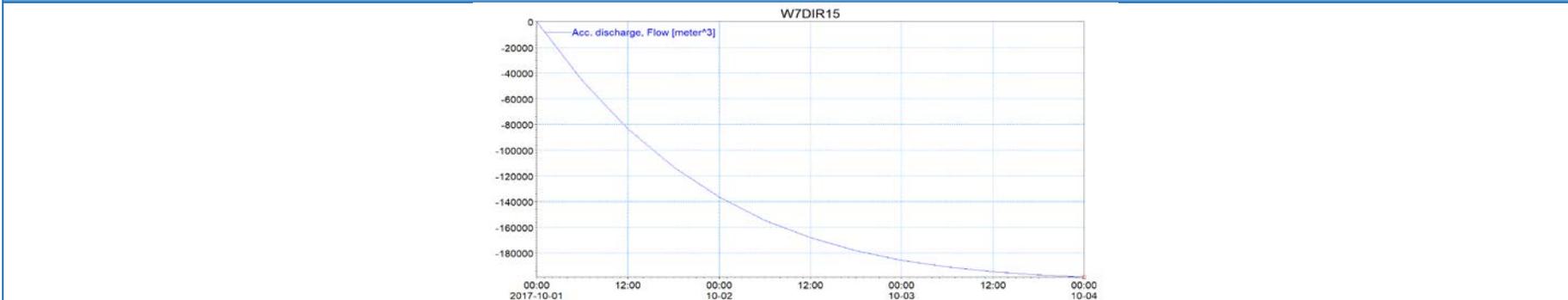
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-1.50	3.43	-1.99



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

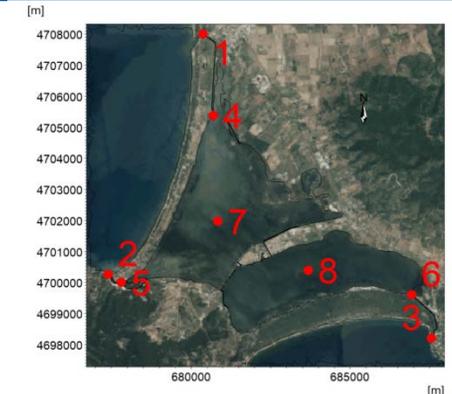
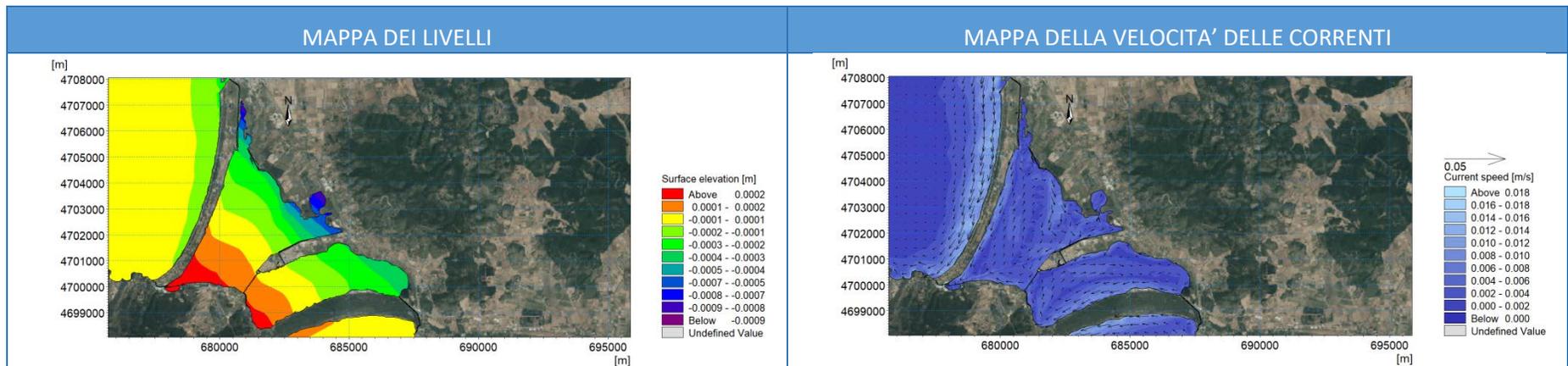


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A4 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 1M/S PROVENIENTE DA 45°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.02	0.00	0.00	-0.03	0.03	-0.03	0.00	-0.01
VELOCITA' [cm/s]	0.7	1.0	0.9	1.1	2.0	1.1	0.4	0.5

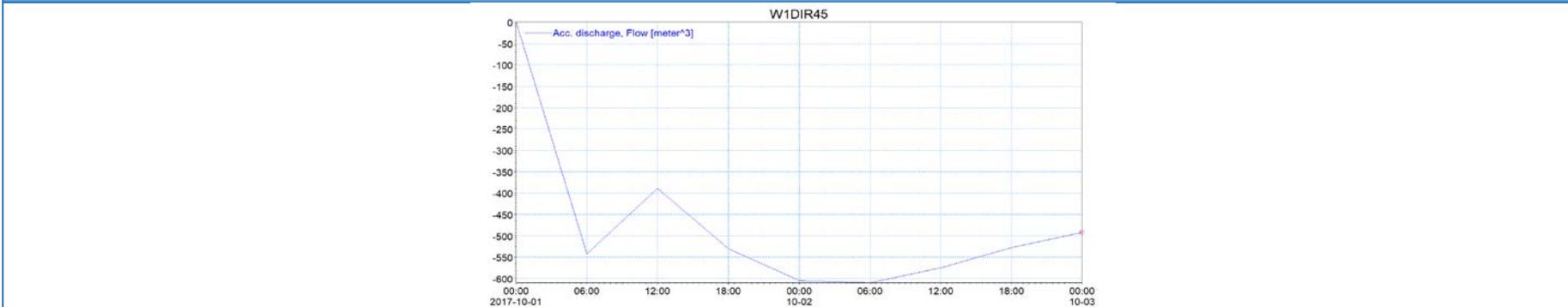
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	0.33	0.30	-0.63



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

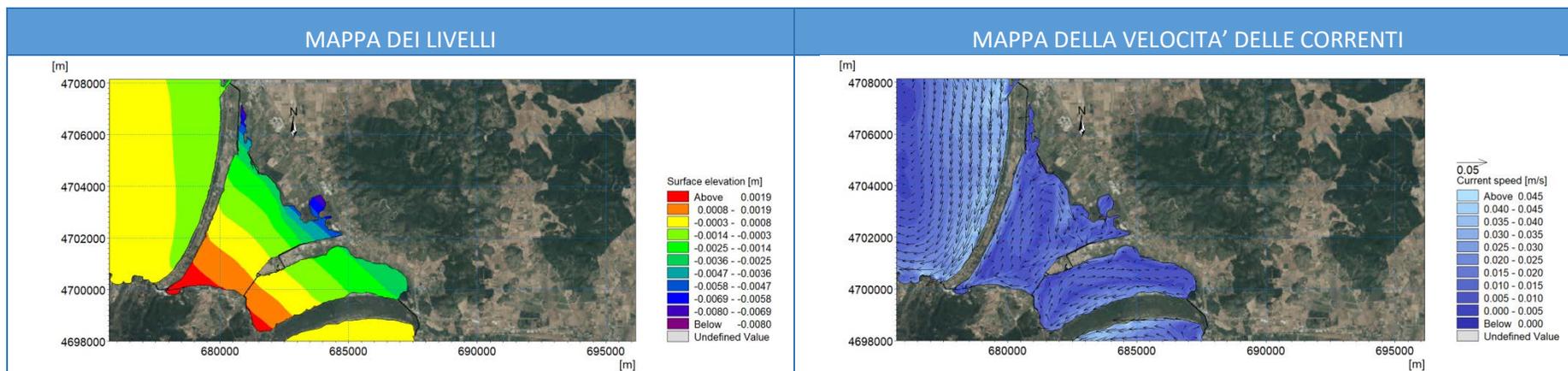
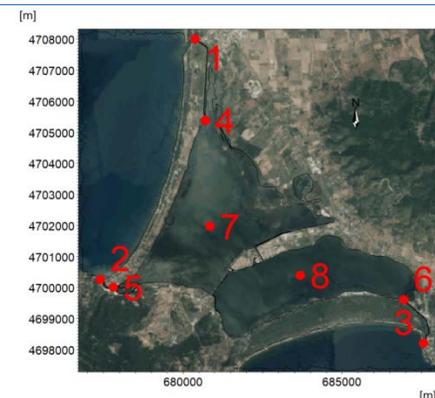


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A5 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 3M/S PROVENIENTE DA 45°N

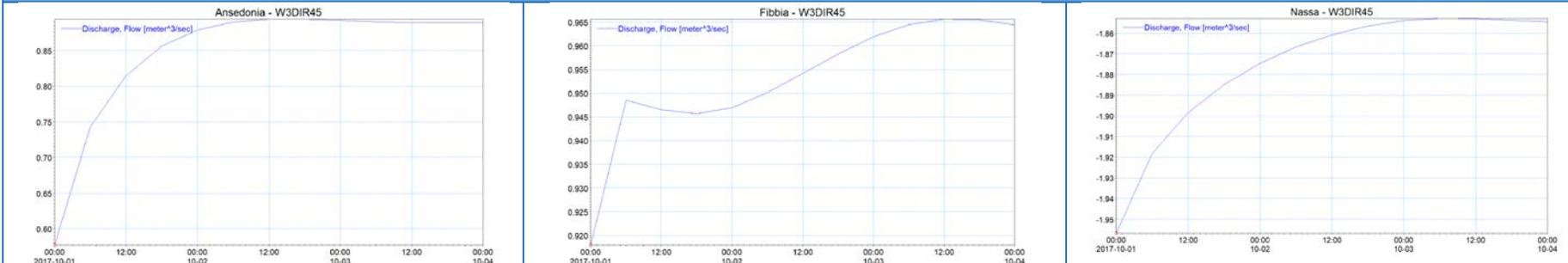
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.17	0.00	-0.01	-0.28	0.27	-0.25	0.00	-0.08
VELOCITA' [cm/s]	2.2	3.1	2.4	3.6	6.0	2.9	1.1	1.3



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	0.89	0.96	-1.85



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

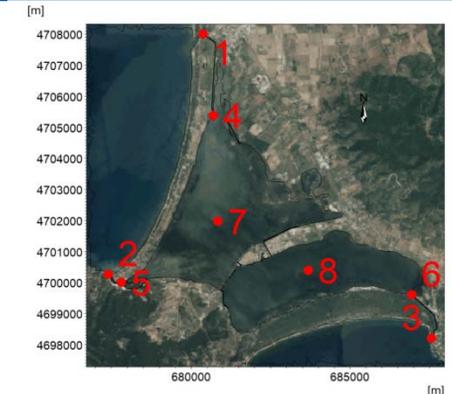


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

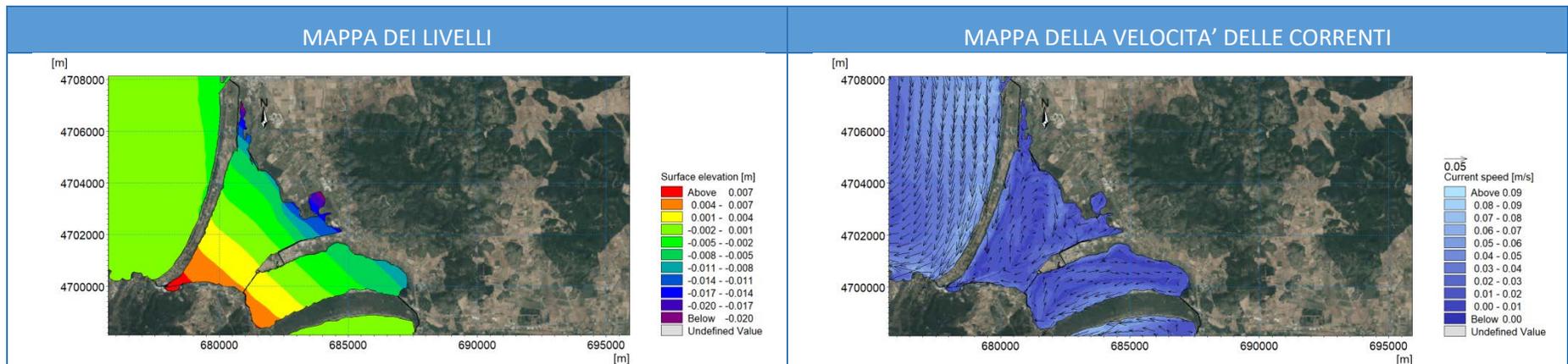


ALLEGATO A6 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 5M/S PROVENIENTE DA 45°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.44	0.03	-0.05	-0.76	0.77	-0.68	0.01	-0.23
VELOCITA' [cm/s]	3.8	5.1	3.8	6.0	9.8	4.7	1.9	2.2



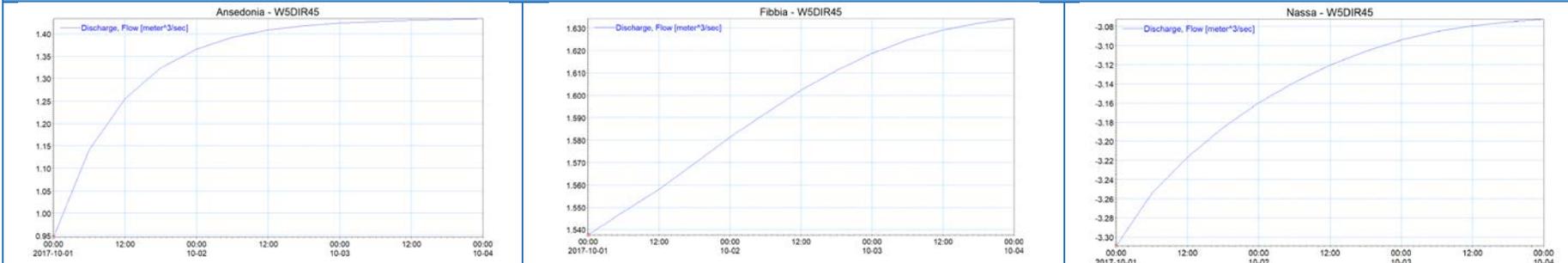
[m]
 4708000
 4707000
 4706000
 4705000
 4704000
 4703000
 4702000
 4701000
 4700000
 4699000
 4698000
 680000 685000 [m]



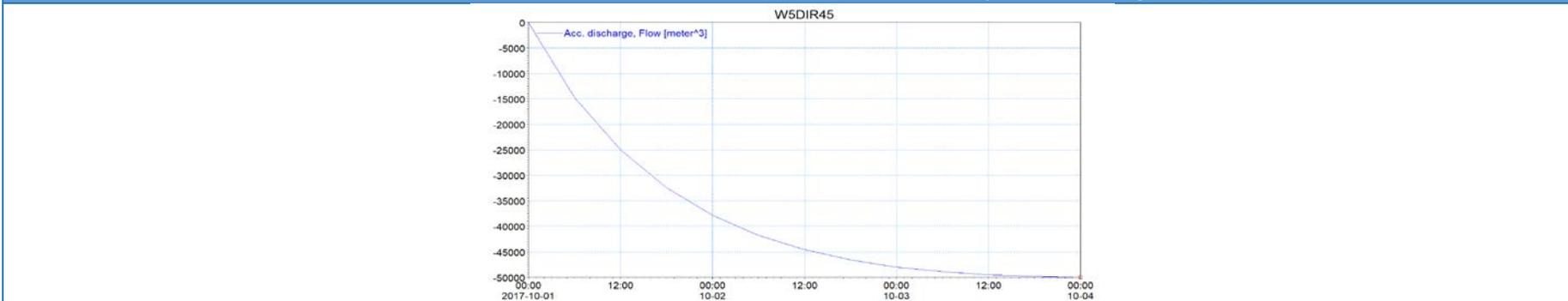
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	1.43	1.63	-3.07



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

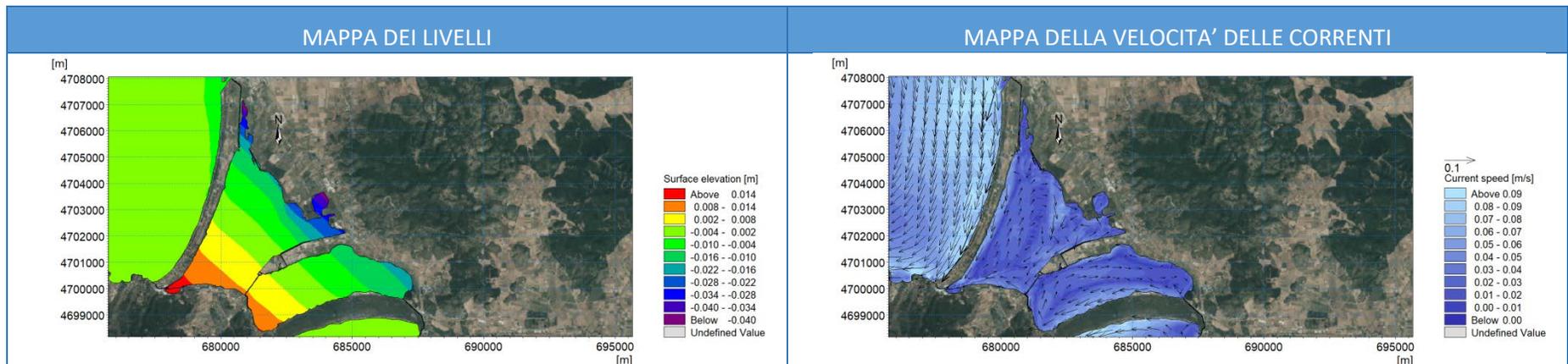


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

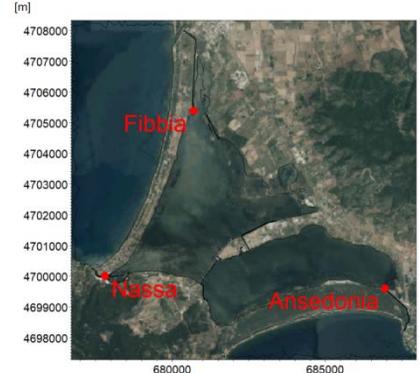


ALLEGATO A7 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 7M/S PROVENIENTE DA 45°N

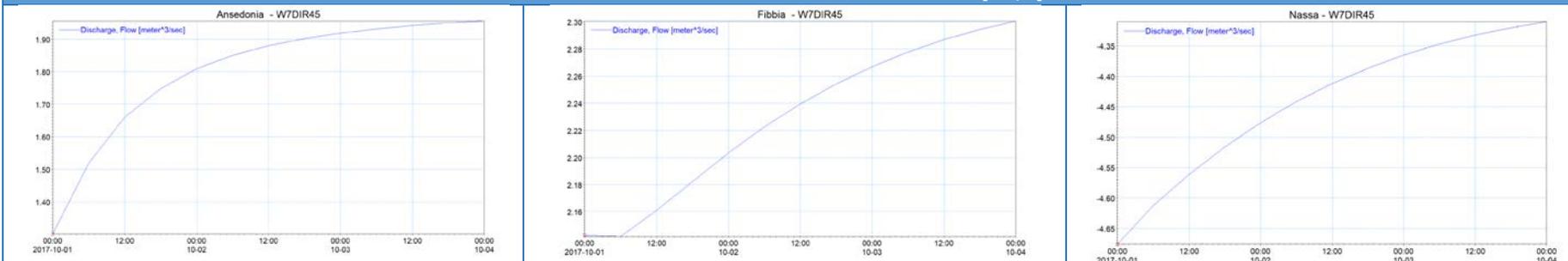
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.80	0.09	-0.11	-1.49	1.51	-1.33	0.02	-0.45
VELOCITA' [cm/s]	5.3	7.1	5.2	8.6	13.7	6.4	2.6	3.1

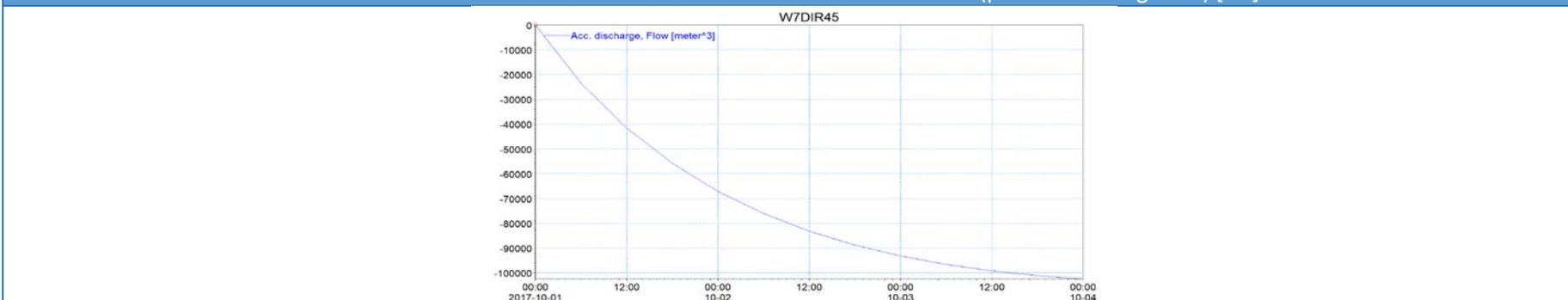
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	1.96	2.30	-4.31



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

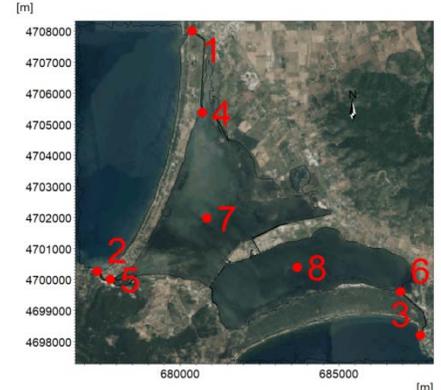
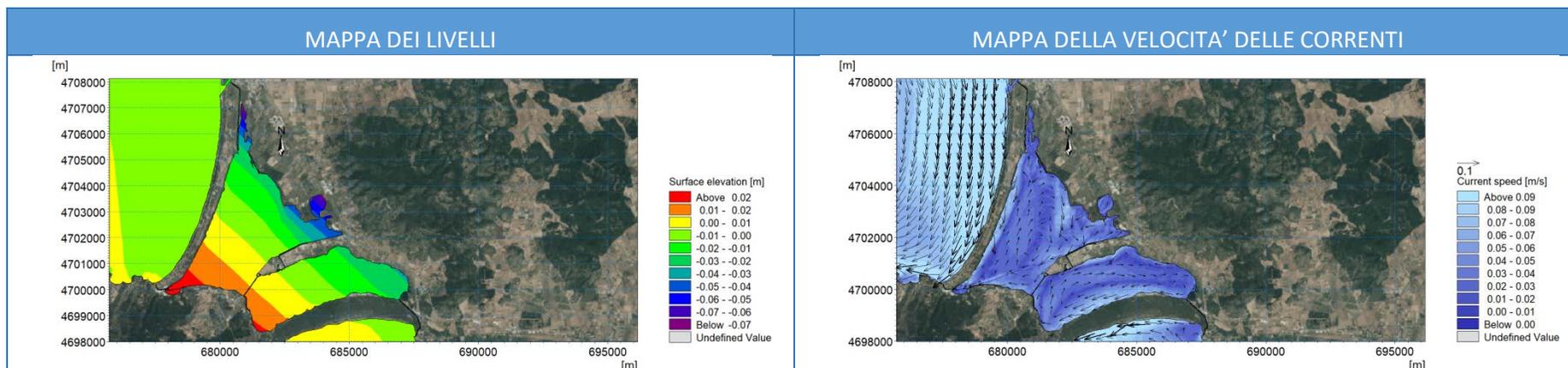


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A8 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 9M/S PROVENIENTE DA 45°N

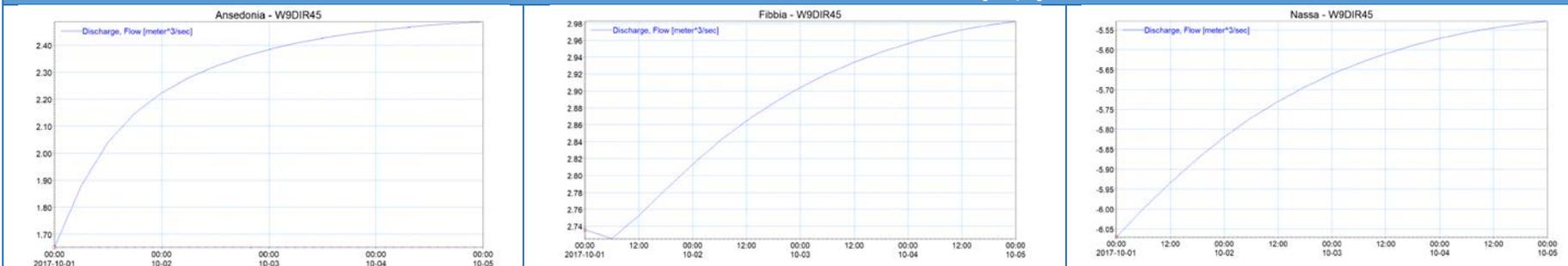
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-1.24	0.20	-0.21	-2.47	2.50	-2.21	0.01	-0.76
VELOCITA' [cm/s]	6.9	9.1	6.6	11.2	17.5	8.2	3.3	3.9

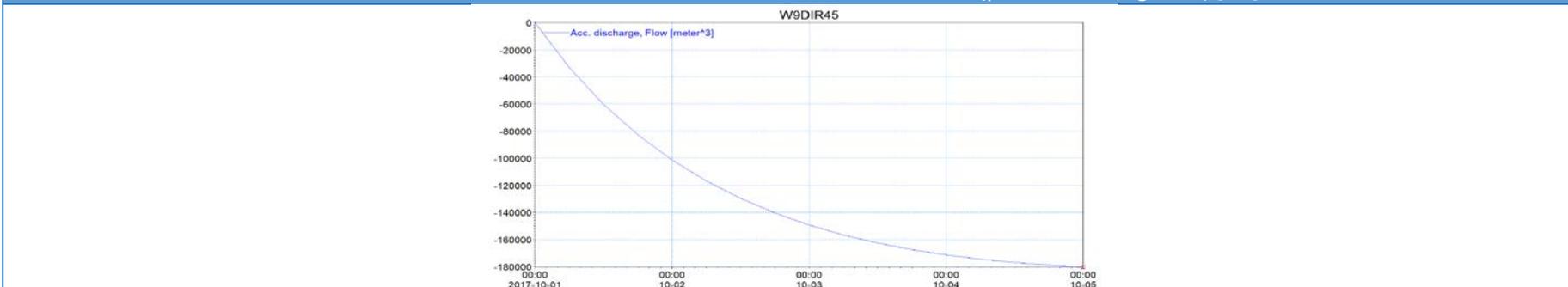
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	2.49	2.98	-5.53



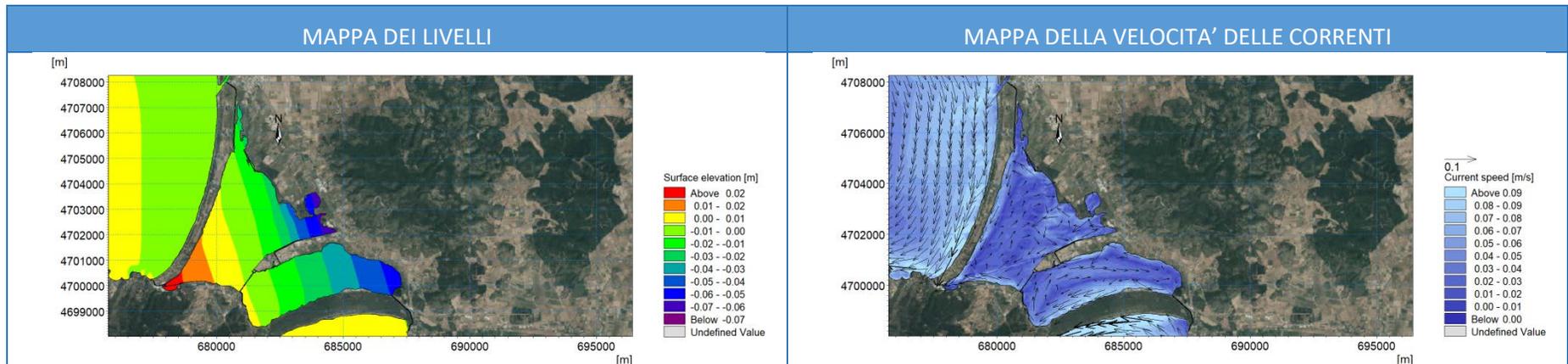
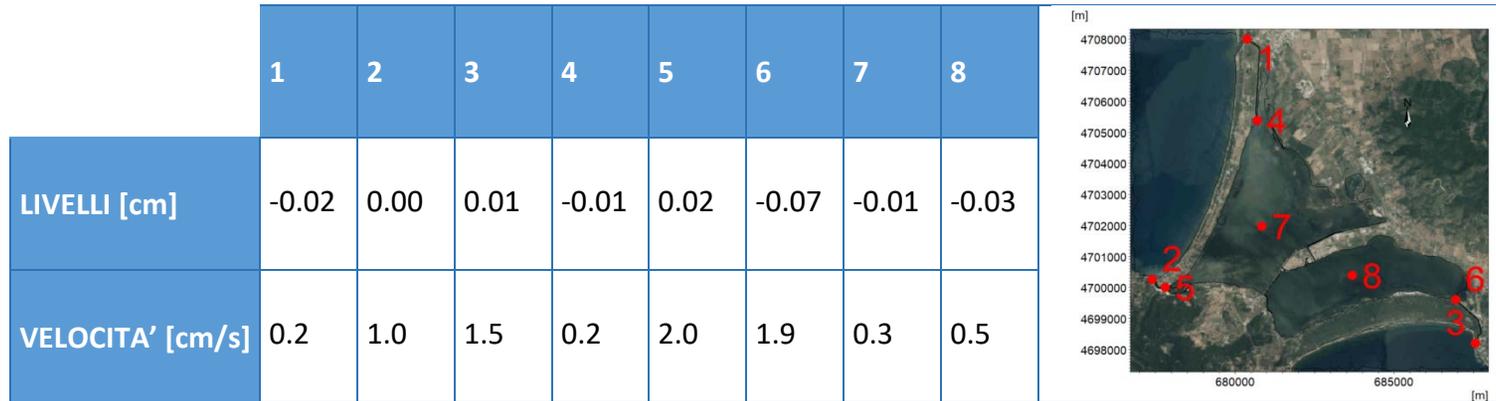
VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]



VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



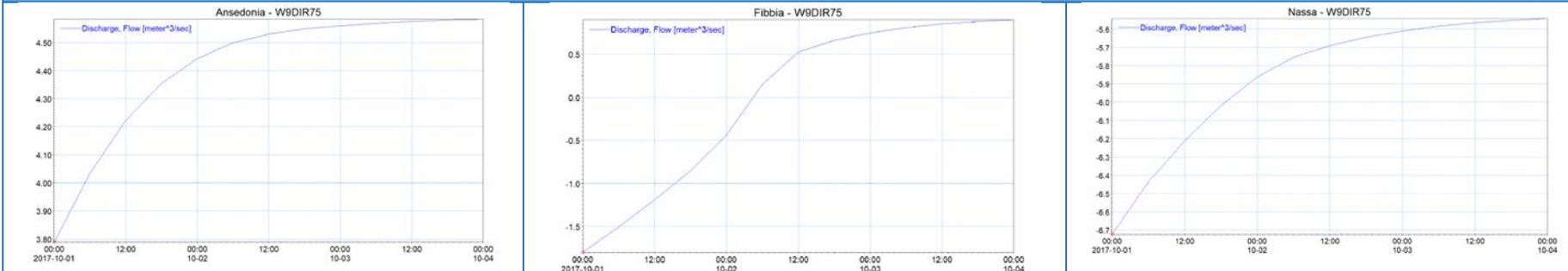
ALLEGATO A9 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 1M/S PROVENIENTE DA 75°N



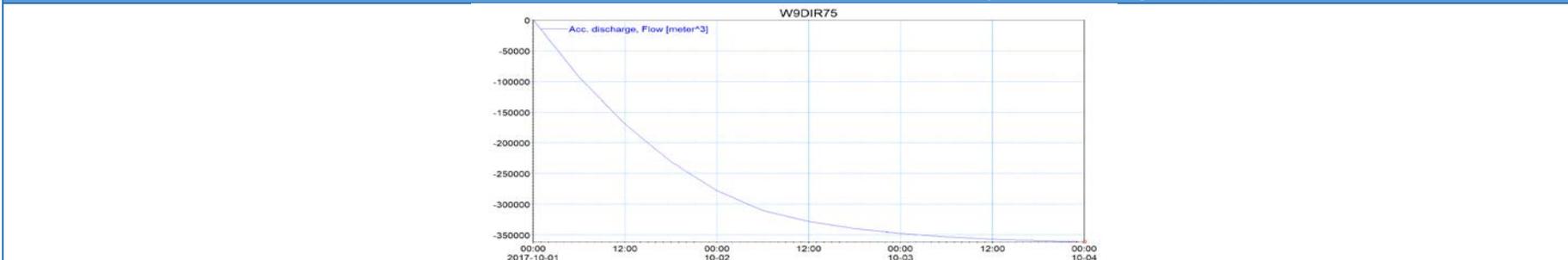
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	0.58	0.04	-0.61



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

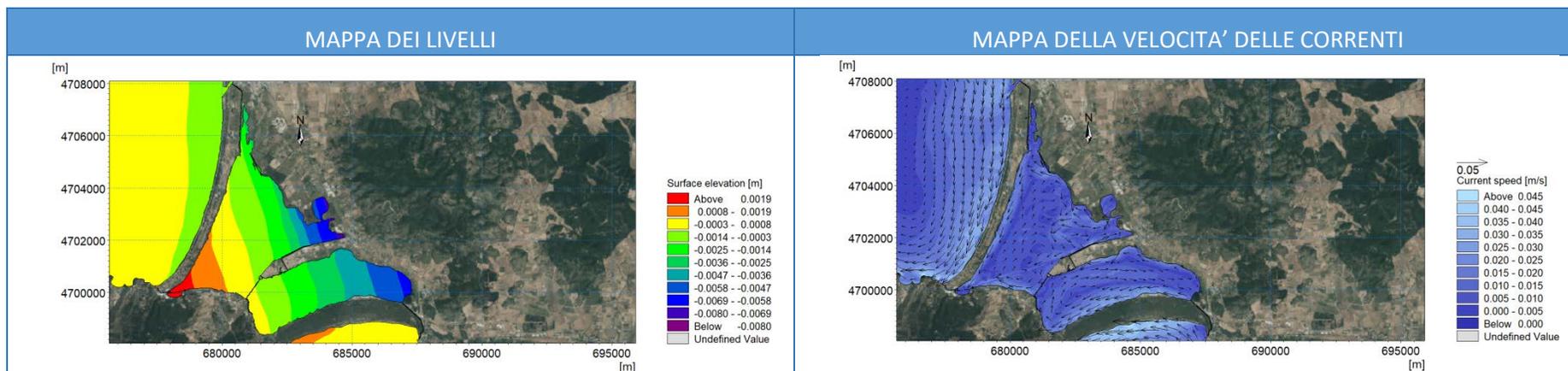
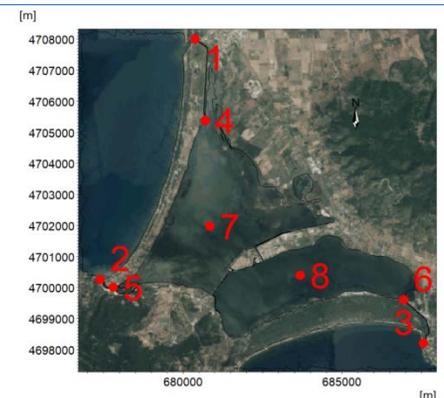


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A10 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 3M/S PROVENIENTE DA 75°N

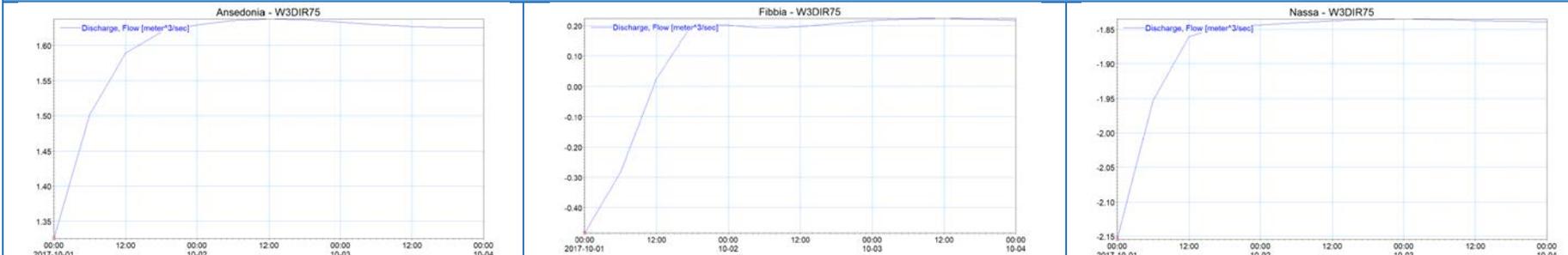
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.14	0.00	0.02	-0.11	0.24	-0.56	-0.03	-0.27
VELOCITA' [cm/s]	0.6	3.0	4.1	0.8	5.9	5.3	0.9	1.4



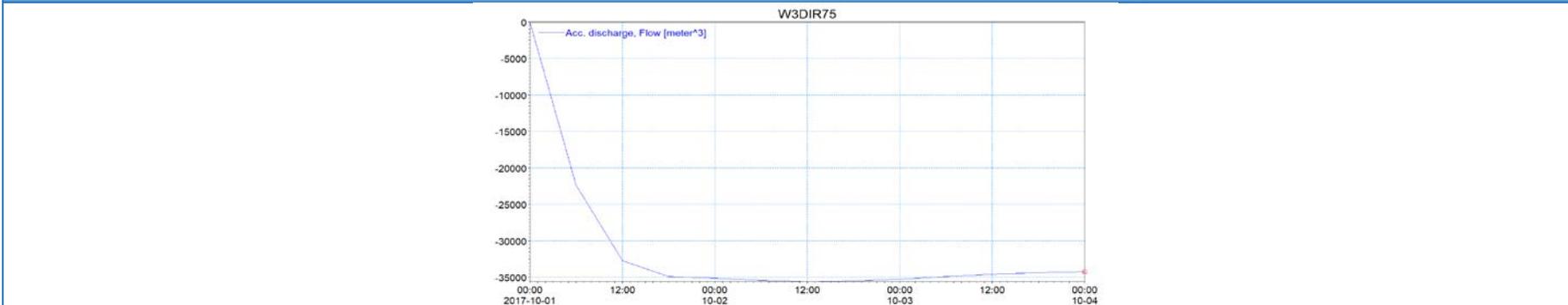
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	1.63	0.22	-1.84



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

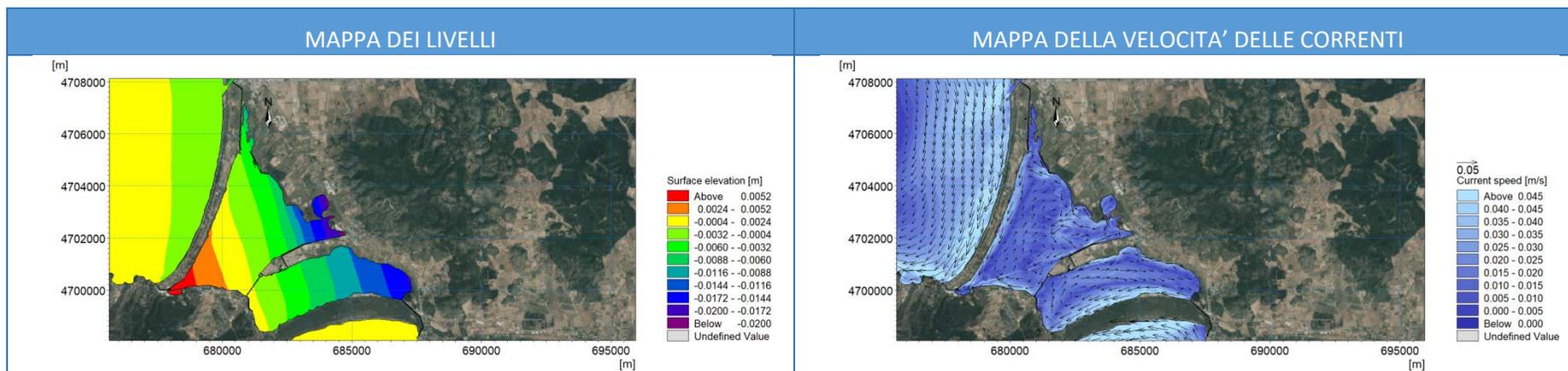
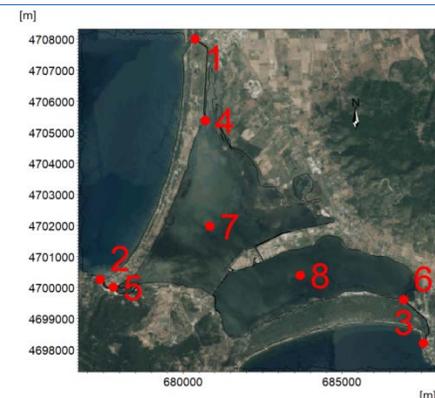


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A11 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 5M/S PROVENIENTE DA 75°N

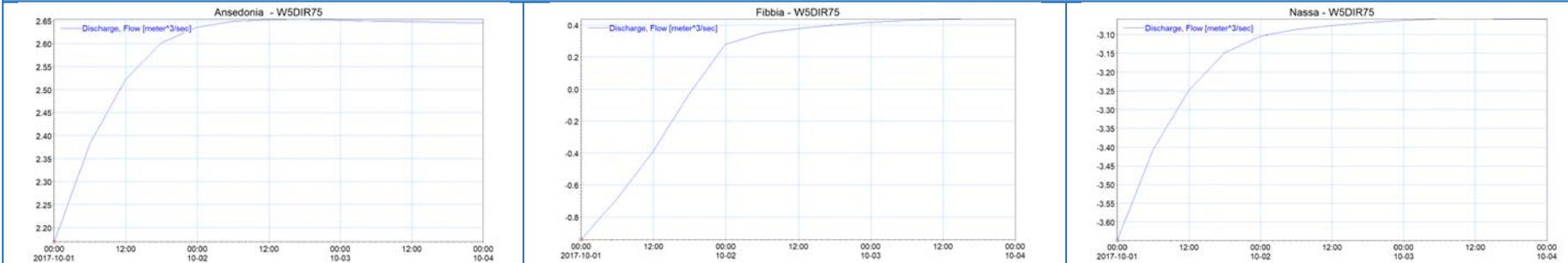
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.36	0.01	0.02	-0.30	0.67	-1.56	-0.08	-0.73
VELOCITA' [cm/s]	1.0	5.0	6.7	1.6	9.8	8.7	1.5	2.3



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	2.64	0.44	-3.06



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

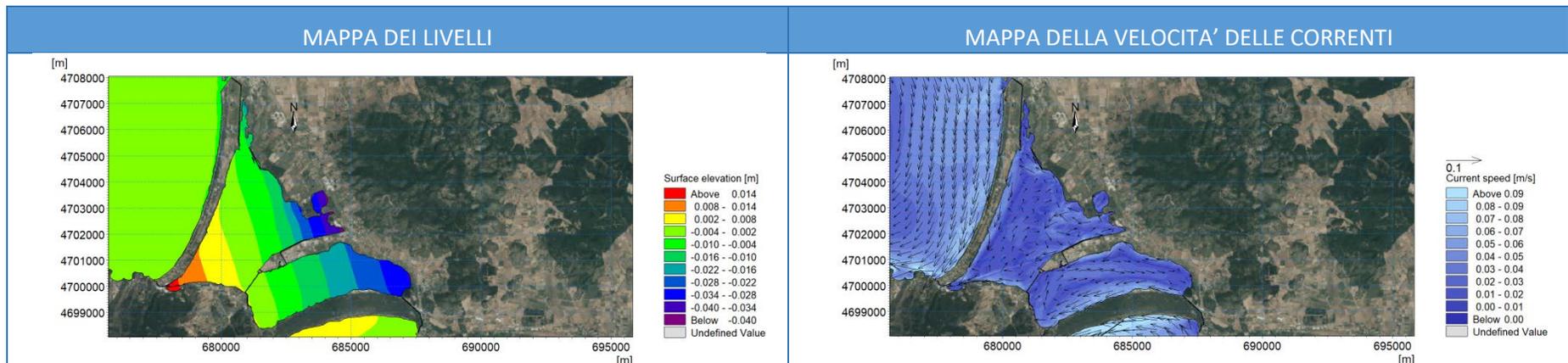
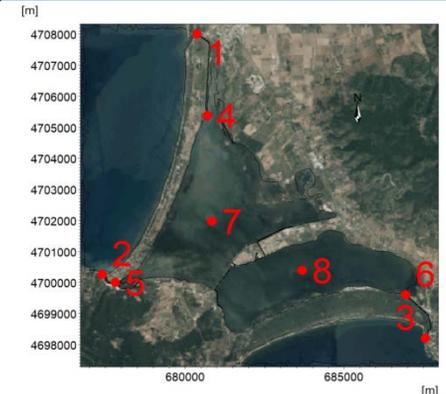


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A12 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 7M/S PROVENIENTE DA 75°N

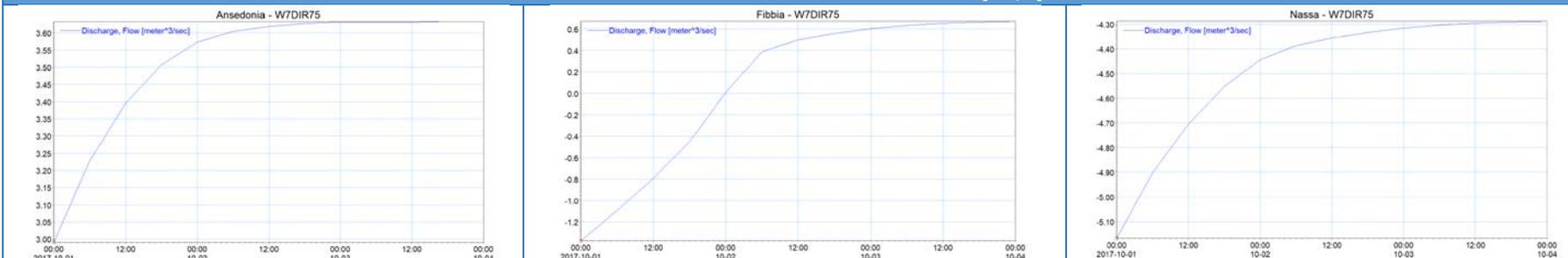
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.67	0.05	-0.02	-0.59	1.33	-3.06	-0.15	-1.43
VELOCITA' [cm/s]	1.6	7.0	9.2	2.5	13.7	12.0	2.2	3.3



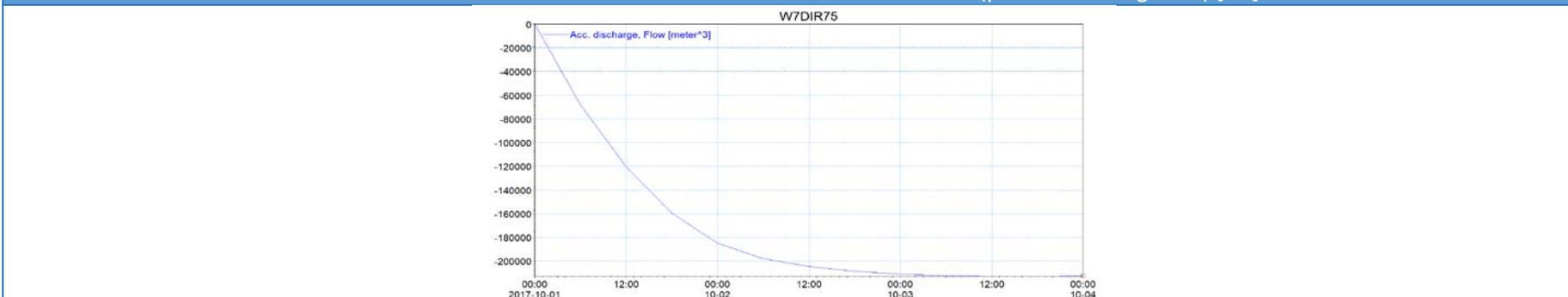
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	3.63	0.67	-4.29



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

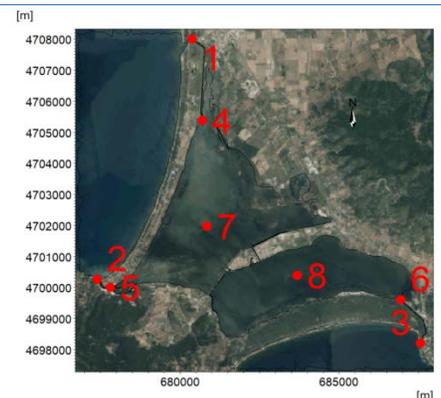
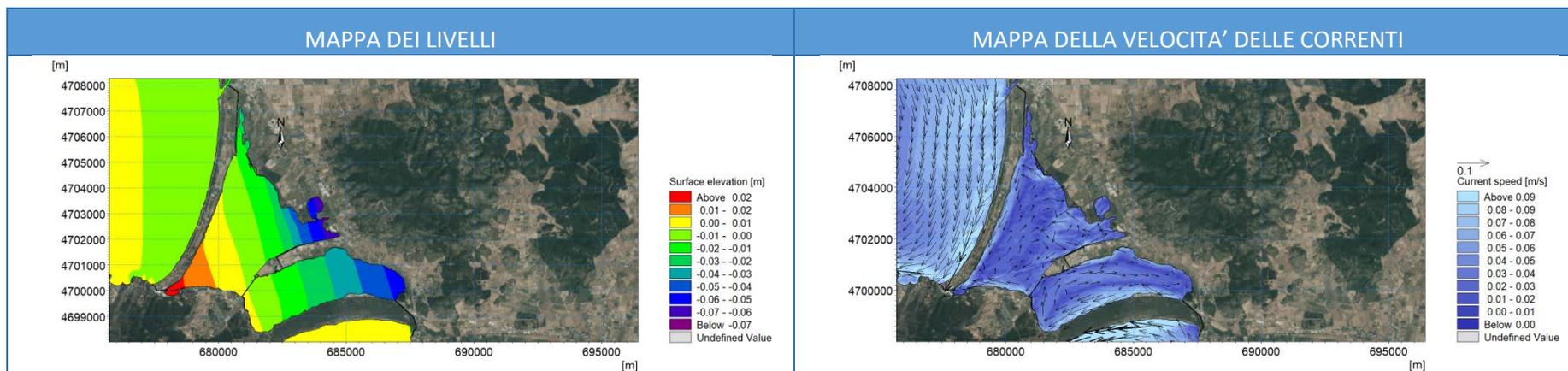


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A13 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 9M/S PROVENIENTE DA 75°N

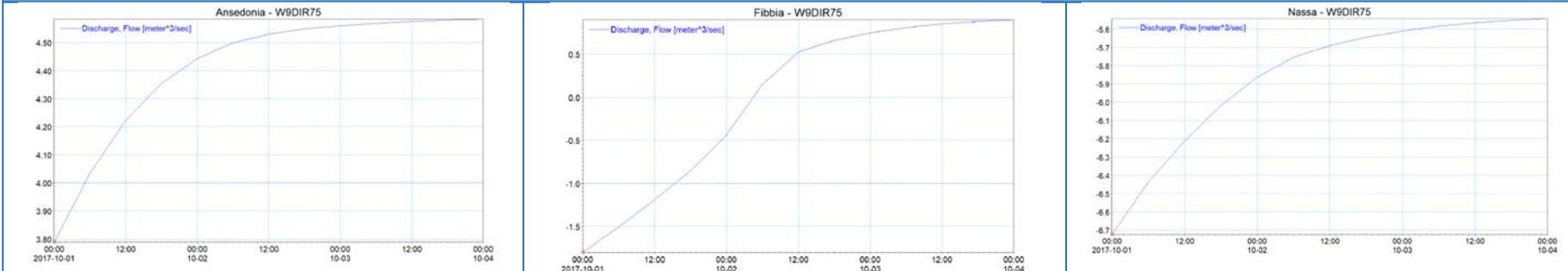
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-1.07	0.10	-0.09	-0.96	2.21	-5.07	-0.23	-2.36
VELOCITA' [cm/s]	2.1	9.1	11.7	3.3	17.5	15.4	2.8	4.2

	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	4.58	0.90	-5.54



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

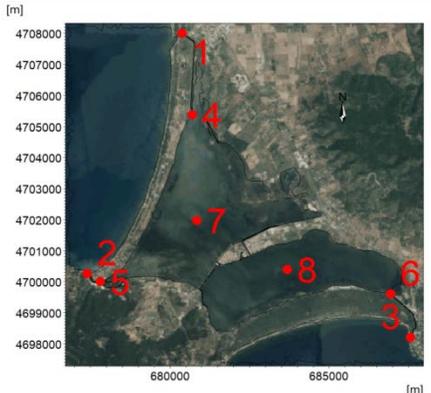


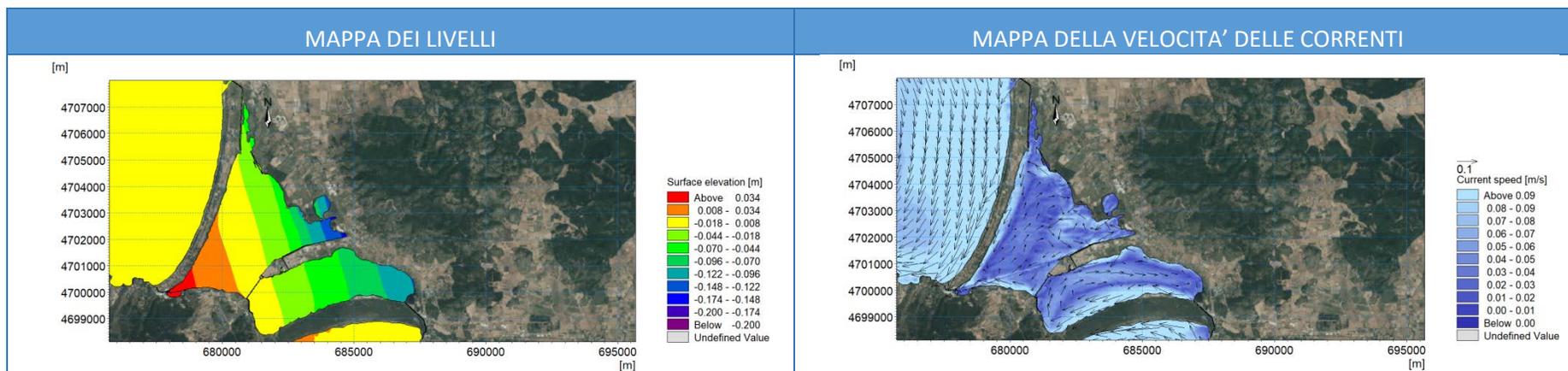
VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



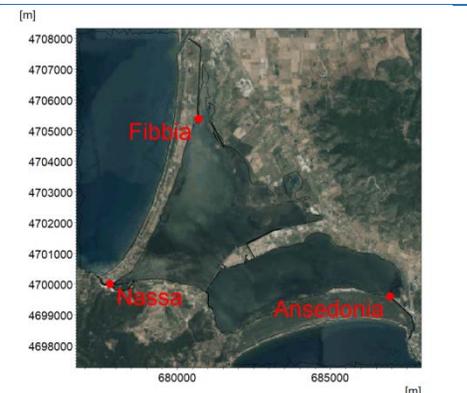
ALLEGATO A14 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 13M/S PROVENIENTE DA 75°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-2.14	0.28	-0.31	-2.13	4.52	-10.90	-0.62	-5.12
VELOCITA' [cm/s]	3.6	13.1	16.3	5.8	25.0	22.4	4.0	6.0

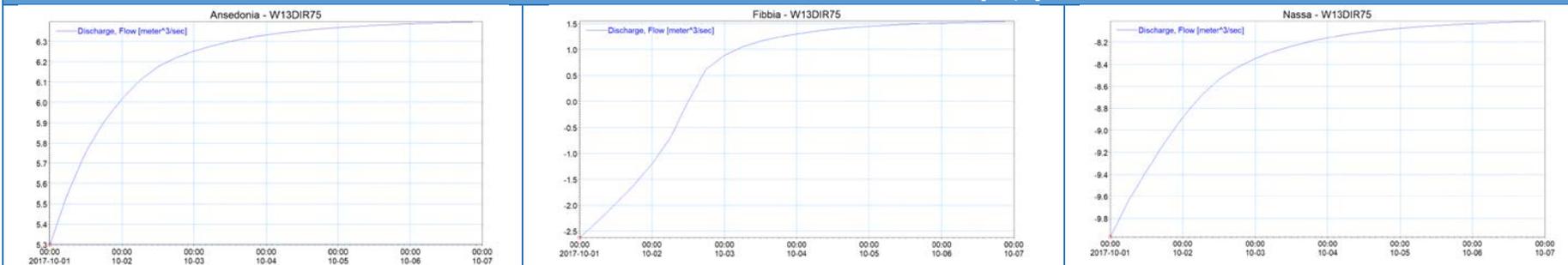




	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	6.40	1.55	-8.01



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

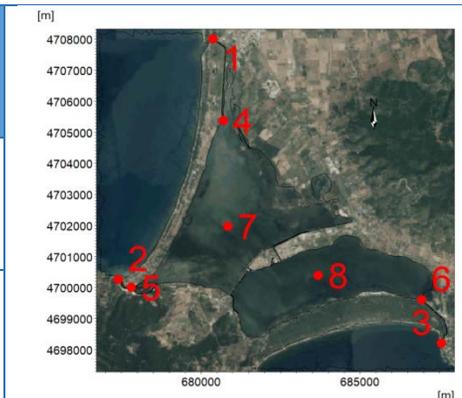
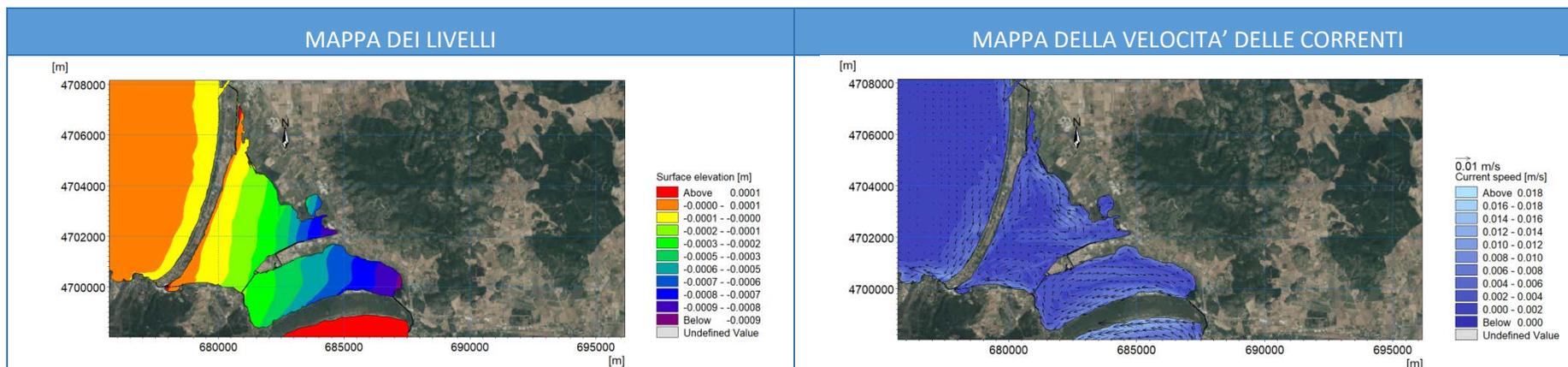


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A15 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 1M/S PROVENIENTE DA 105°N

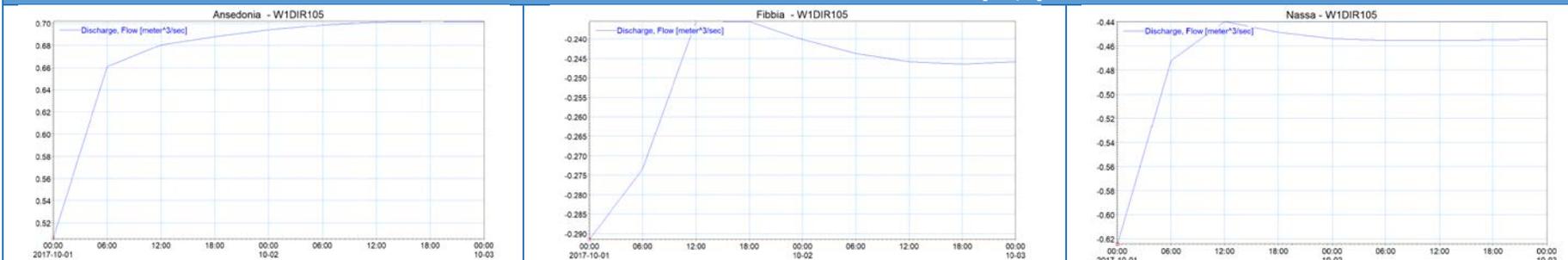
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	-0.09	-0.02	-0.05
VELOCITA' [cm/s]	0.5	0.7	1.8	0.9	1.5	2.3	0.2	0.4

	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	0.70	-0.25	-0.45



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

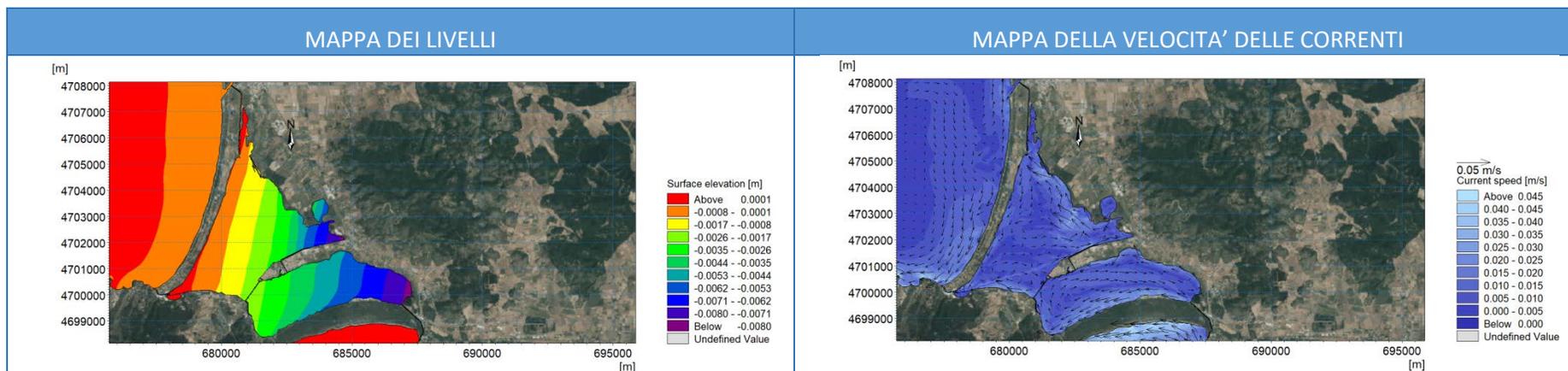
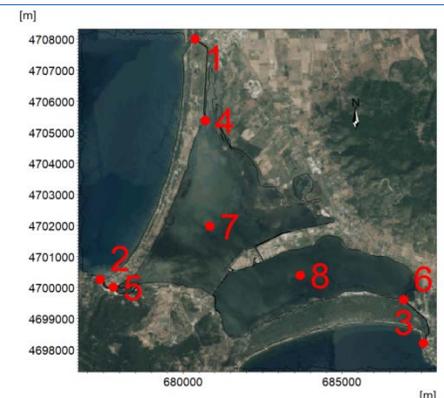


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

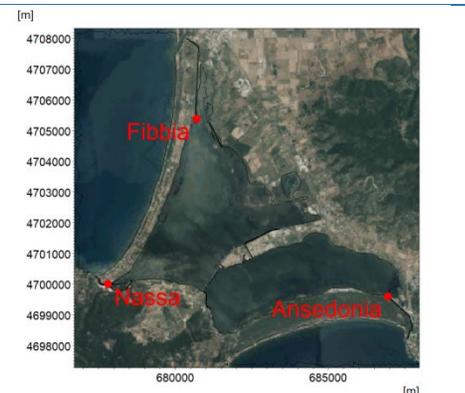


ALLEGATO A16 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 3M/S PROVENIENTE DA 105°N

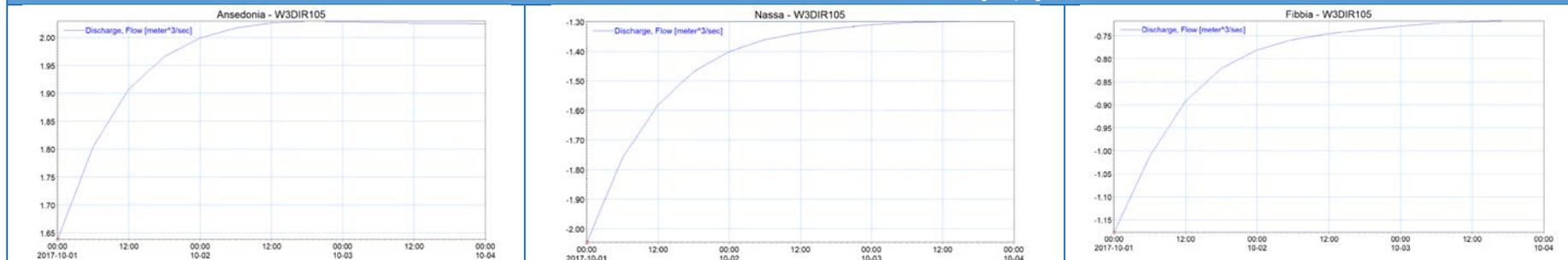
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.06	-0.01	0.04	-0.01	0.08	-0.81	-0.14	-0.45
VELOCITA' [cm/s]	1.5	2.1	5.2	2.7	4.2	6.6	0.7	1.3



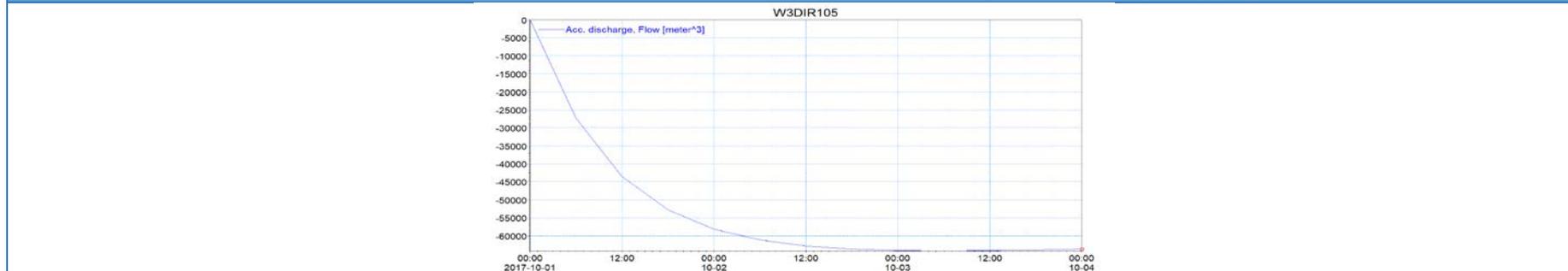
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	2.02	-0.72	-1.30



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

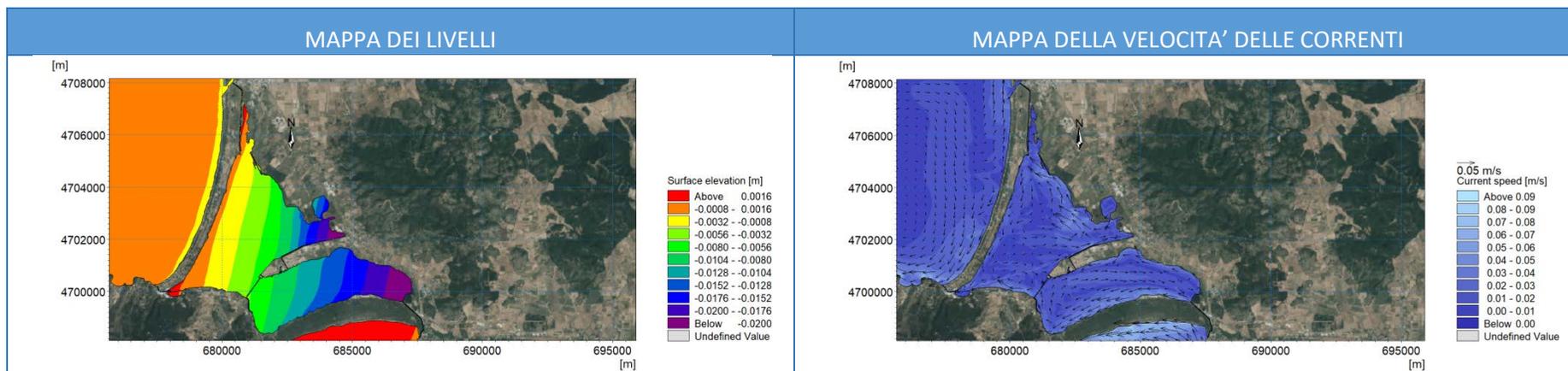
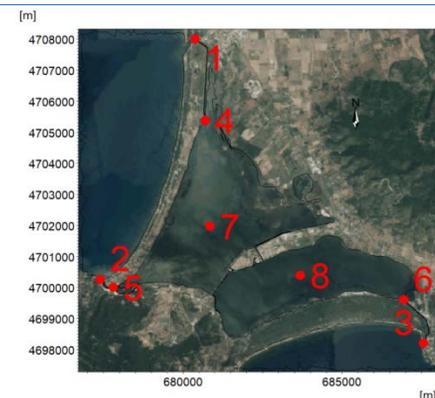


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

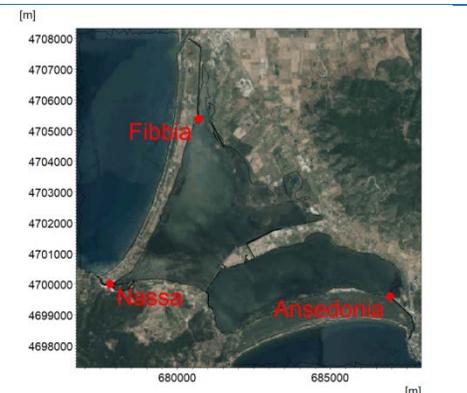


ALLEGATO A17 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 5M/S PROVENIENTE DA 105°N

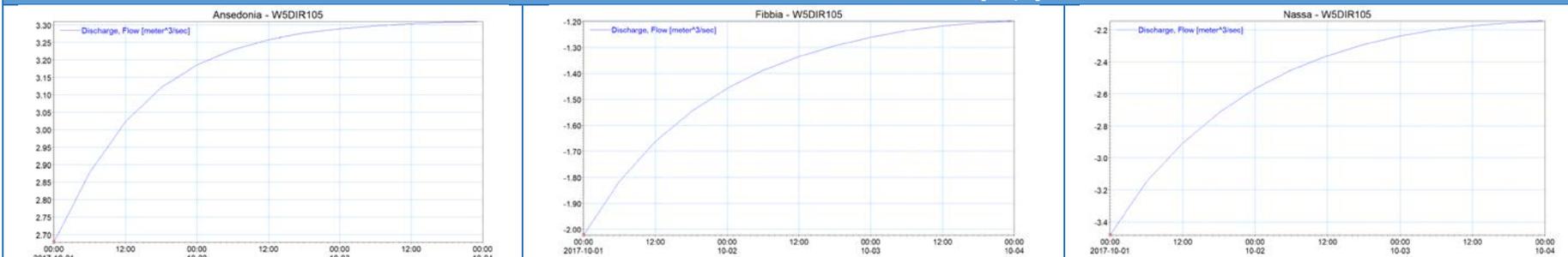
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.17	-0.02	0.07	-0.04	0.22	-2.25	-0.37	-1.26
VELOCITA' [cm/s]	2.6	3.5	8.5	4.6	6.8	10.9	1.2	2.2



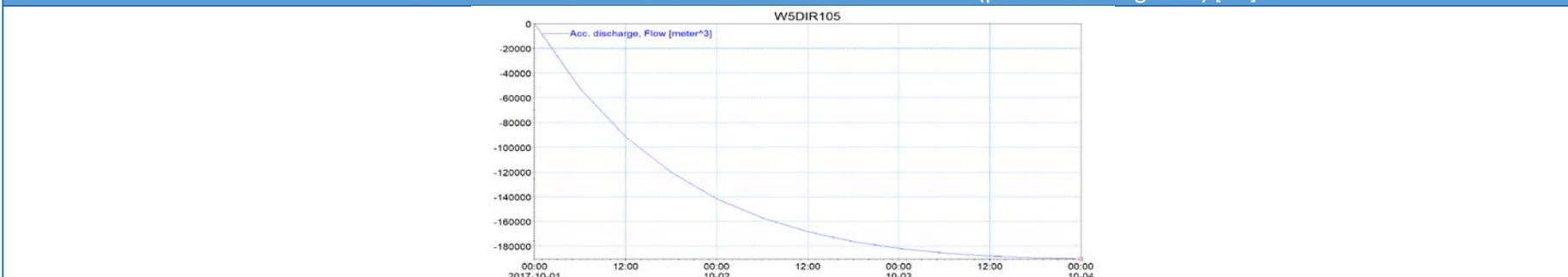
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	3.31	-1.20	-2.14



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

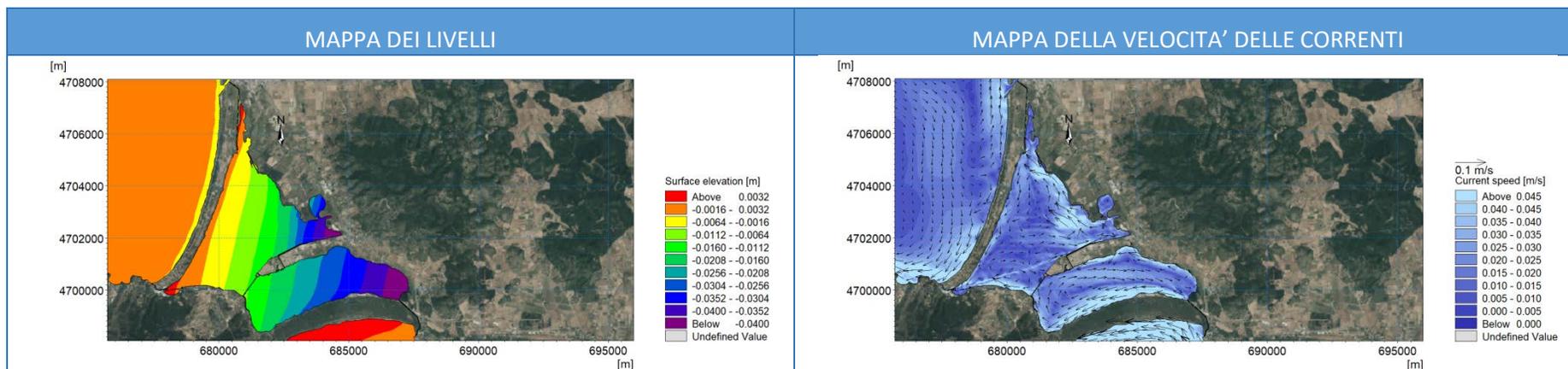
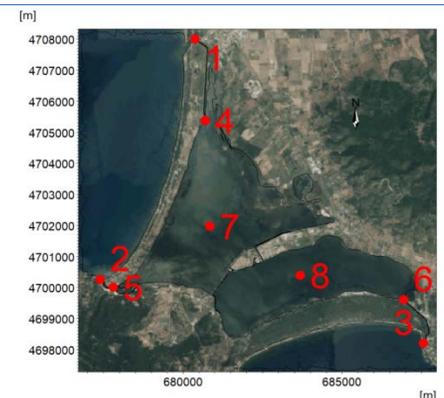


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

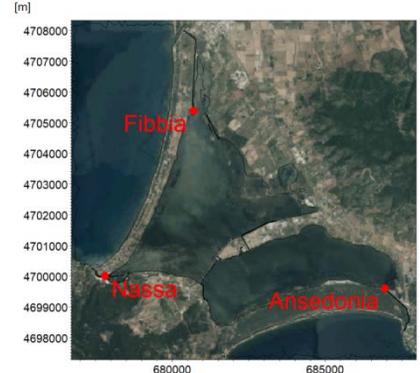


ALLEGATO A18 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 7M/S PROVENIENTE DA 105°N

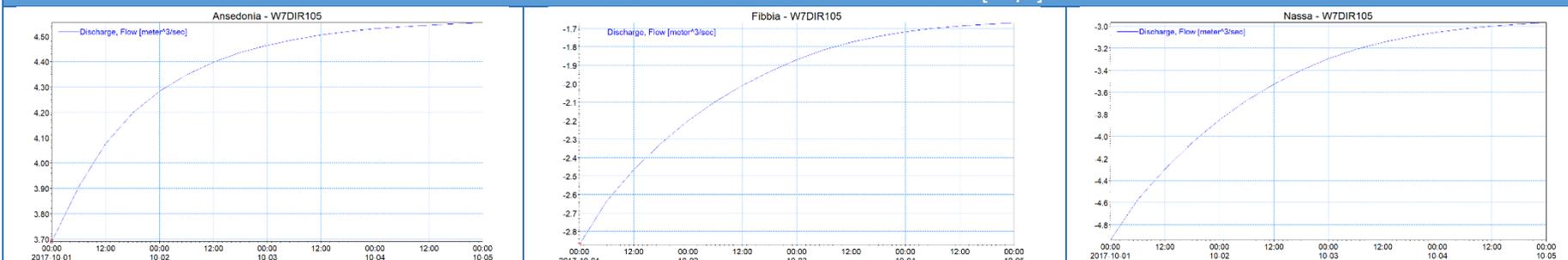
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.33	-0.01	0.08	-0.08	0.44	-4.44	-0.74	-2.50
VELOCITA' [cm/s]	3.6	4.9	11.7	6.4	9.4	15.2	1.7	3.0



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	4.60	-1.65	-2.95



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

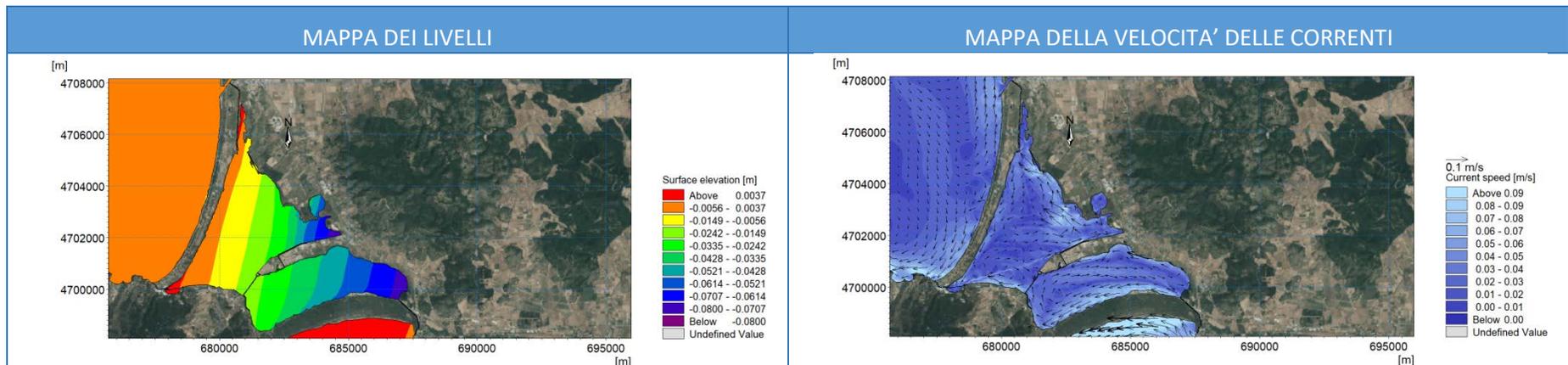
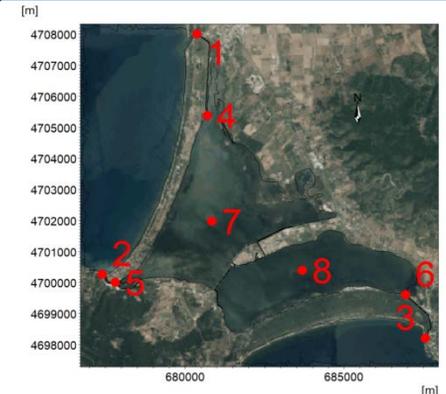


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

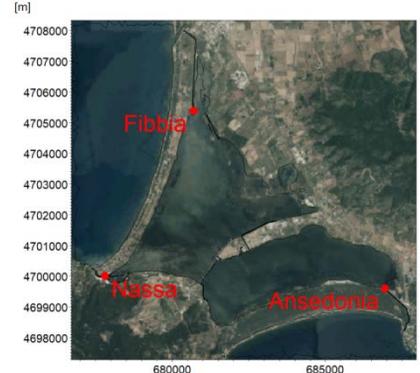


ALLEGATO A19 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 9M/S PROVENIENTE DA 105°N

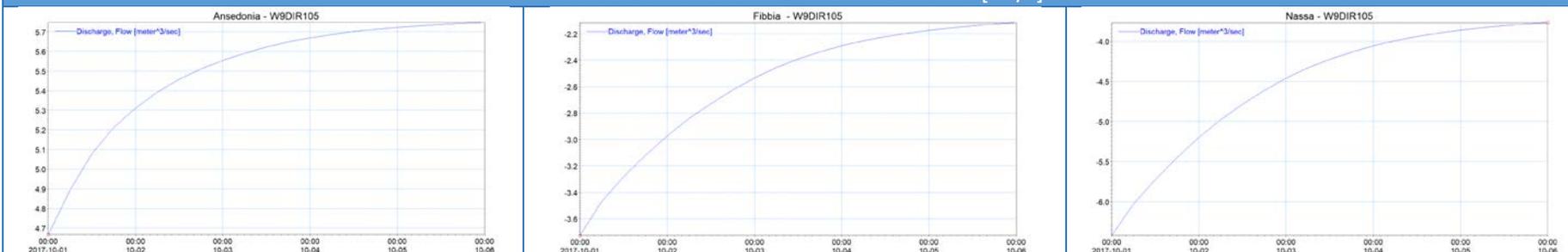
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.55	-0.01	0.07	-0.17	0.70	-7.45	-1.25	-4.19
VELOCITA' [cm/s]	4.57	6.20	14.73	8.10	11.97	19.60	2.16	3.87



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	5.75	-2.05	-3.70



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

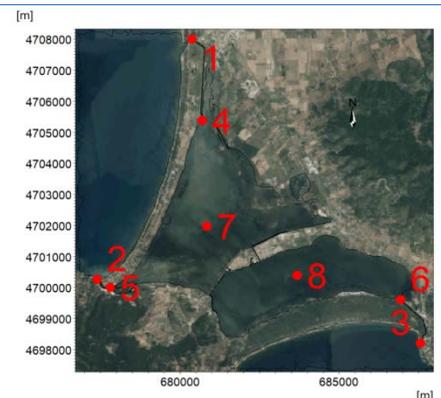
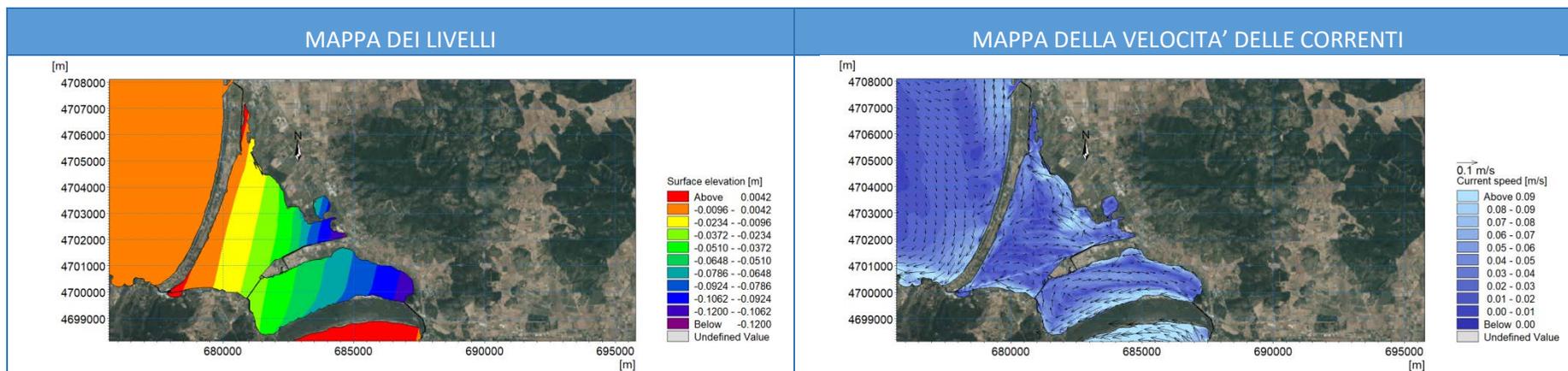


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

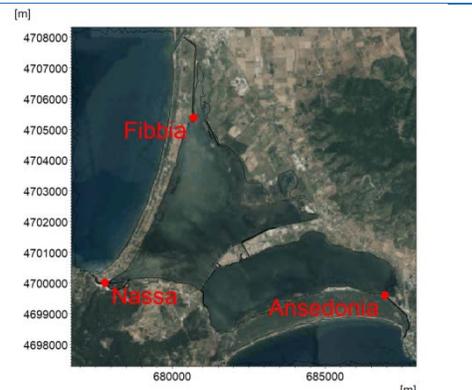


ALLEGATO A20 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 11M/S PROVENIENTE DA 105°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.82	0.00	0.05	-0.31	1.01	-11.34	-1.94	-6.38
VELOCITA' [cm/s]	5.5	7.5	17.6	9.7	14.4	24.1	2.6	4.7

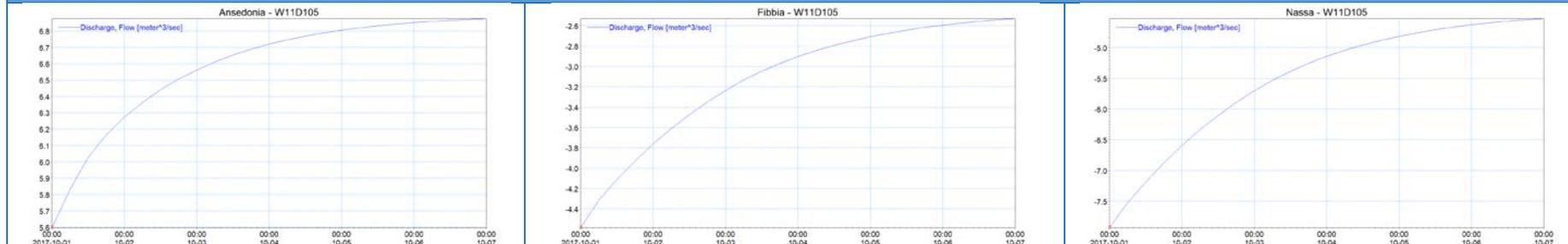



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	6.90	-2.45	-4.45

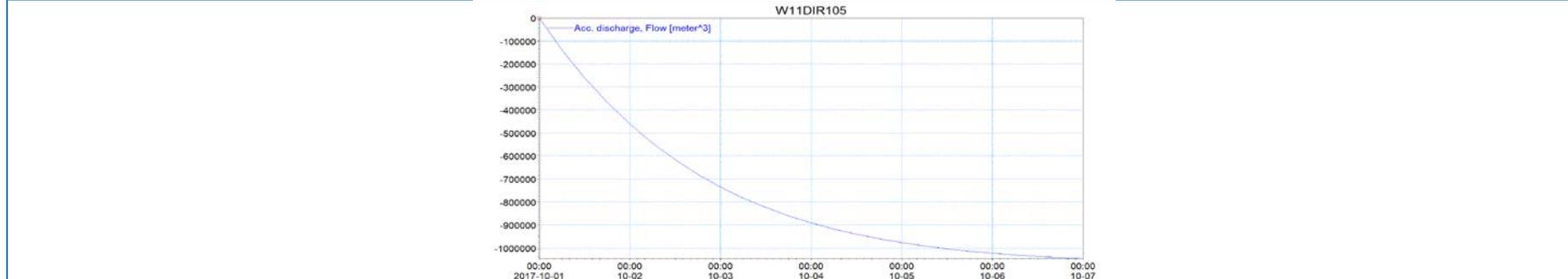


[m]

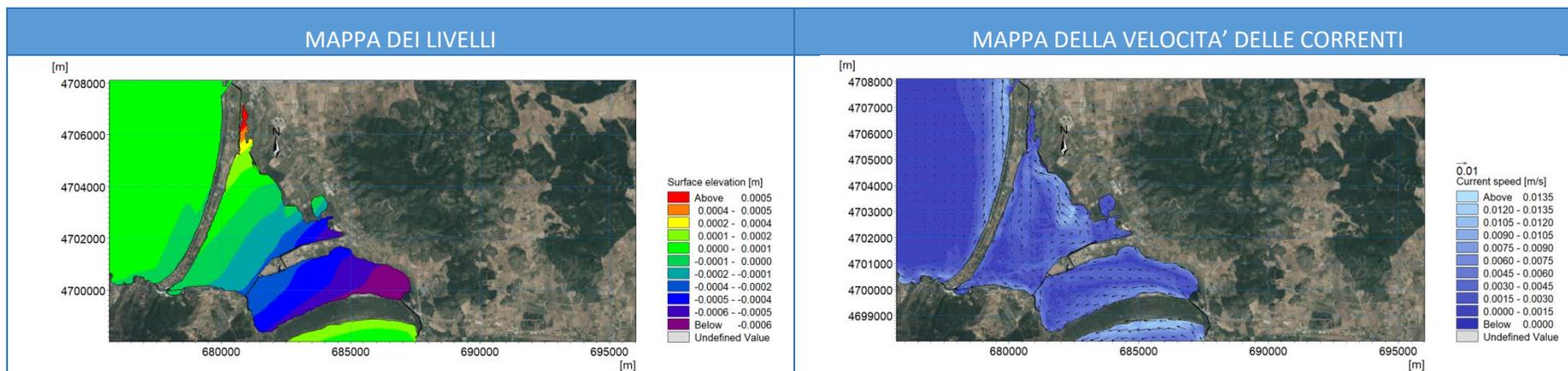
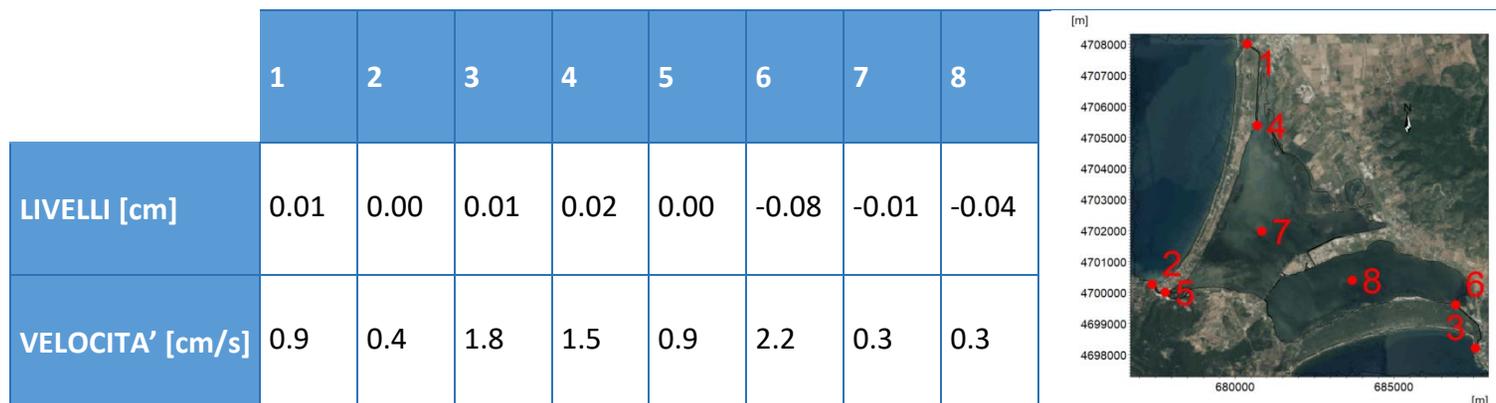
VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]



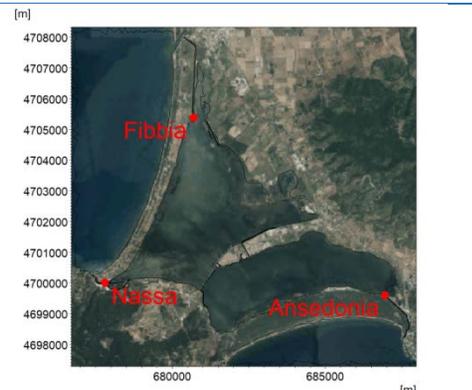
VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



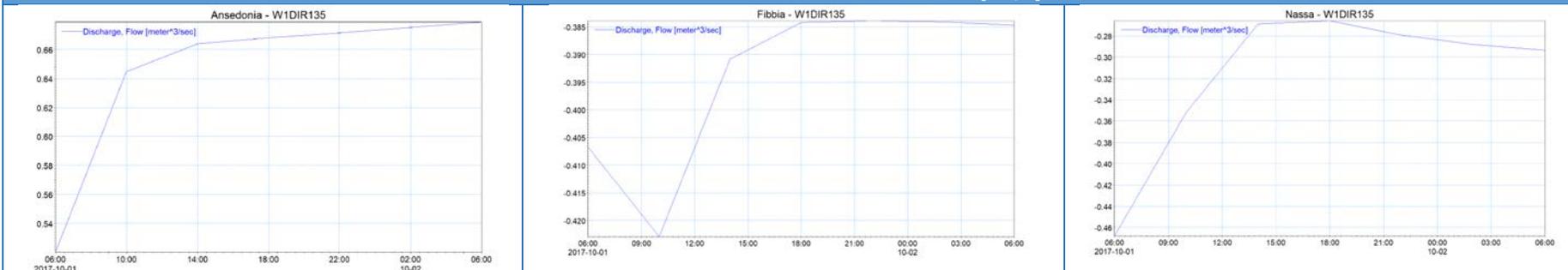
ALLEGATO A21 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 1M/S PROVENIENTE DA 135°N



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	0.68	-0.38	-0.29



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

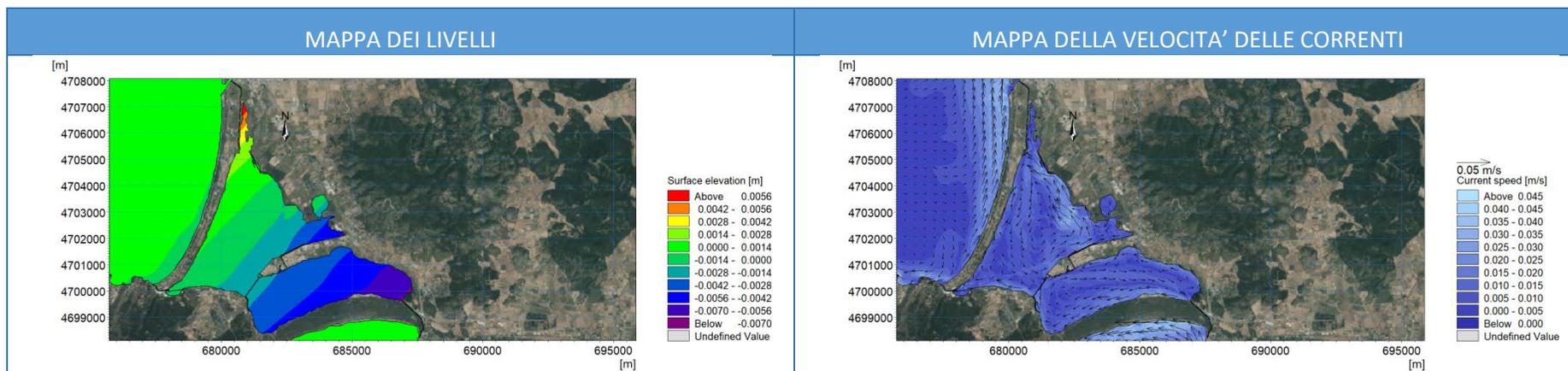
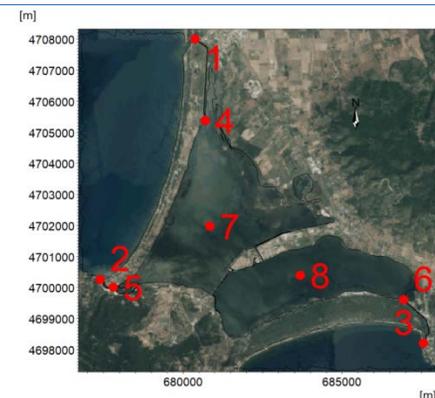


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

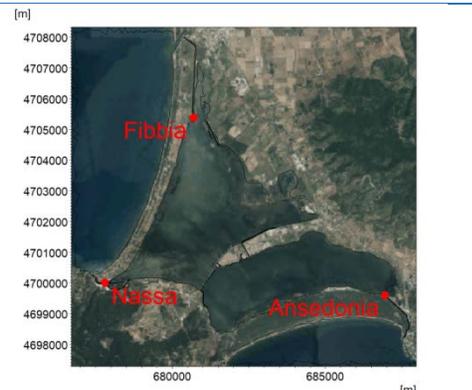


ALLEGATO A22 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 3M/S PROVENIENTE DA 135°N

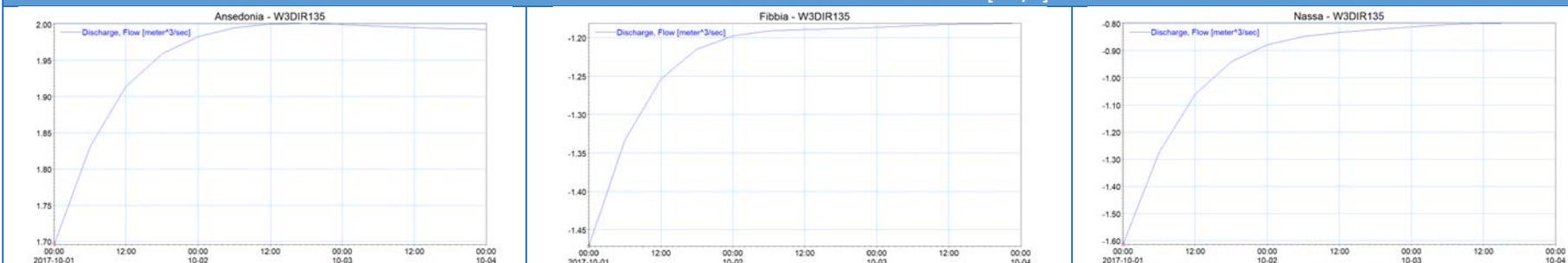
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.03	-0.02	0.06	0.21	-0.01	-0.72	-0.09	-0.40
VELOCITA' [cm/s]	2.7	1.2	5.1	4.5	2.5	6.5	0.8	1.0



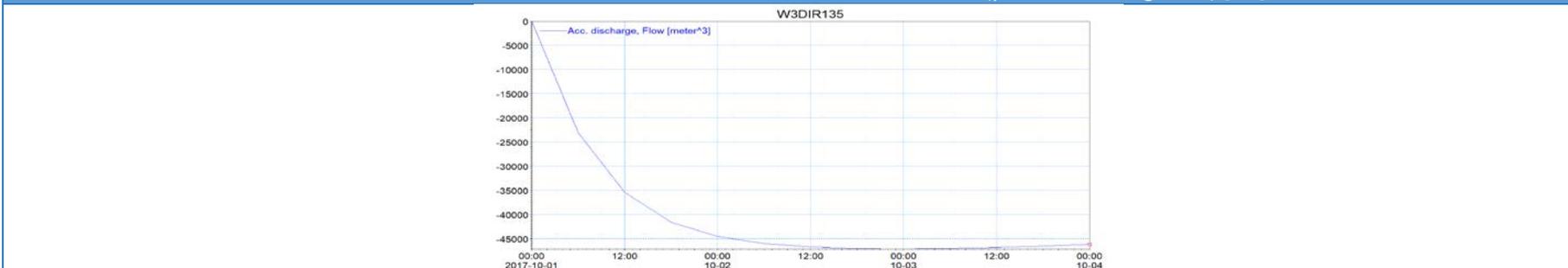
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	1.98	-1.18	-0.80



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

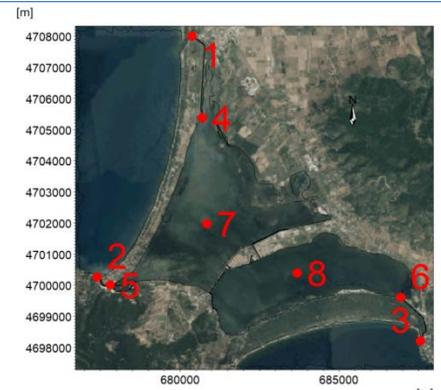
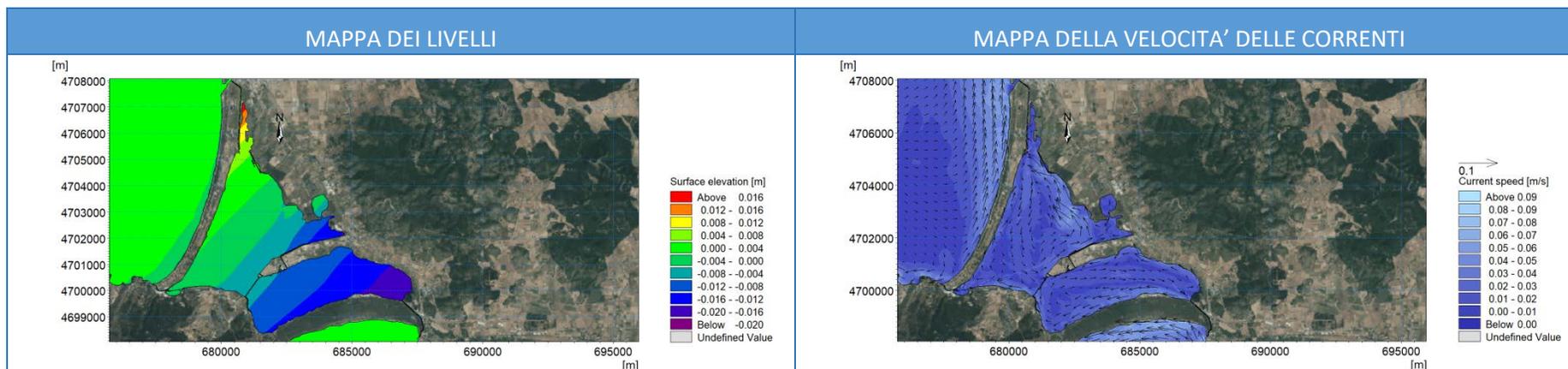


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A23 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 5M/S PROVENIENTE DA 135°N

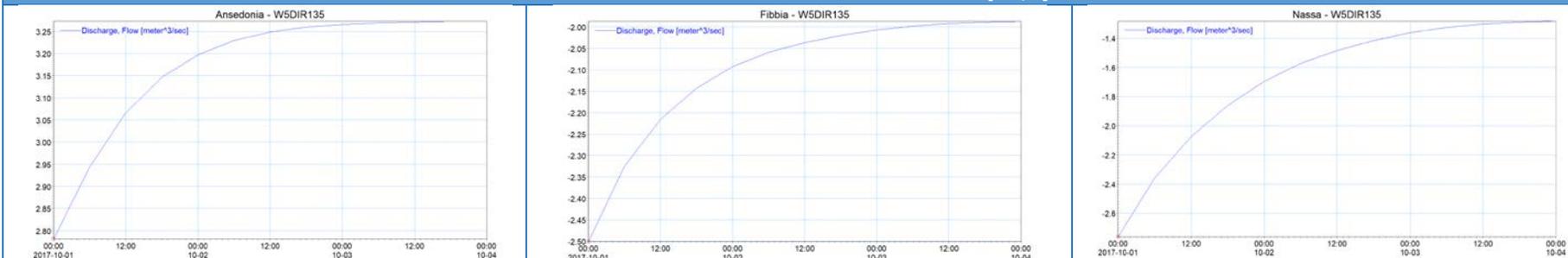
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.05	-0.04	0.11	0.57	-0.05	-2.01	-0.26	-1.13
VELOCITA' [cm/s]	4.5	1.9	8.4	7.6	4.1	10.7	1.4	1.7

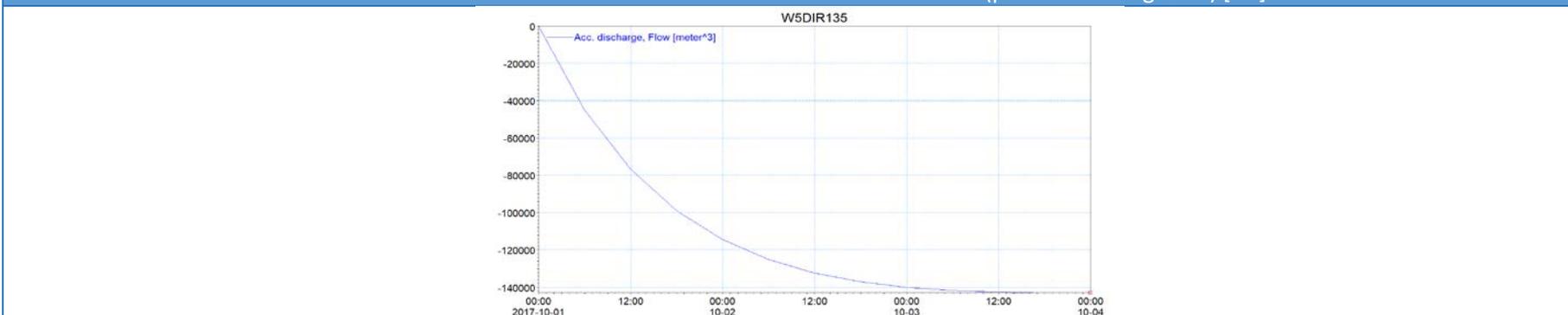
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	3.27	-1.99	-1.28



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

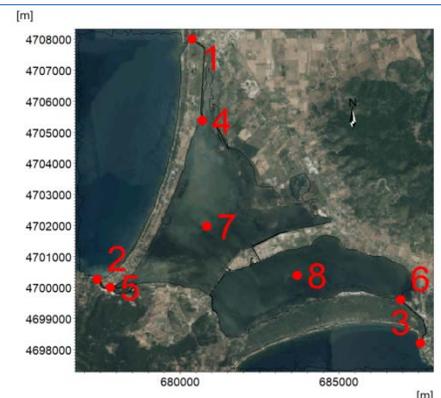
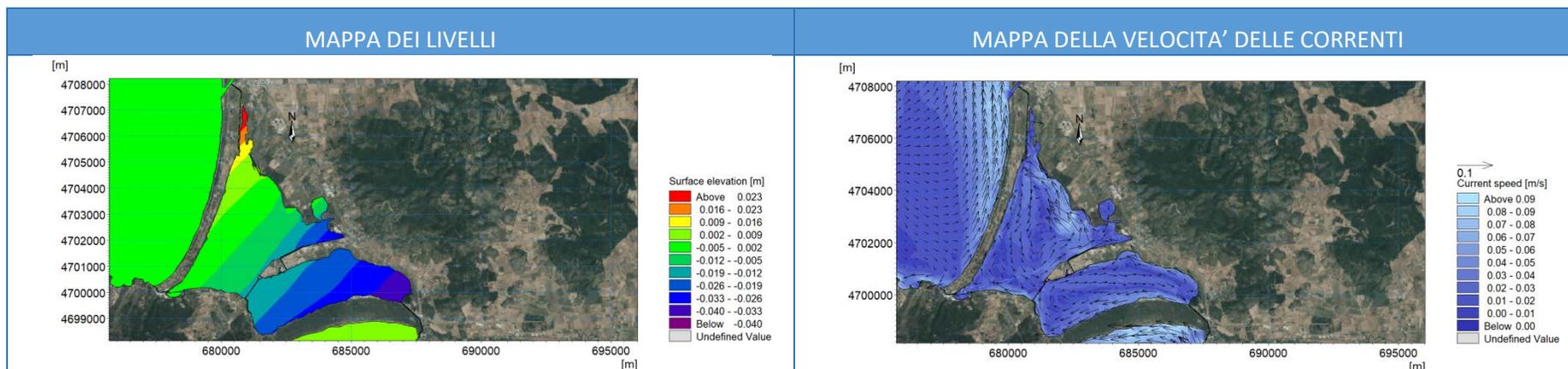


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

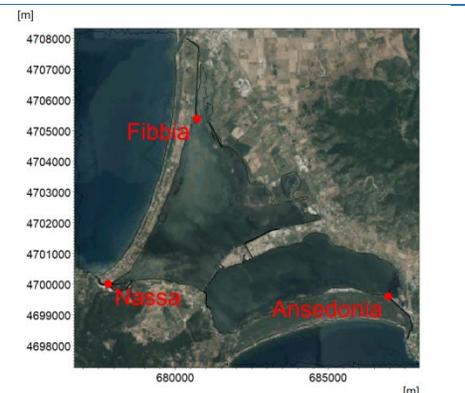


ALLEGATO A24 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 7M/S PROVENIENTE DA 135°N

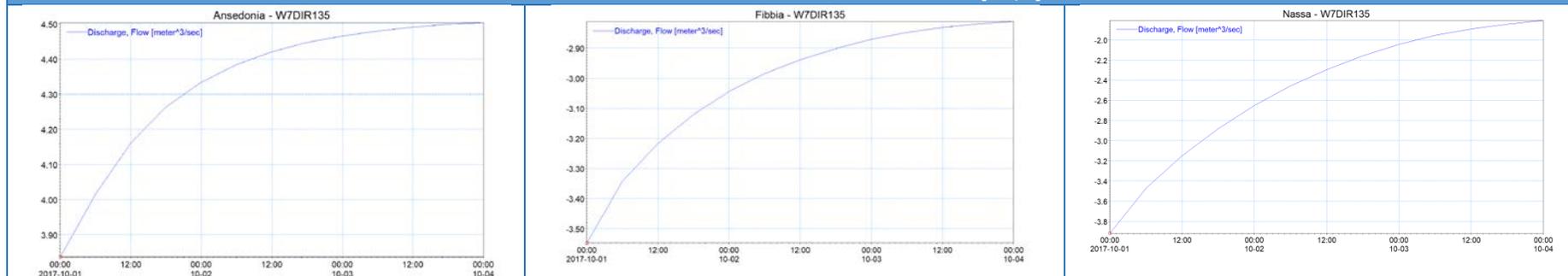
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.06	-0.08	0.16	1.11	-0.09	-3.96	-0.49	-2.23
VELOCITA' [cm/s]	6.5	2.7	11.6	10.7	5.7	15.0	2.0	2.3

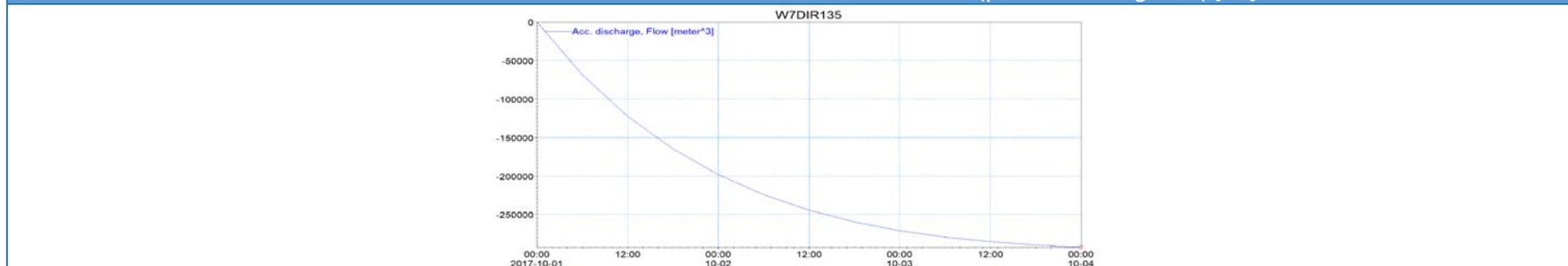
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	4.50	-2.75	-1.75



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

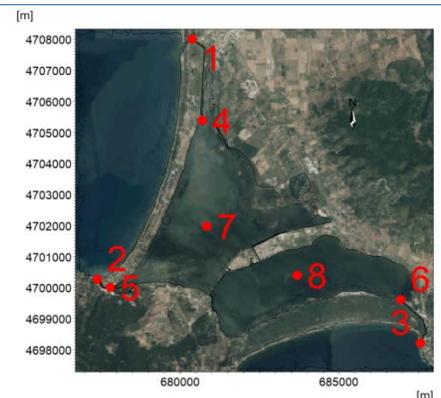
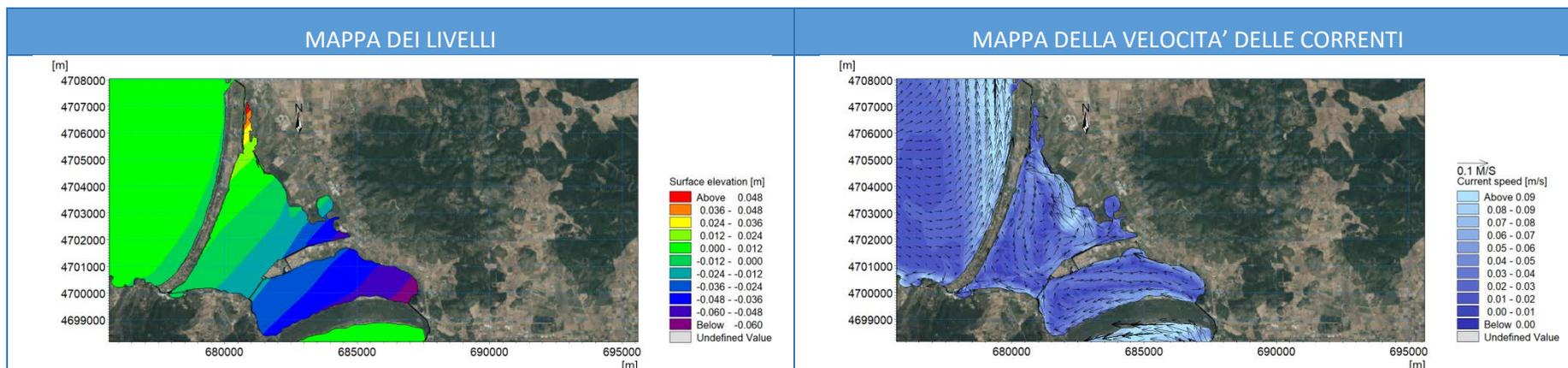


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A25 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 9M/S PROVENIENTE DA 135°N

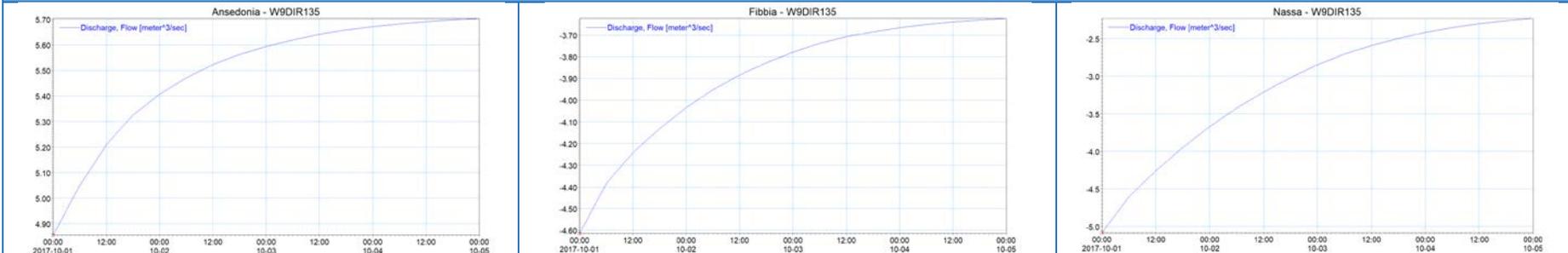
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.06	-0.14	0.21	1.77	-0.18	-6.65	-0.85	-3.76
VELOCITA' [cm/s]	8.3	3.4	14.7	13.7	7.1	19.3	2.5	2.9

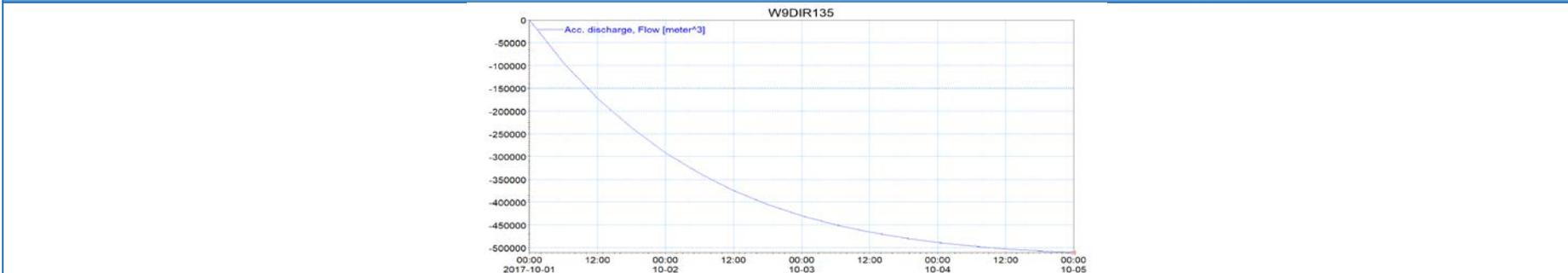
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	5.70	-3.55	-2.15



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

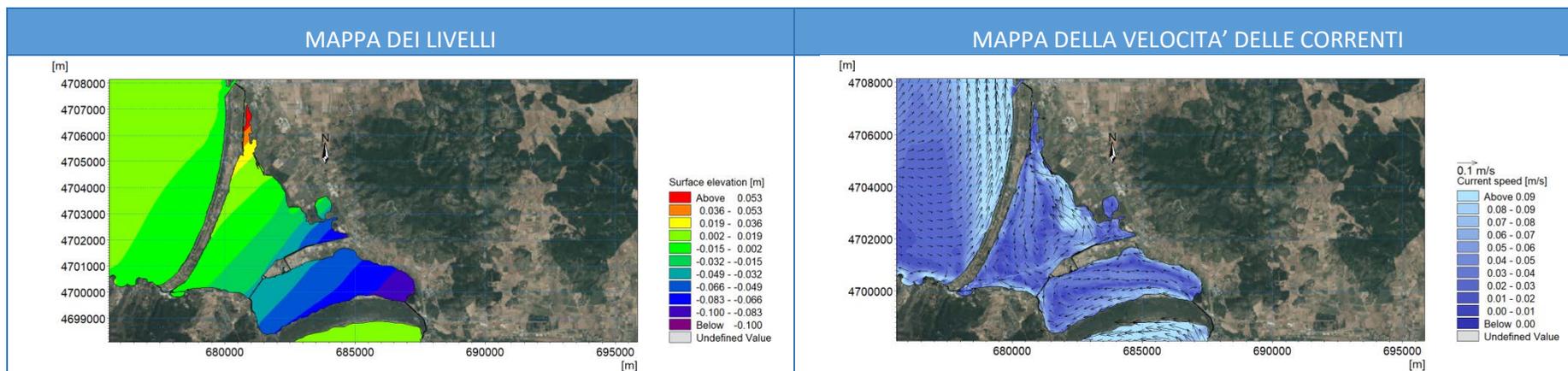
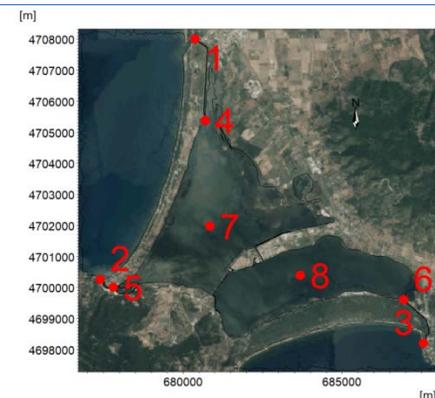


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

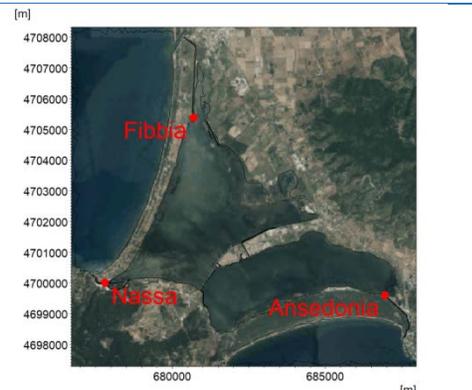


ALLEGATO A26 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 11M/S PROVENIENTE DA 135°N

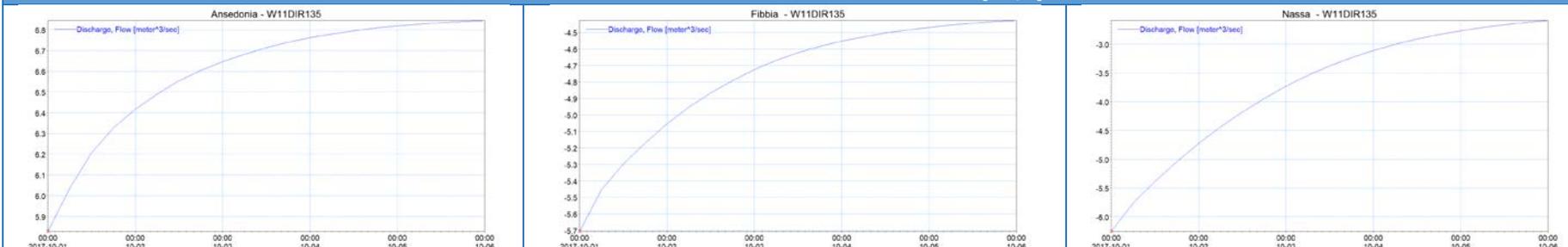
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.05	-0.20	0.27	2.56	-0.32	-10.13	-1.35	-5.74
VELOCITA' [cm/s]	10.2	3.9	17.6	16.7	8.18	23.8	3.0	3.6



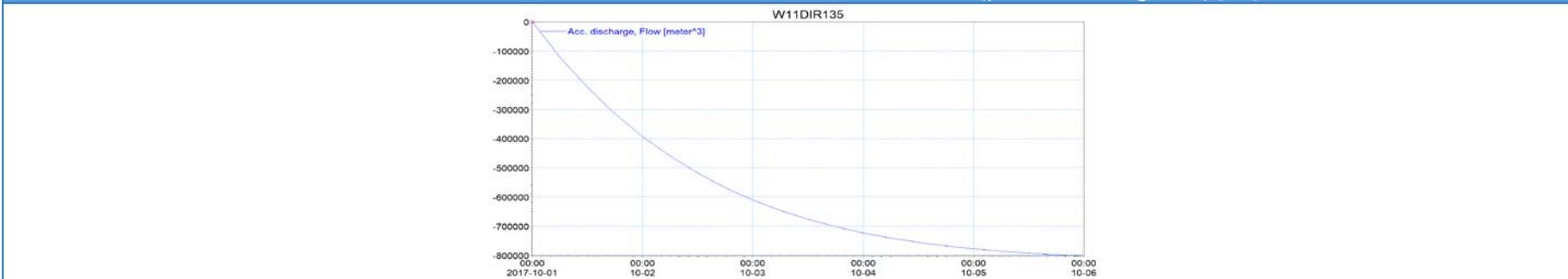
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	6.90	-4.35	-2.55



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

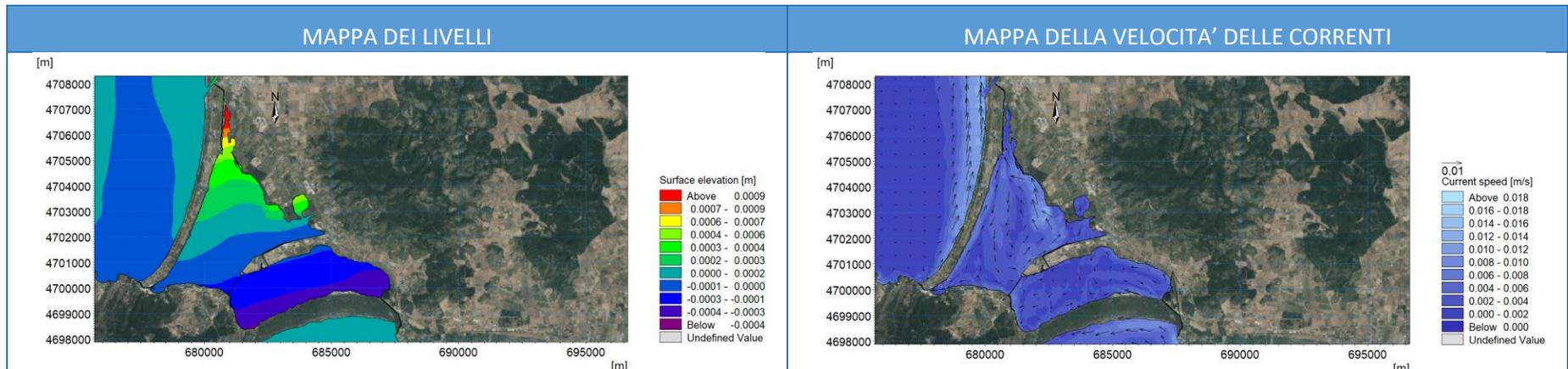
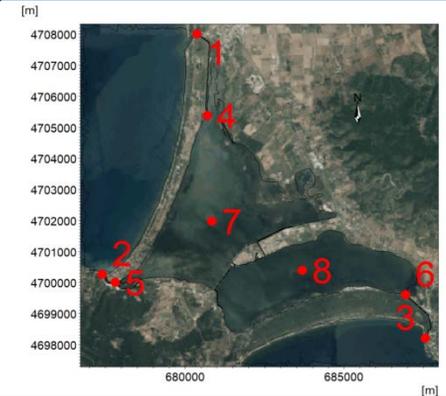


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

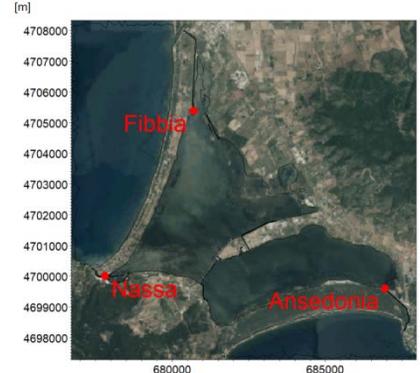


ALLEGATO A27 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 1M/S PROVENIENTE DA 165°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.02	0.00	0.01	0.05	-0.01	-0.04	0.00	-0.02
VELOCITA' [cm/s]	1.1	0.1	1.4	1.8	0.2	1.8	0.3	0.1



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	0.55	-0.48	-0.07



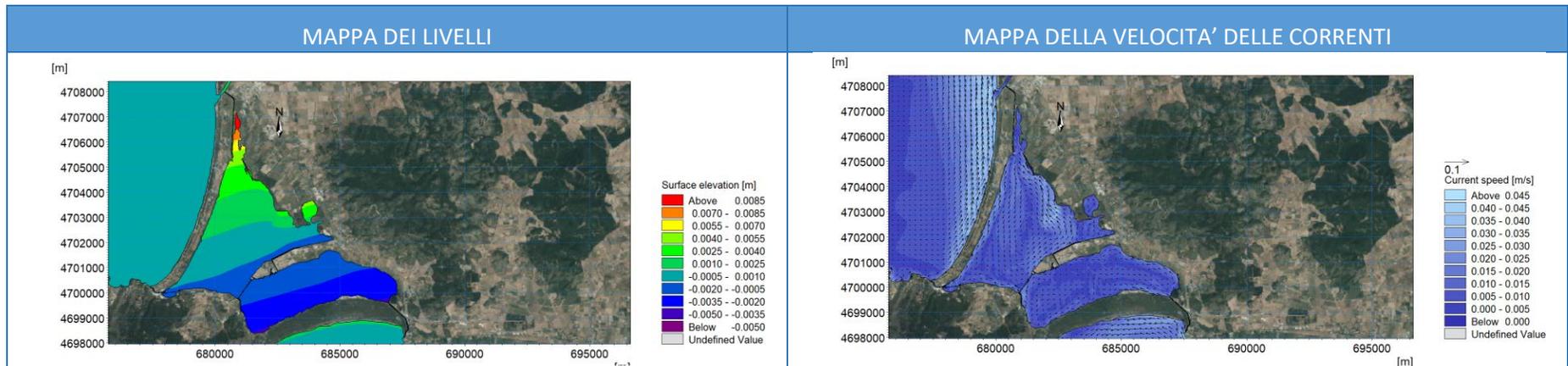
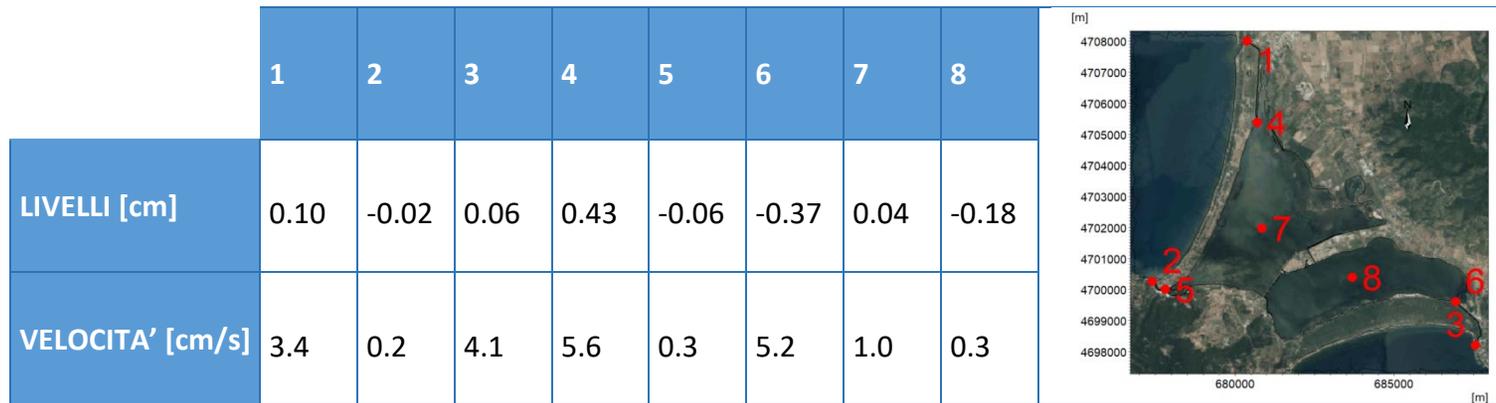
VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]



VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



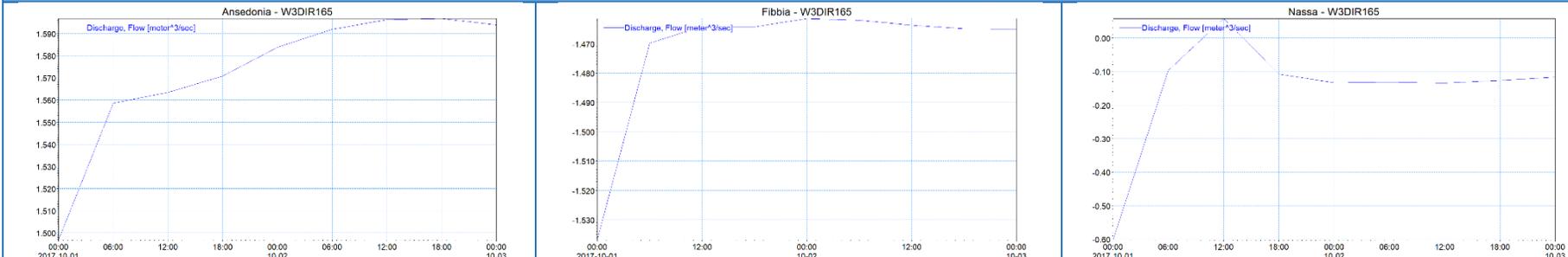
ALLEGATO A28 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 3M/S PROVENIENTE DA 165°N



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	1.59	-1.47	-0.12



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

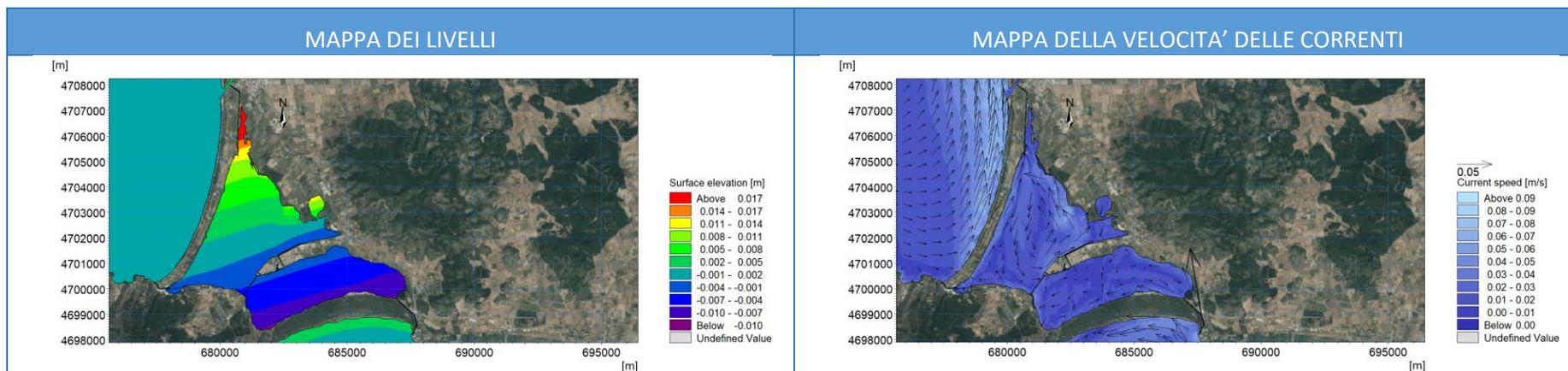
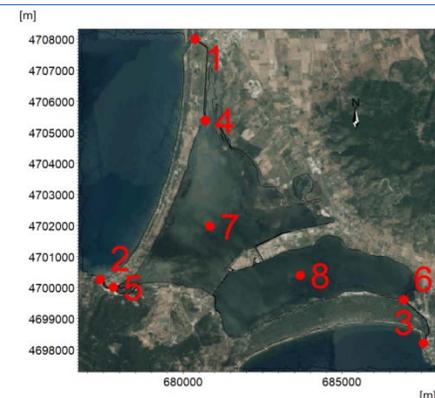


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A29 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 5M/S PROVENIENTE DA 165°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.23	-0.05	0.13	1.19	-0.16	-1.04	0.11	-0.52
VELOCITA' [cm/s]	5.8	0.4	6.8	9.4	0.2	8.5	1.7	0.5



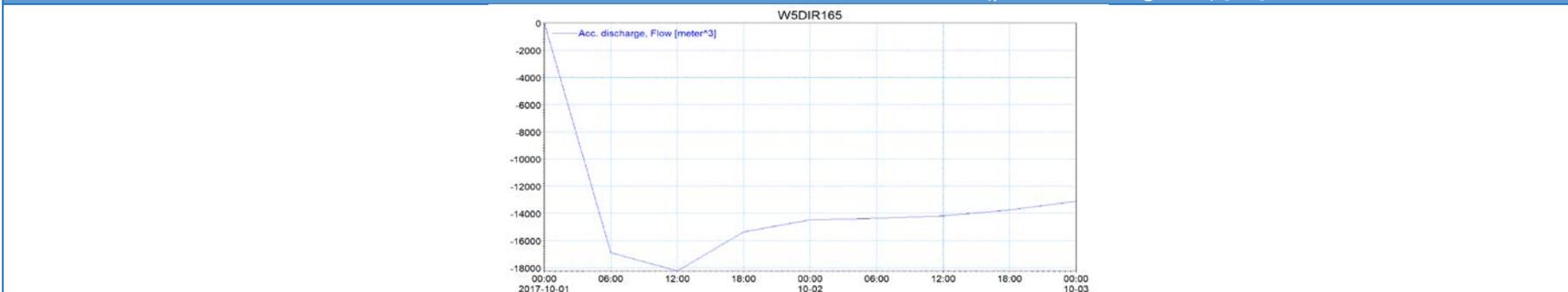
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	2.62	-2.50	-0.12



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

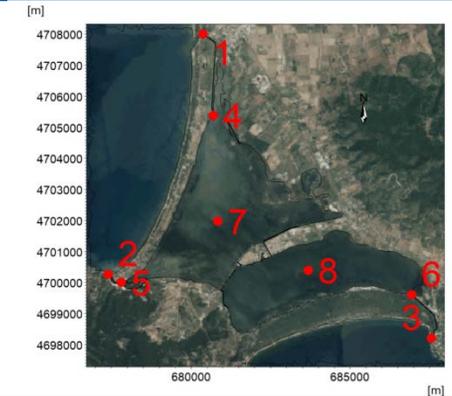
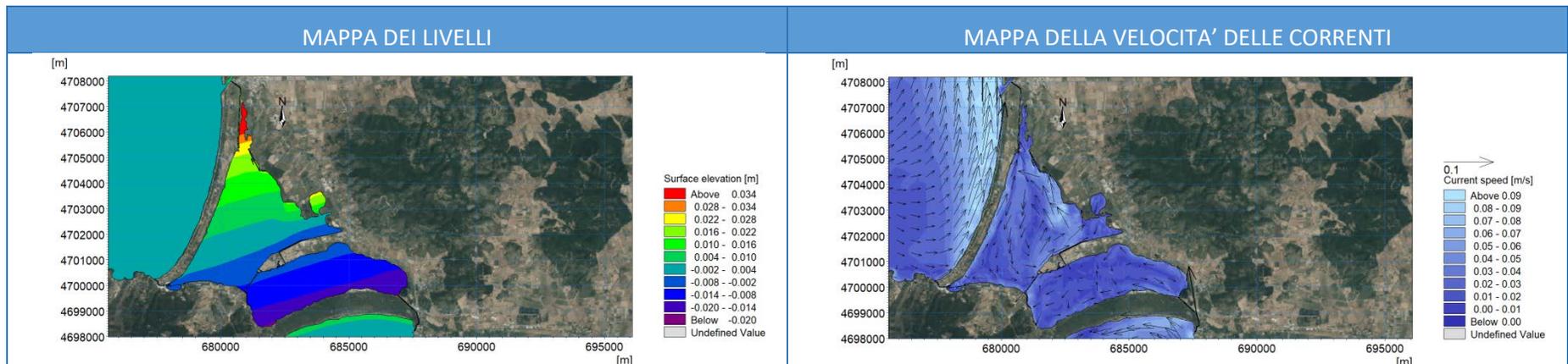


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A30 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 7M/S PROVENIENTE DA 165°N

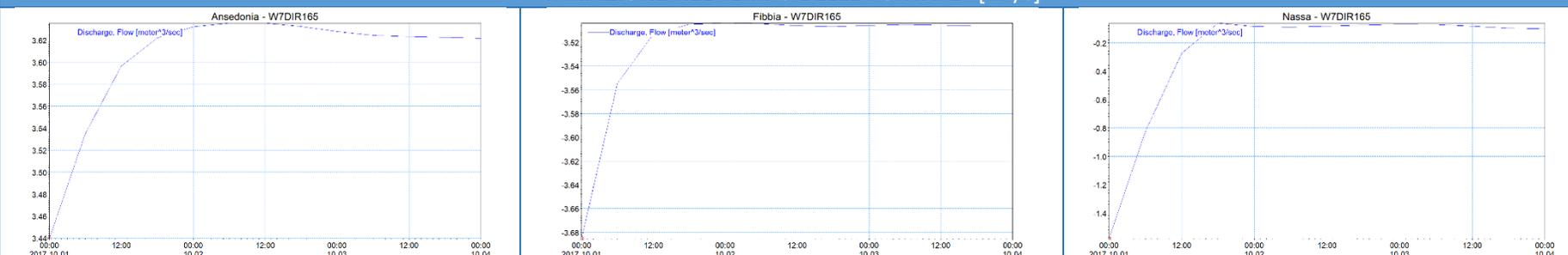
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.42	-0.11	0.22	2.31	-0.31	-2.05	0.23	-1.02
VELOCITA' [cm/s]	8.2	0.6	9.3	13.2	0.2	11.9	2.4	0.7

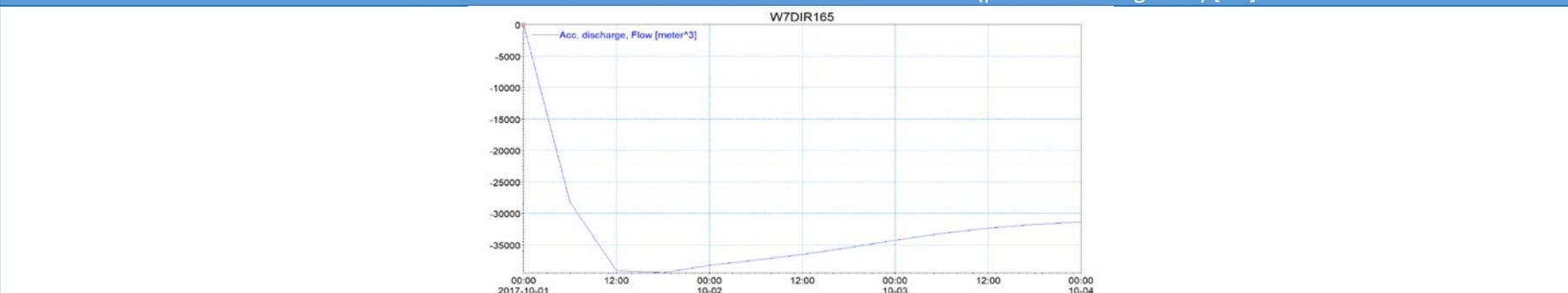
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	3.61	-3.51	-0.10



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

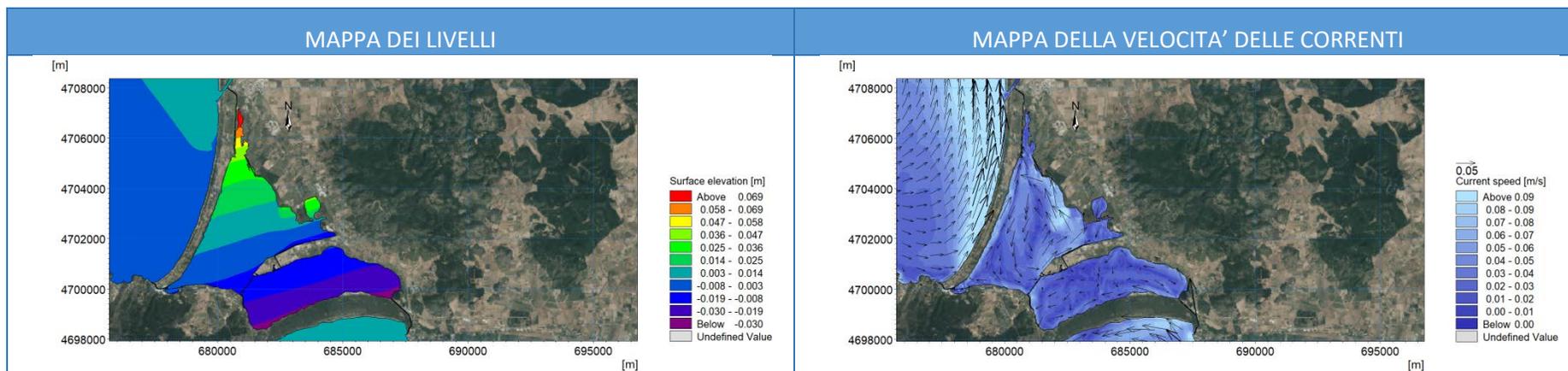
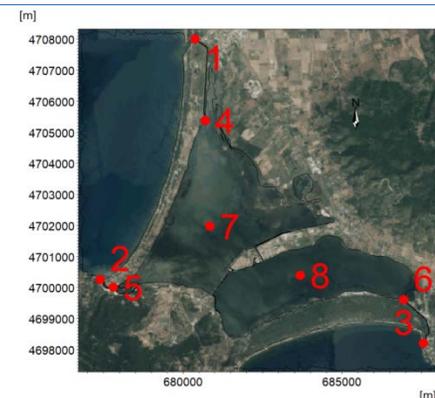


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A31 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 9M/S PROVENIENTE DA 165°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.64	-0.19	0.32	3.76	-0.53	-3.43	0.36	-1.72
VELOCITA' [cm/s]	10.7	1.0	11.9	17.1	0.5	15.3	3.1	0.8



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	4.60	-4.56	-0.04



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

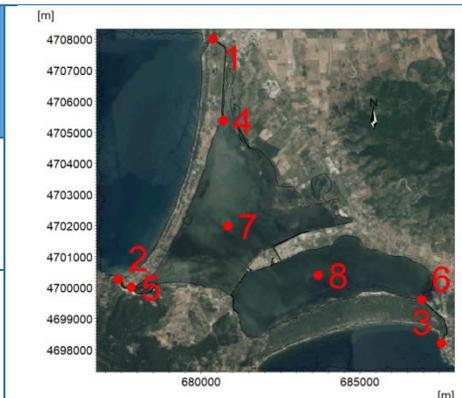
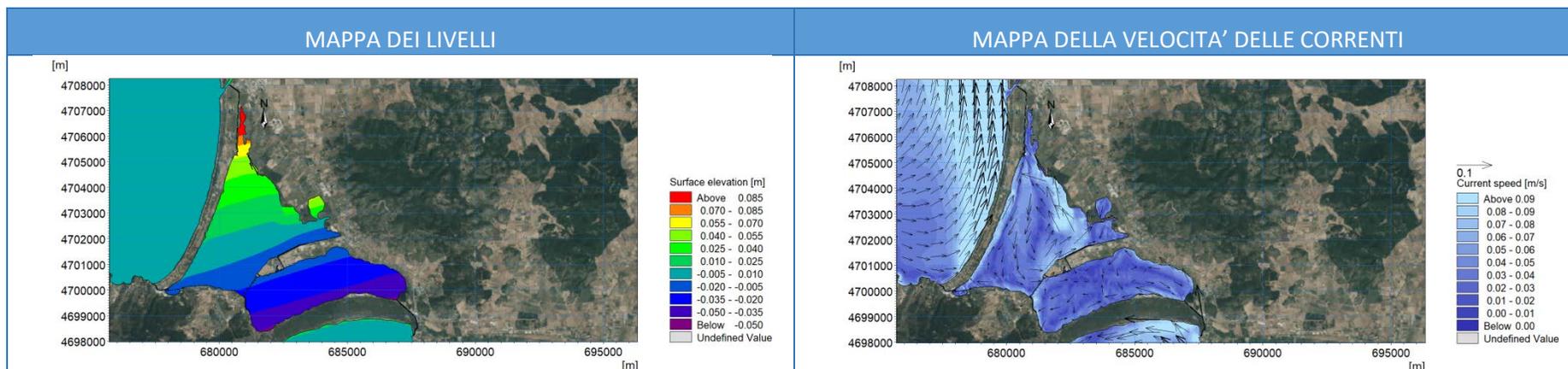


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

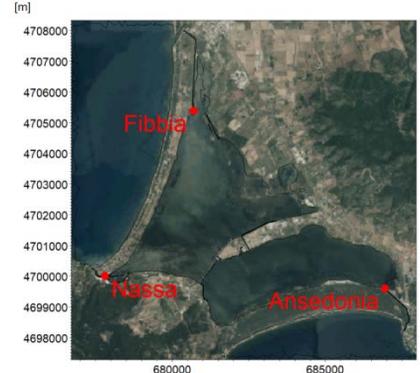


ALLEGATO A32 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 11M/S PROVENIENTE DA 165°N

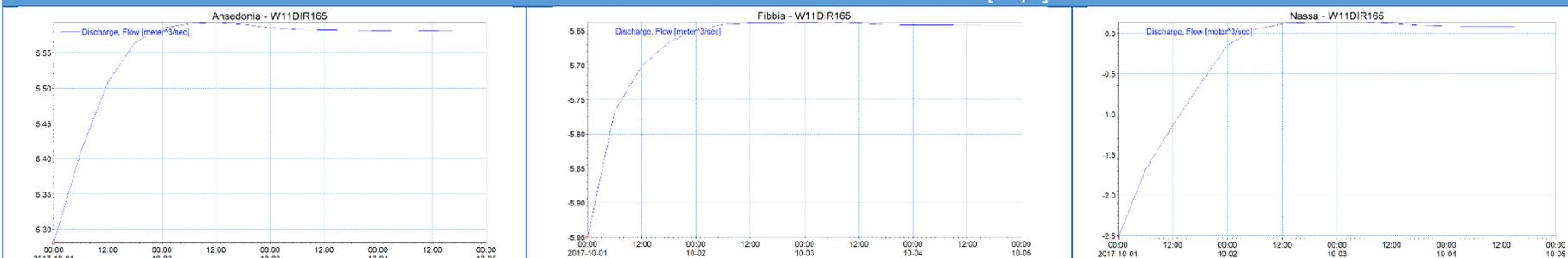
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.89	-0.30	0.44	5.55	-0.81	-5.19	0.52	-2.61
VELOCITA' [cm/s]	13.2	1.4	14.3	20.9	0.8	18.7	3.7	1.0

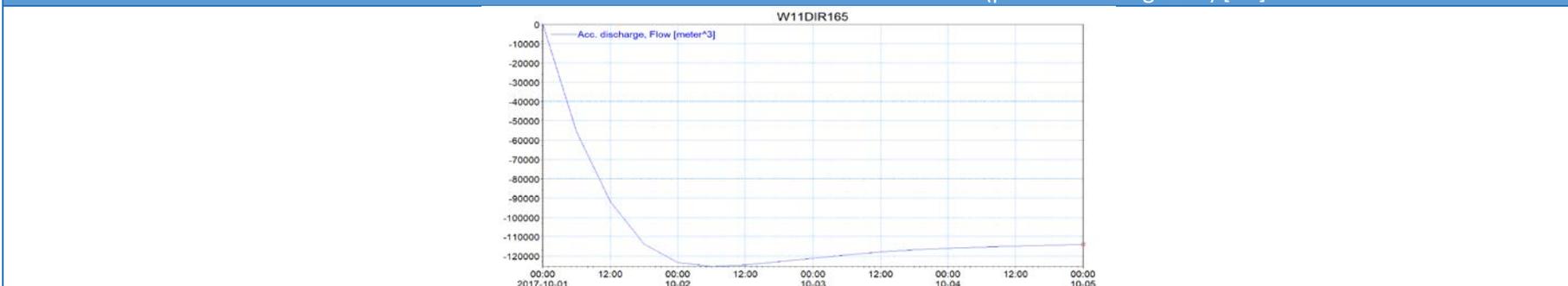
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	5.57	-5.65	0.08



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

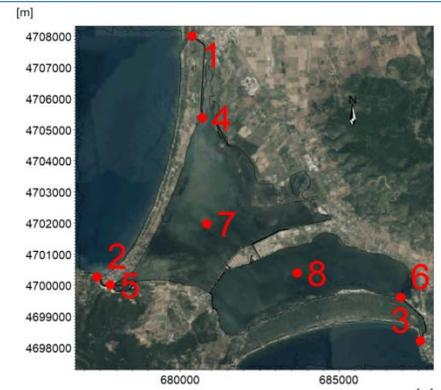
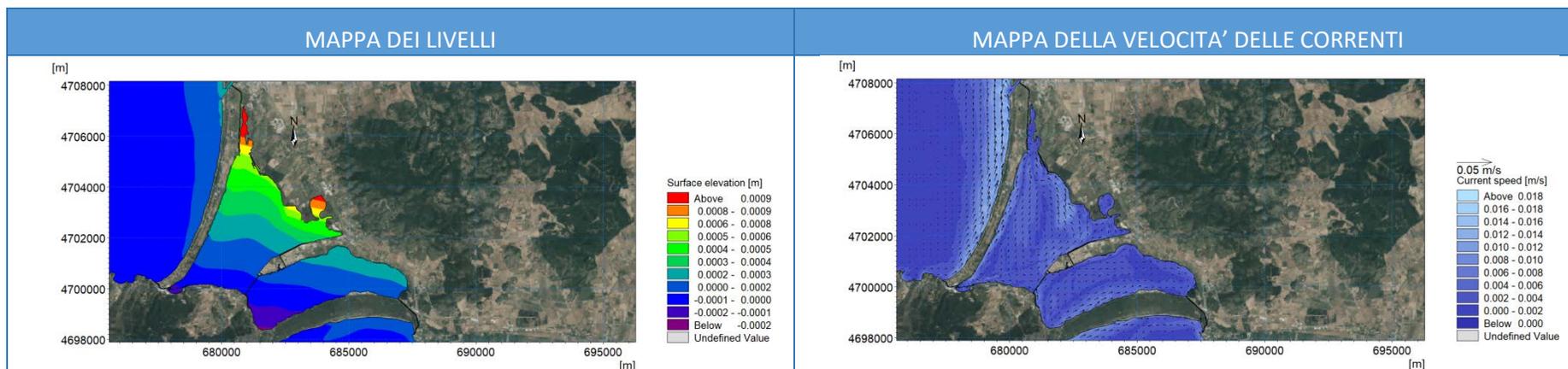


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A33 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 1M/S PROVENIENTE DA 195°N

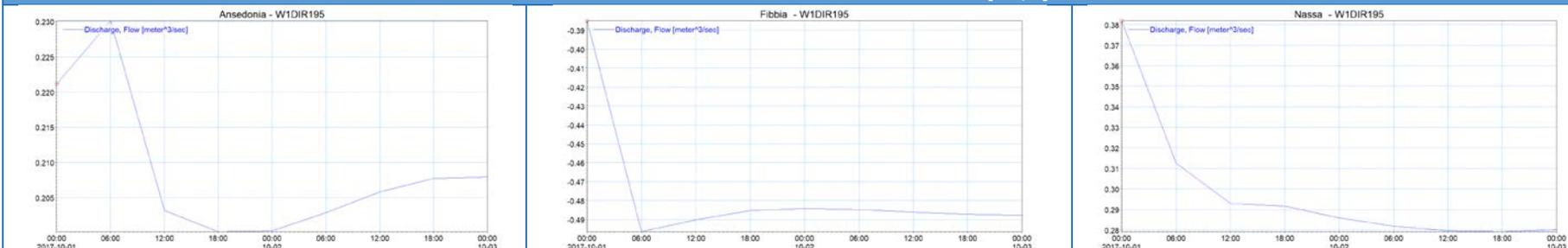
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.02	0.00	0.01	0.06	-0.01	0.01	0.02	0.01
VELOCITA' [cm/s]	1.1	0.4	0.5	1.9	0.9	0.7	0.4	0.3

	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	0.21	-0.49	0.28



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

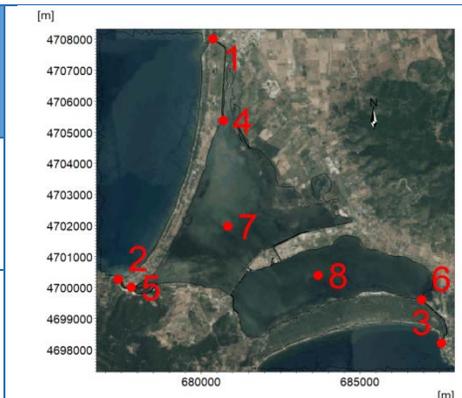
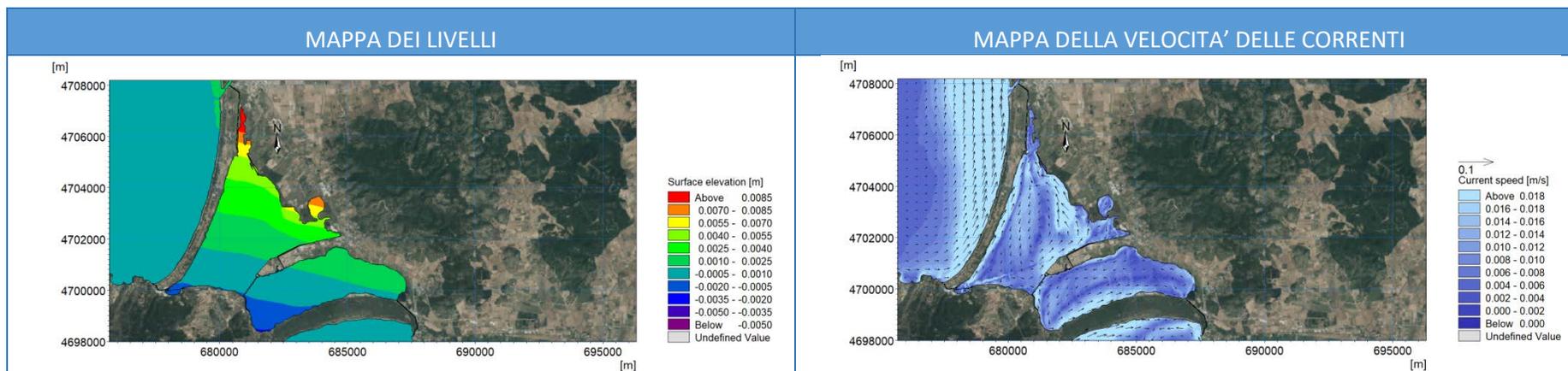


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A34 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 3M/S PROVENIENTE DA 195°N

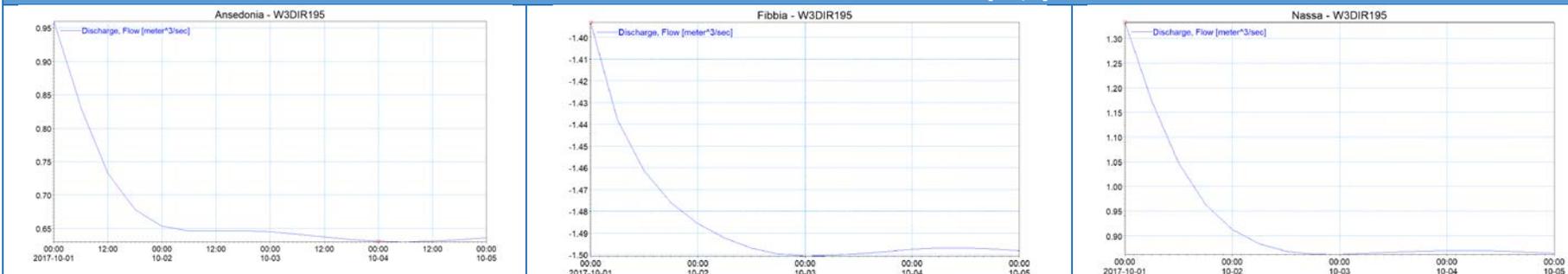
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.16	-0.01	0.04	0.53	-0.09	0.07	0.15	0.07
VELOCITA' [cm/s]	3.5	1.4	1.6	5.7	2.8	2.0	1.1	1.0

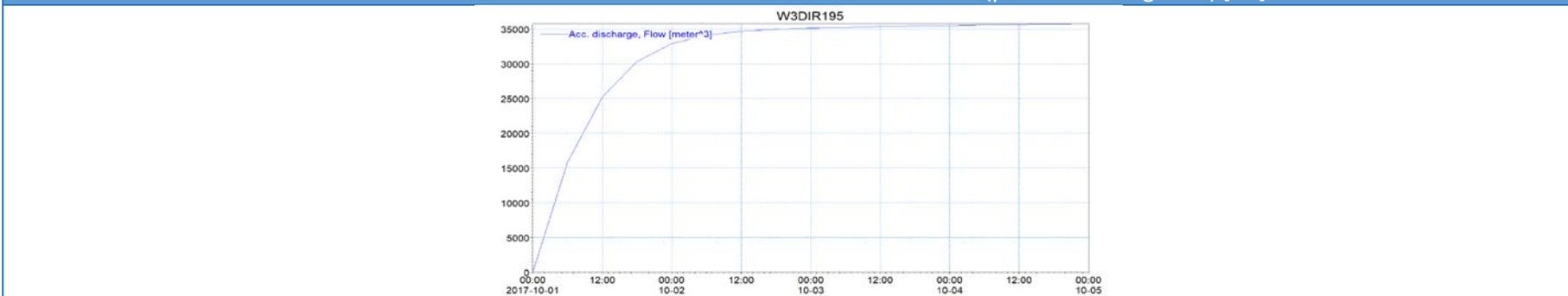
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	0.63	-1.50	0.86



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

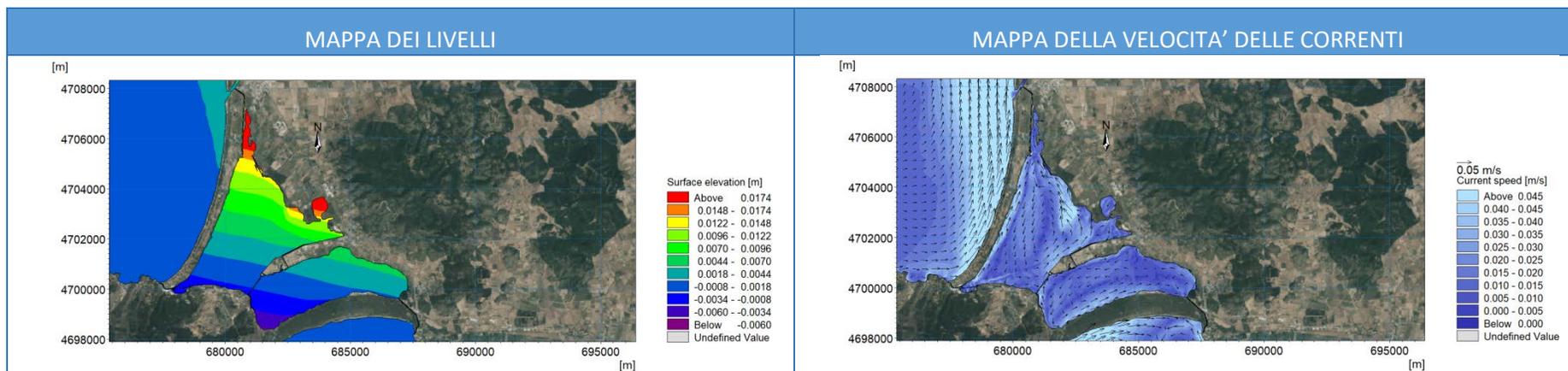
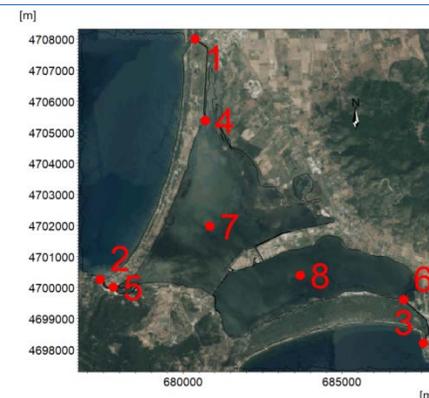


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

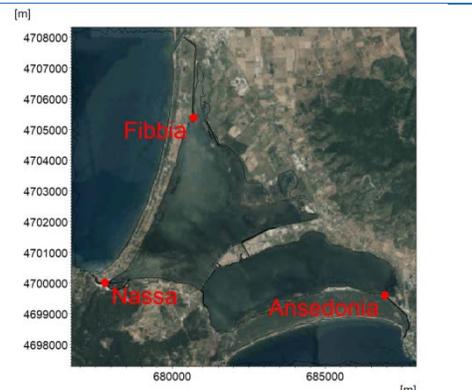


ALLEGATO A35 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 5M/S PROVENIENTE DA 195°N

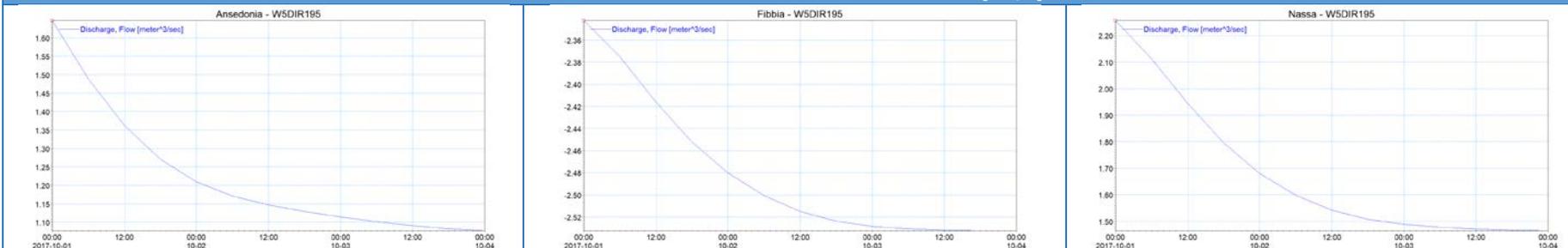
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.38	-0.03	0.10	1.45	-0.27	0.16	0.41	0.19
VELOCITA' [cm/s]	6.0	2.4	2.7	9.6	4.7	3.4	1.8	1.7



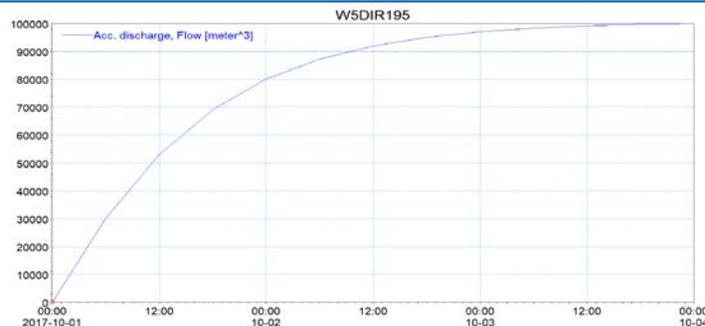
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	1.08	-2.54	1.47



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

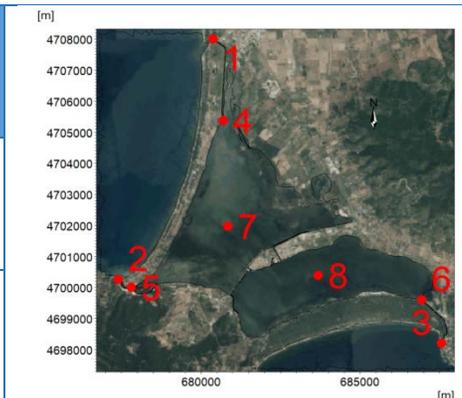
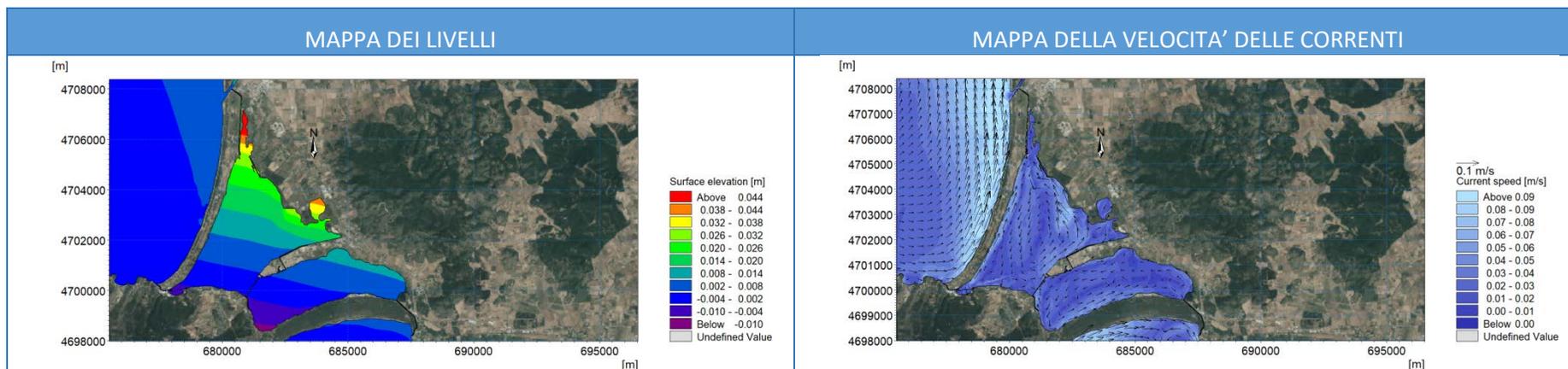


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A36 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 7M/S PROVENIENTE DA 195°N

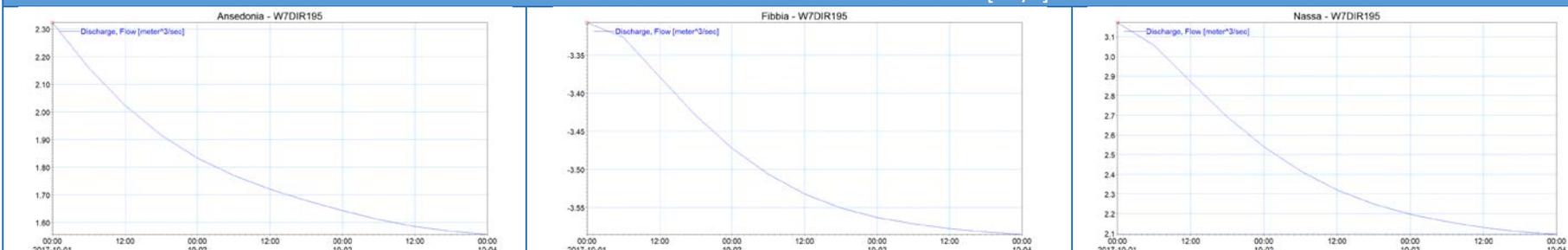
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.69	-0.08	0.19	2.78	-0.56	0.28	0.77	0.33
VELOCITA' [cm/s]	8.5	3.4	3.9	13.5	6.8	5.0	2.6	2.3

	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	1.54	-3.59	2.05



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

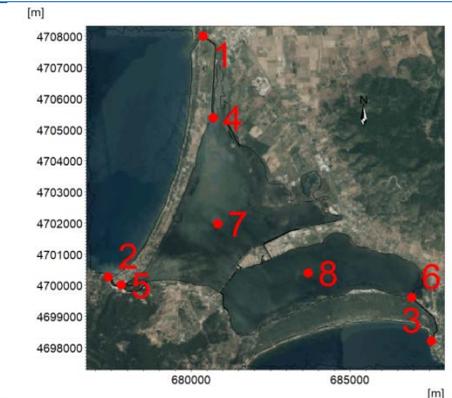
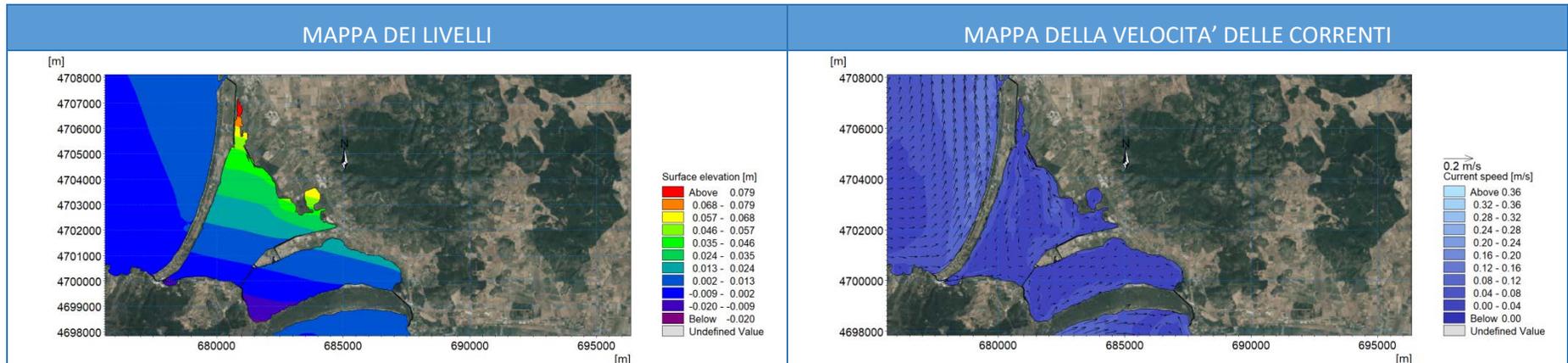


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

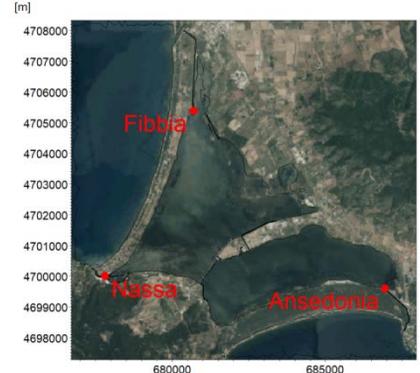


ALLEGATO A37 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 9M/S PROVENIENTE DA 195°N

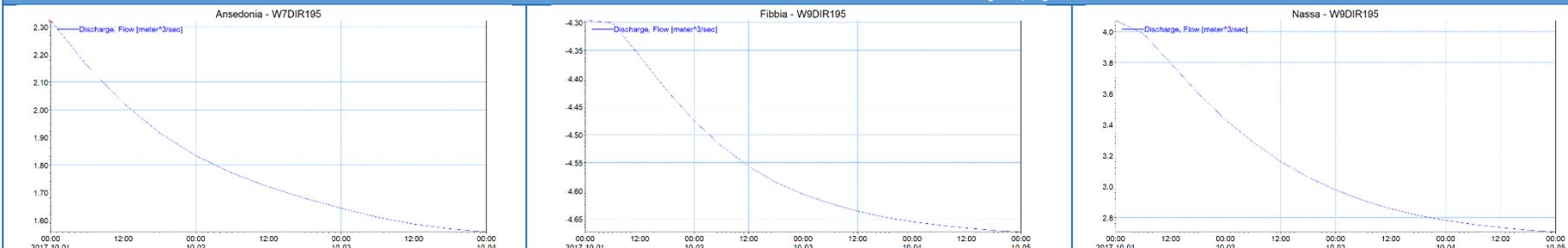
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	1.07	-0.15	0.32	4.52	-0.96	0.43	1.25	0.51
VELOCITA' [cm/s]	11.0	4.4	5.2	17.4	8.8	6.5	3.3	3.0

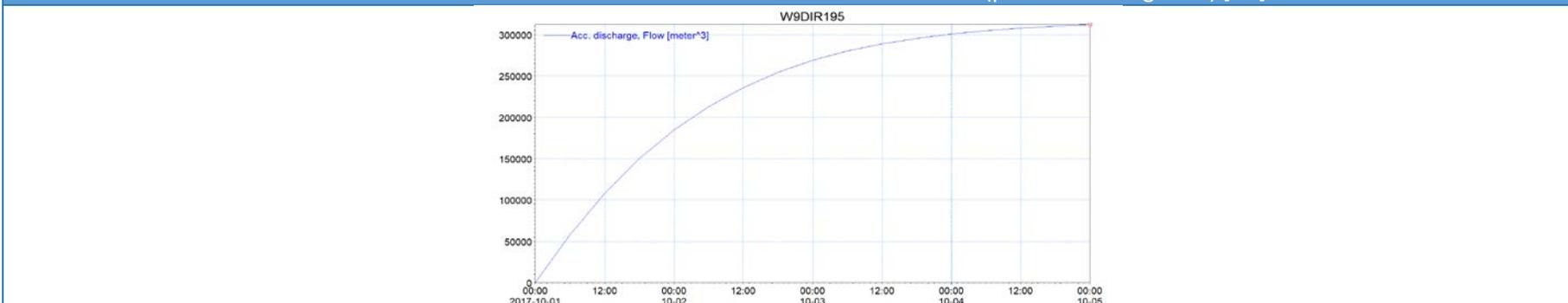
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	2.03	-4.69	2.66



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

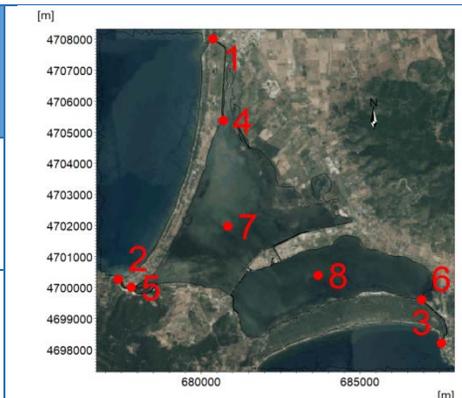
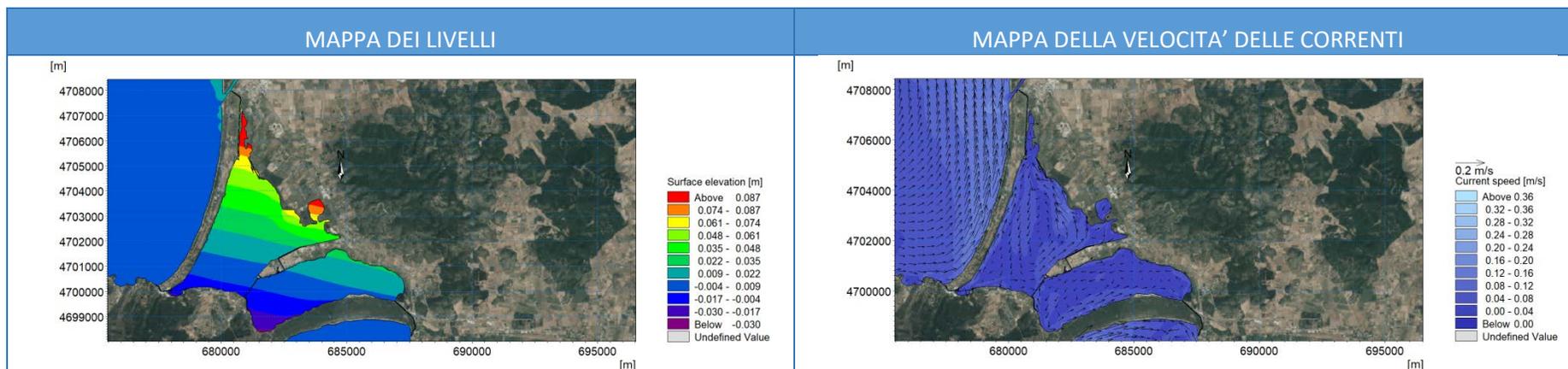


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A38 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 11M/S PROVENIENTE DA 195°N

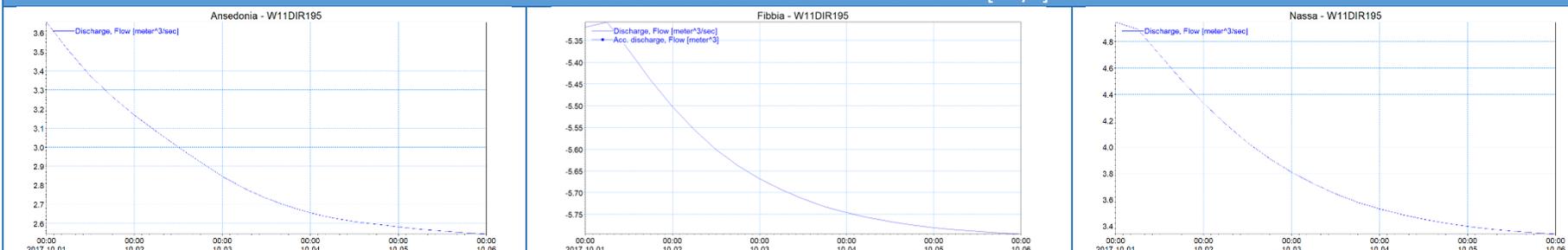
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	1.53	-0.25	0.48	6.64	-1.48	0.58	1.82	0.71
VELOCITA' [cm/s]	13.6	5.4	6.4	21.3	10.8	8.1	4.0	3.6

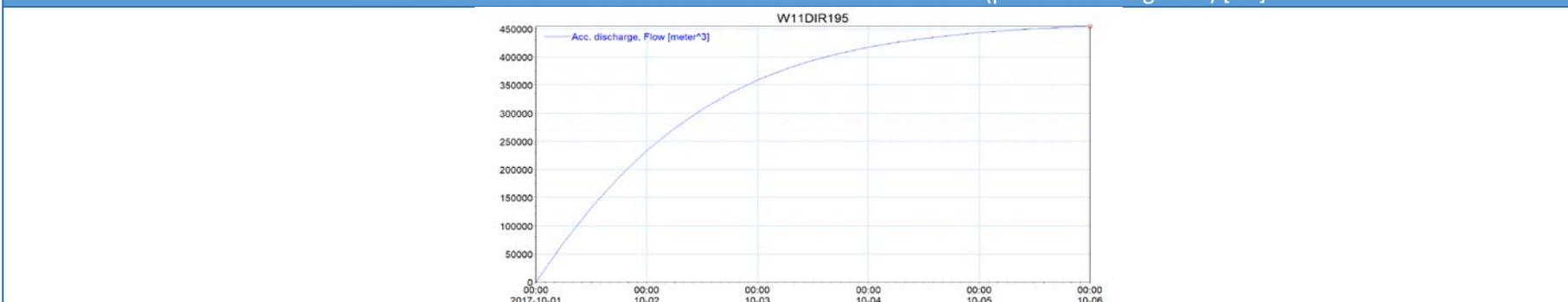
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	2.50	-5.81	3.31



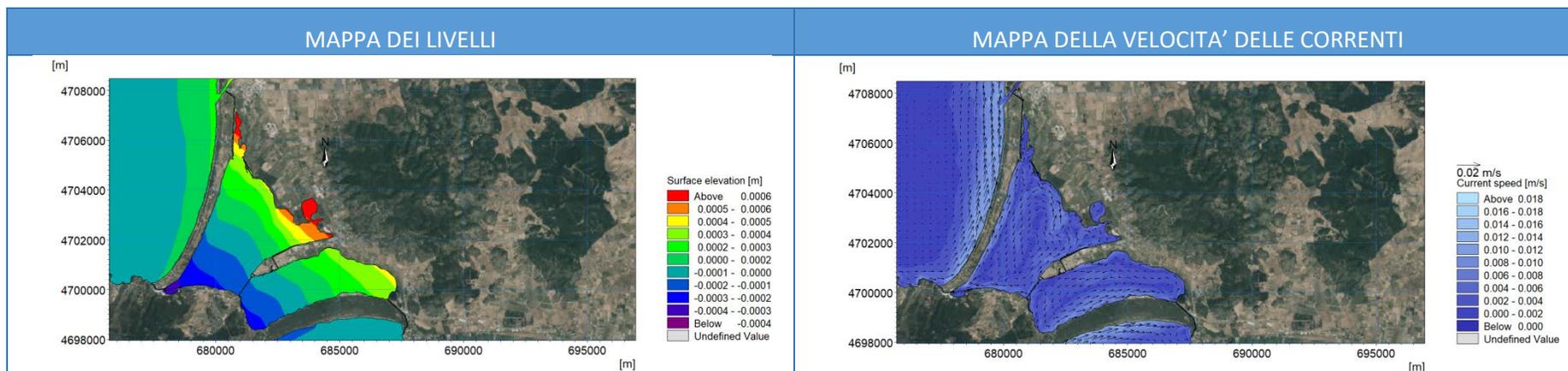
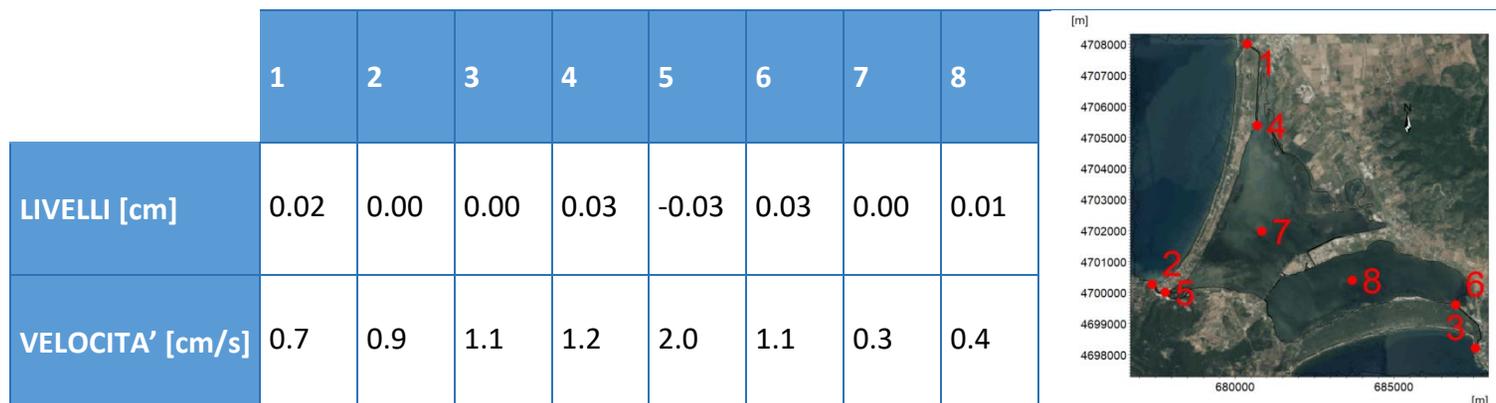
VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]



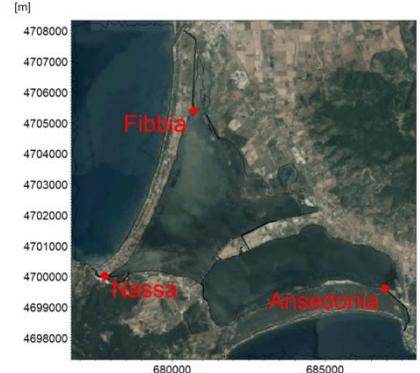
VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A39 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 1M/S PROVENIENTE DA 225°N



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-0.33	-0.30	0.63



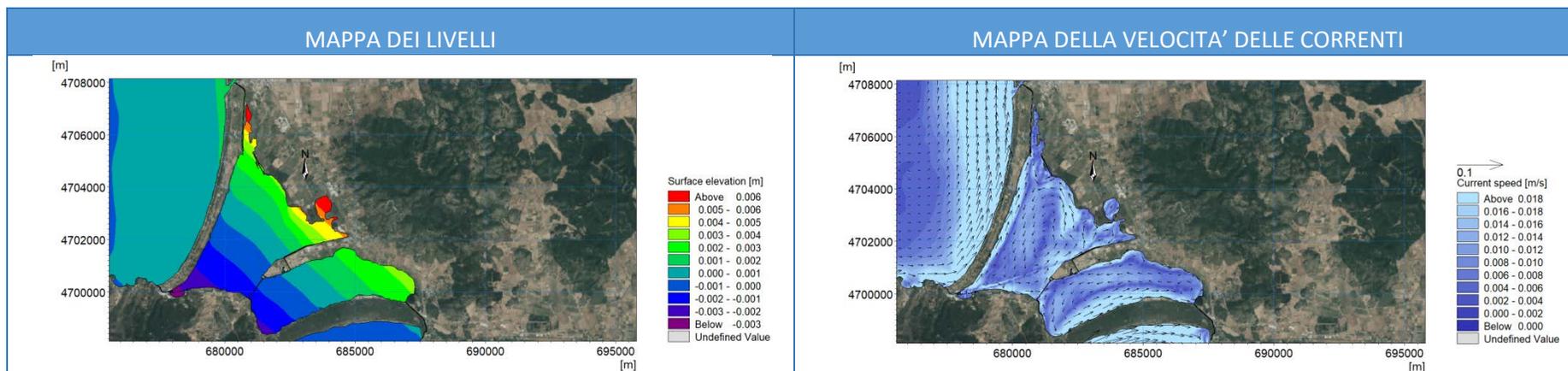
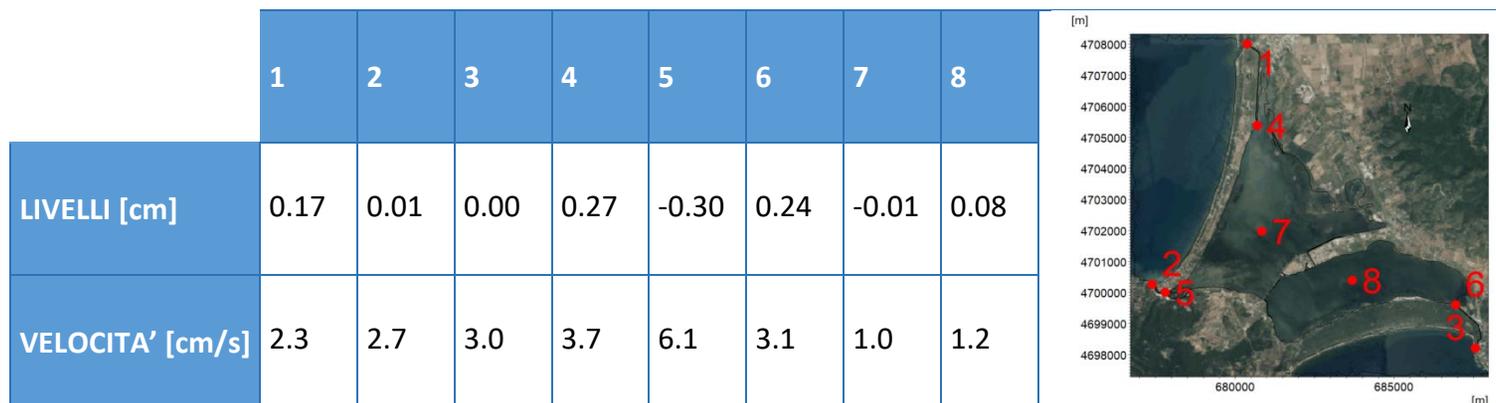
VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]



VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



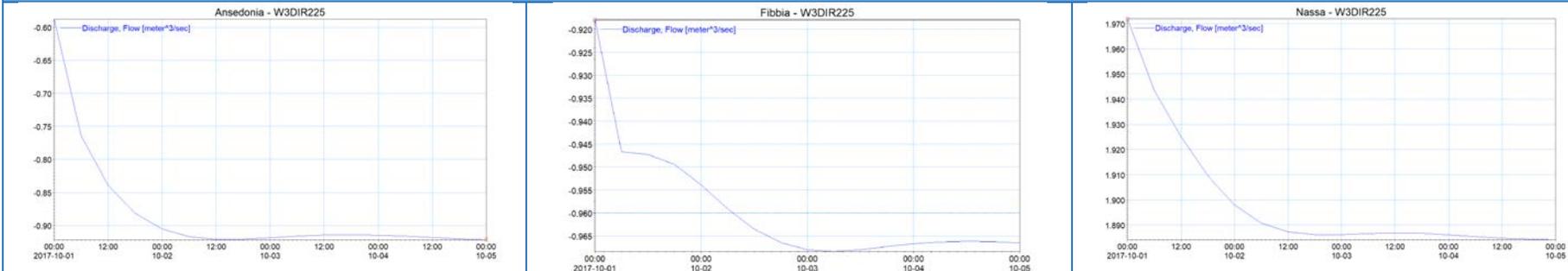
ALLEGATO A40 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 3M/S PROVENIENTE DA 225°N



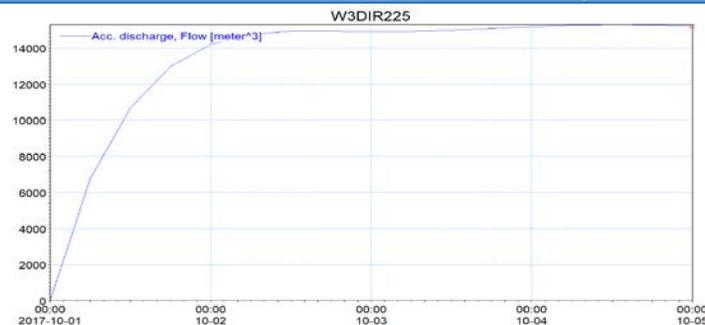
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-0.92	-0.97	1.88



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

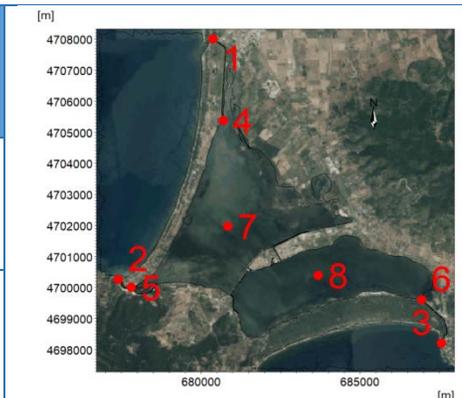
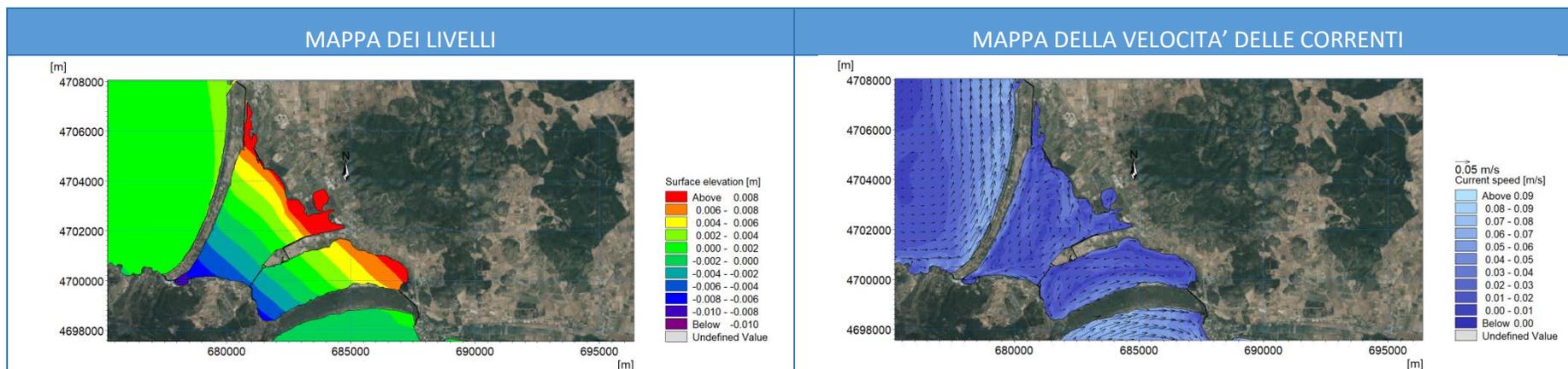


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

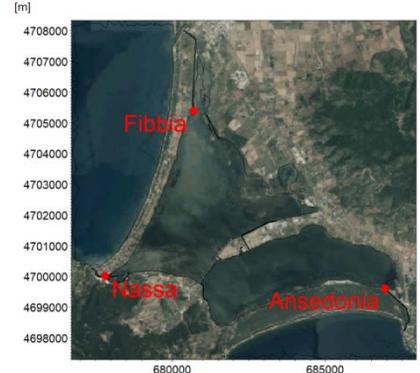


ALLEGATO A41 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 5M/S PROVENIENTE DA 225°N

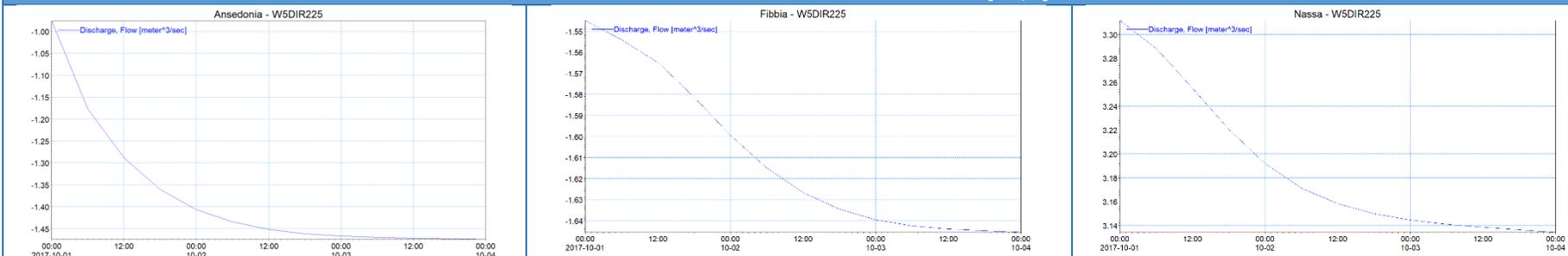
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.44	0.01	0.03	0.72	-0.85	0.66	-0.03	0.22
VELOCITA' [cm/s]	3.9	4.6	4.7	6.3	10.2	5.0	1.7	2.0

	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-1.47	-1.65	3.12



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

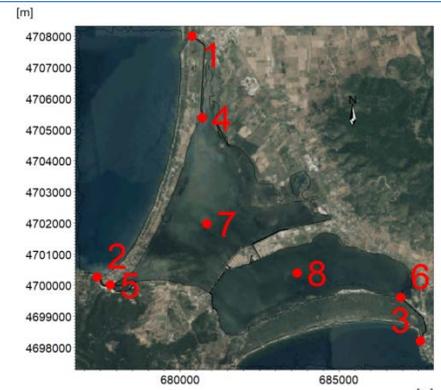
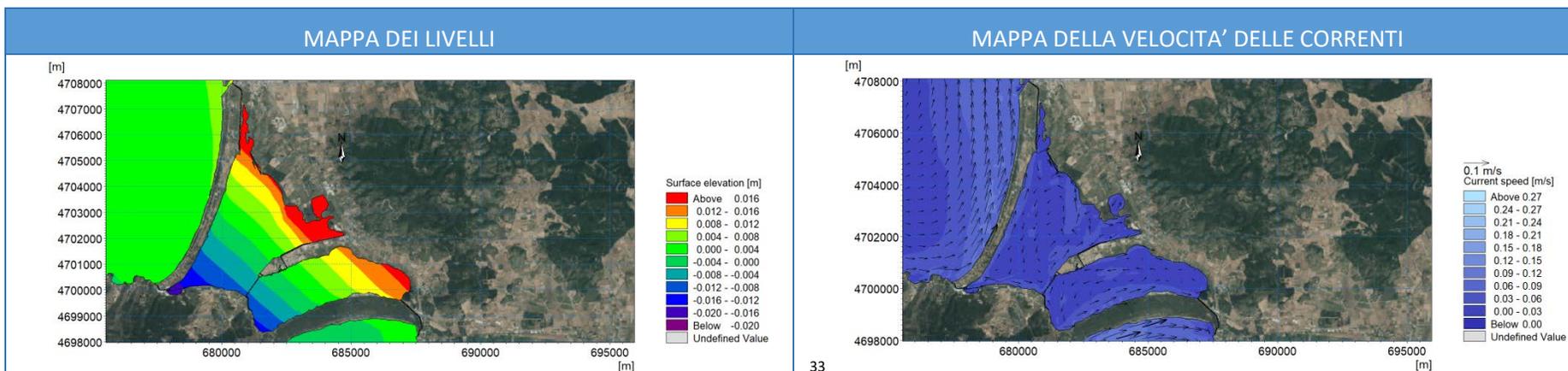


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

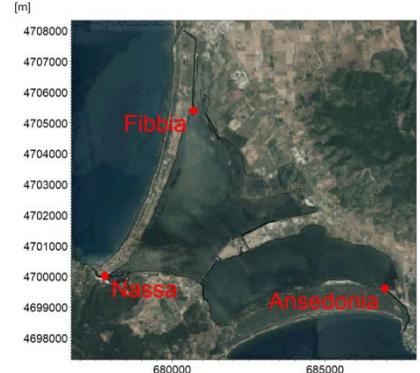


ALLEGATO A42 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 7M/S PROVENIENTE DA 225°N

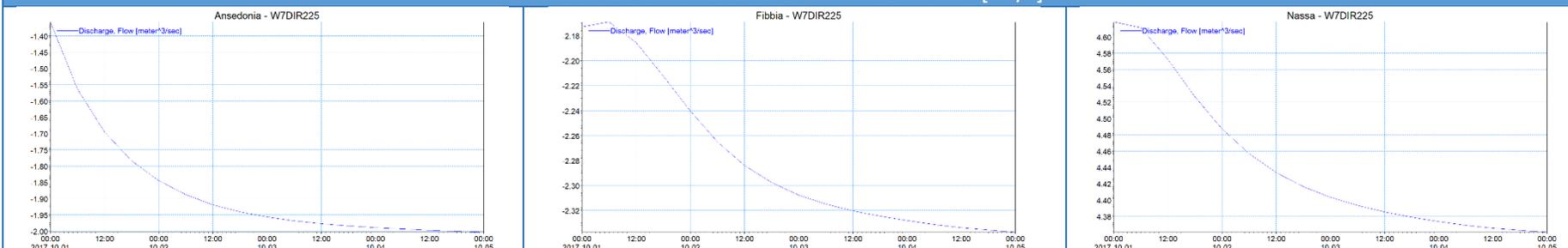
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.82	0.00	0.09	1.39	-1.68	1.28	-0.06	0.41
VELOCITA' [cm/s]	5.6	6.4	6.5	8.9	14.2	6.8	2.4	2.8

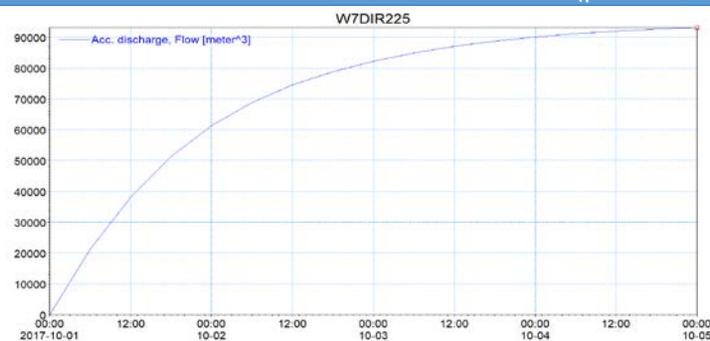
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-2.00	-2.35	4.35



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

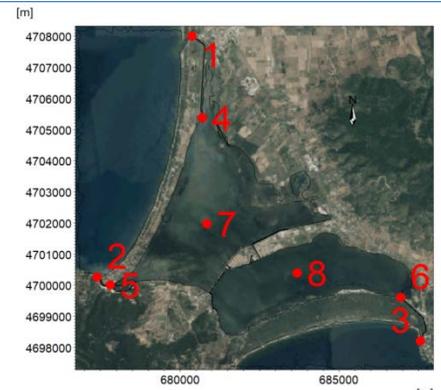
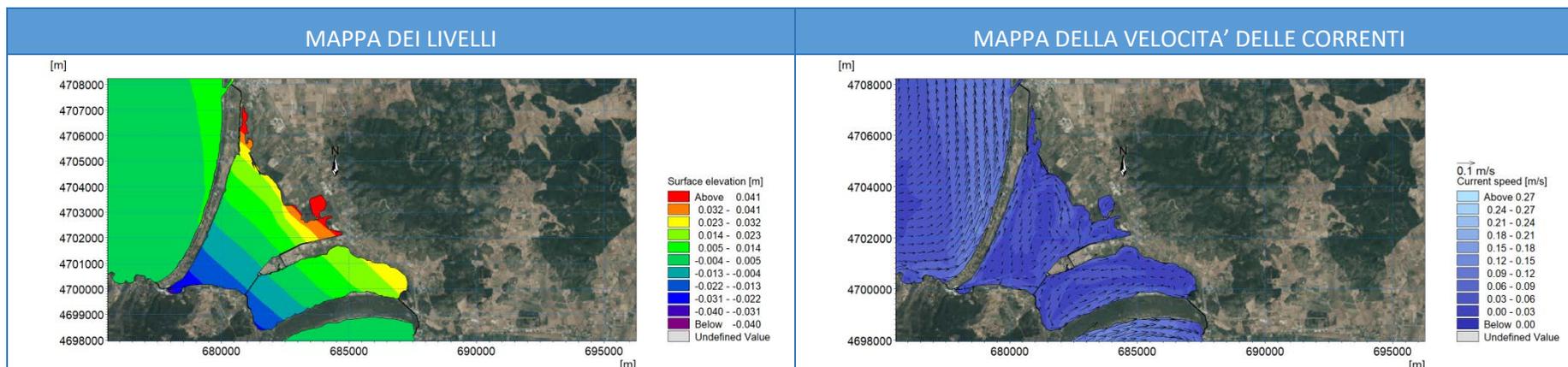


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

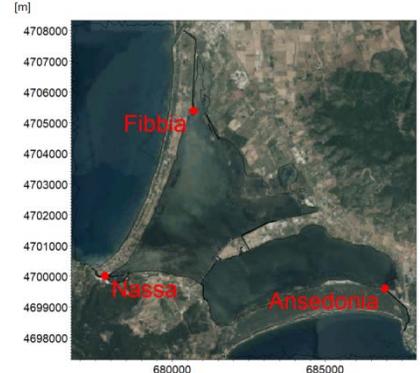


ALLEGATO A43 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 9M/S PROVENIENTE DA 225°N

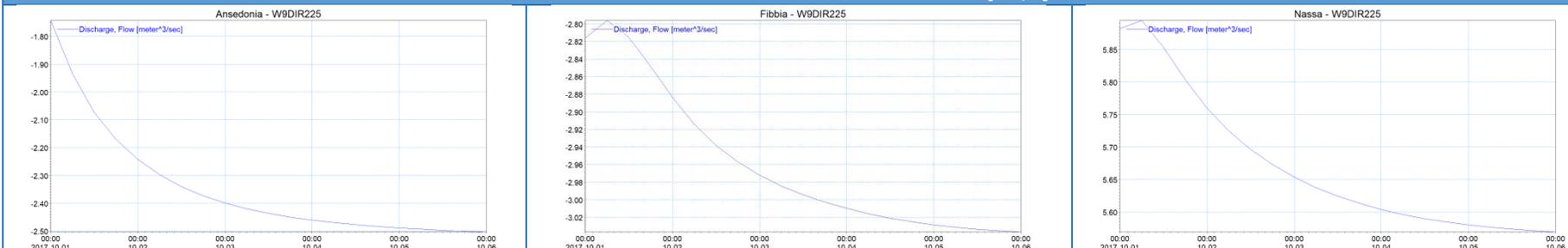
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	1.30	-0.01	0.21	2.26	-2.81	2.07	-0.13	0.65
VELOCITA' [cm/s]	7.2	8.1	8.1	11.5	18.3	8.4	3.1	3.6

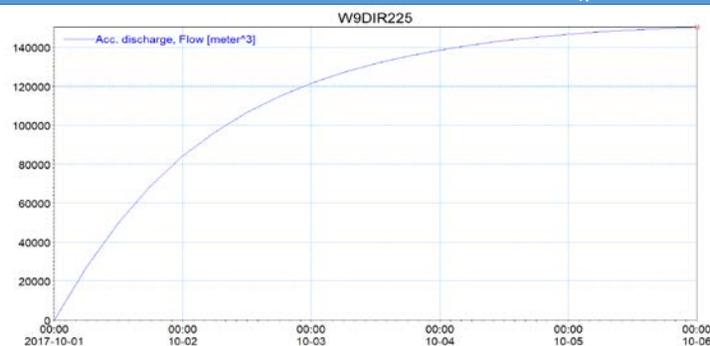
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-2.51	-3.05	5.56



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

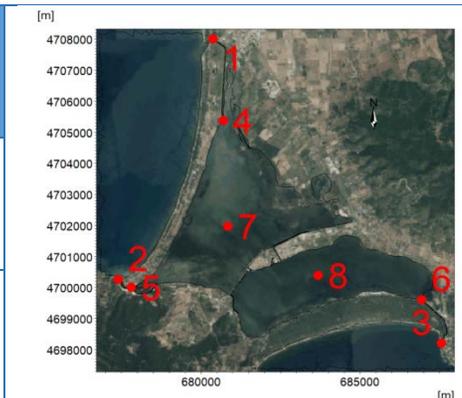
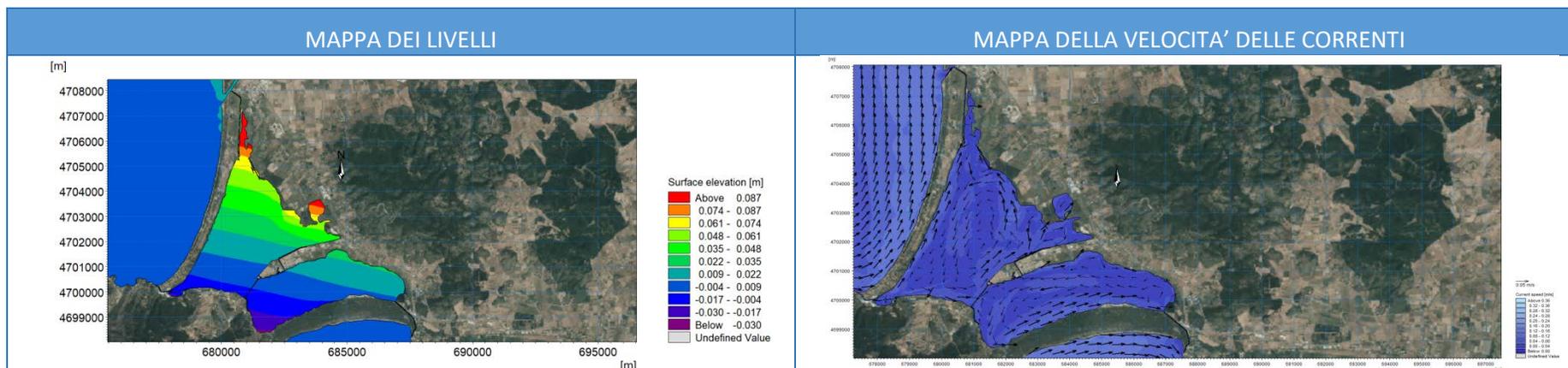


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

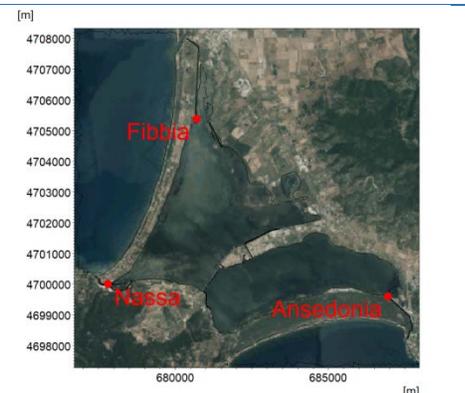


ALLEGATO A44 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 11M/S PROVENIENTE DA 225°N

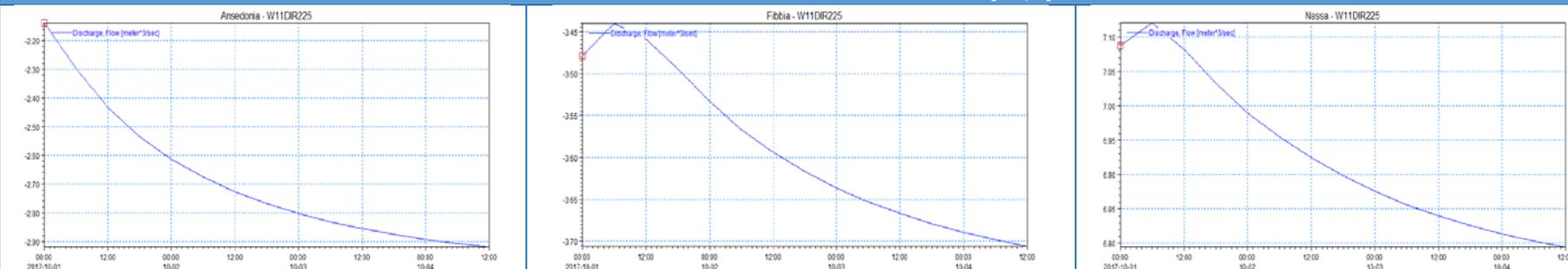
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	1.89	-0.03	0.39	3.24	-4.31	2.96	-0.32	0.84
VELOCITA' [cm/s]	1.9	9.9	9.4	13.9	22.6	9.8	3.8	4.4

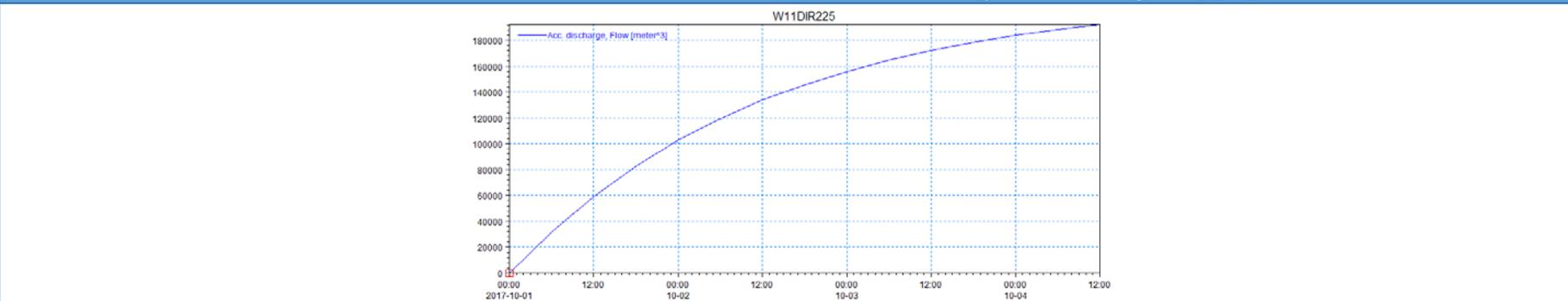
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-2.96	-3.77	6.73



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

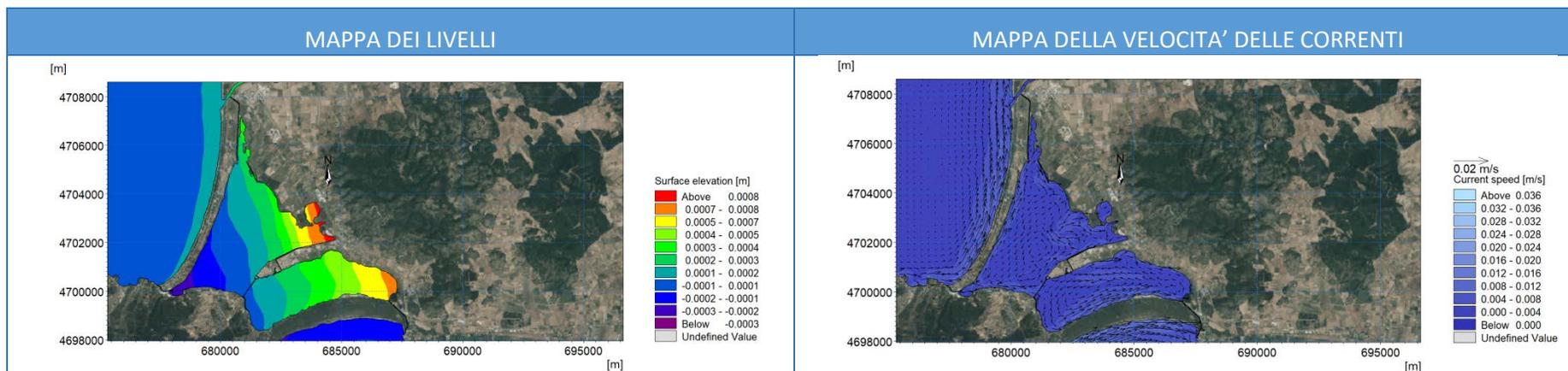
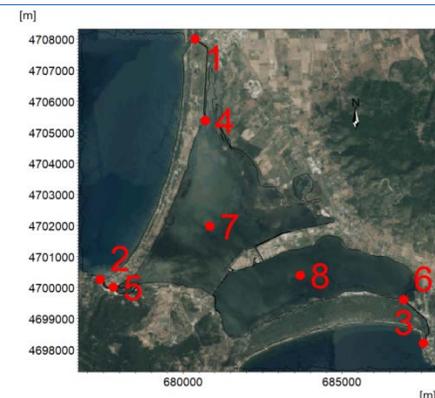


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A45 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 1M/S PROVENIENTE DA 255°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.02	0.00	-0.01	0.02	-0.03	0.06	0.00	0.03
VELOCITA' [cm/s]	0.2	0.9	1.8	0.2	2.0	1.9	0.3	0.4



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-0.57	-0.05	0.62



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

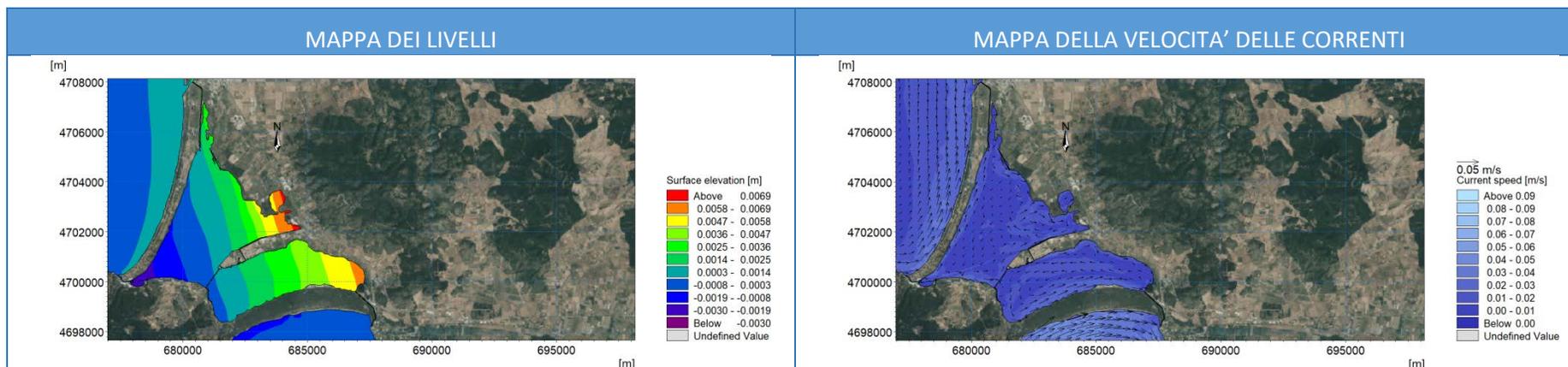
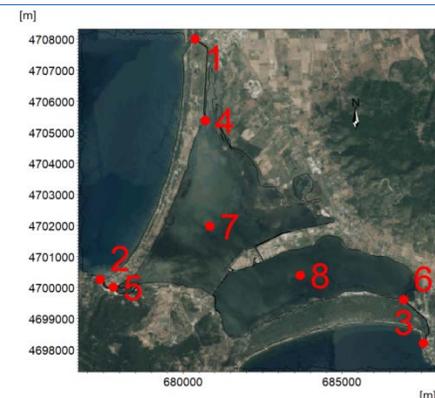


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A46 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 3M/S PROVENIENTE DA 255°N

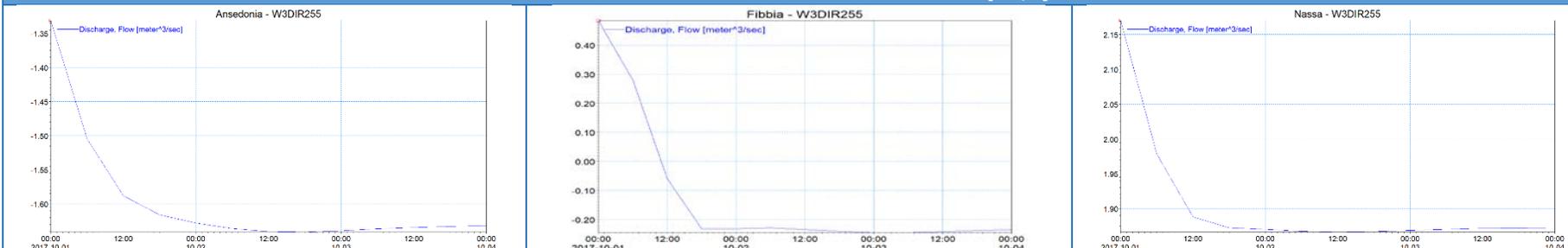
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.14	0.02	-0.02	0.12	-0.26	0.54	0.03	0.26
VELOCITA' [cm/s]	1.0	2.7	5.2	0.9	6.0	5.5	0.8	1.3



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-1.63	-0.24	1.87



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

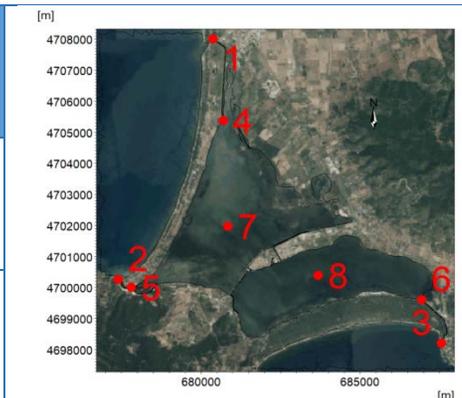
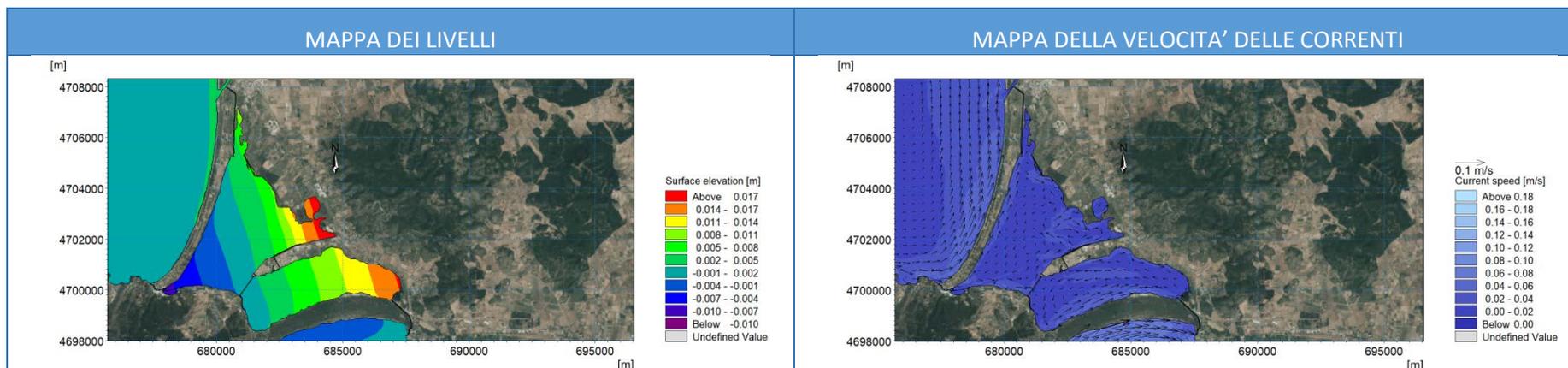


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A47 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 5M/S PROVENIENTE DA 255°N

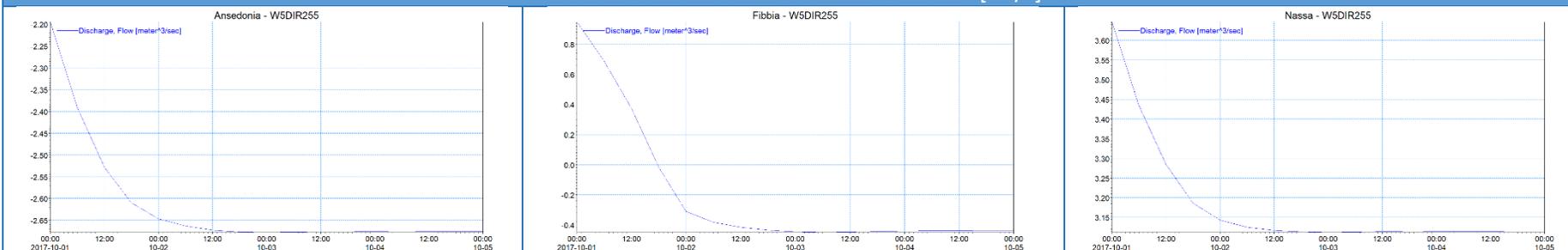
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.37	0.04	-0.01	0.32	-0.74	1.49	0.08	0.73
VELOCITA' [cm/s]	1.8	4.5	8.5	1.6	10.1	9.0	1.4	2.1

	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-2.68	-0.44	3.11



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

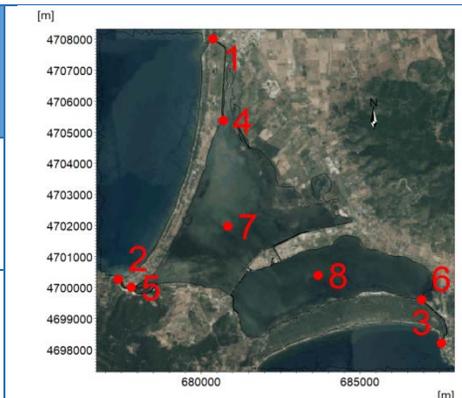
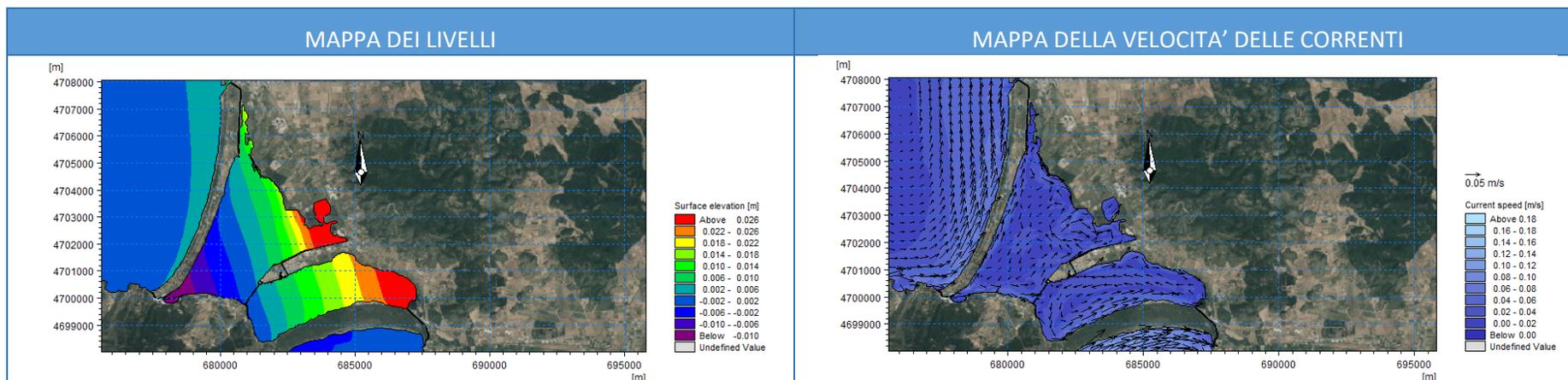


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

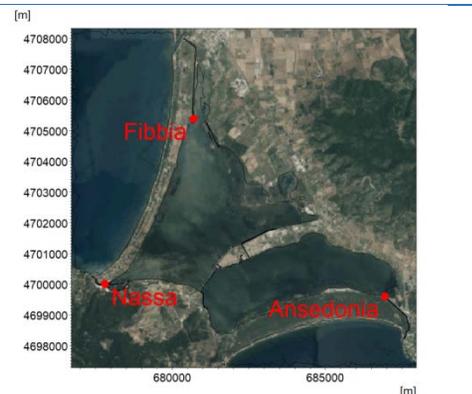


ALLEGATO A48 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 7M/S PROVENIENTE DA 255°N

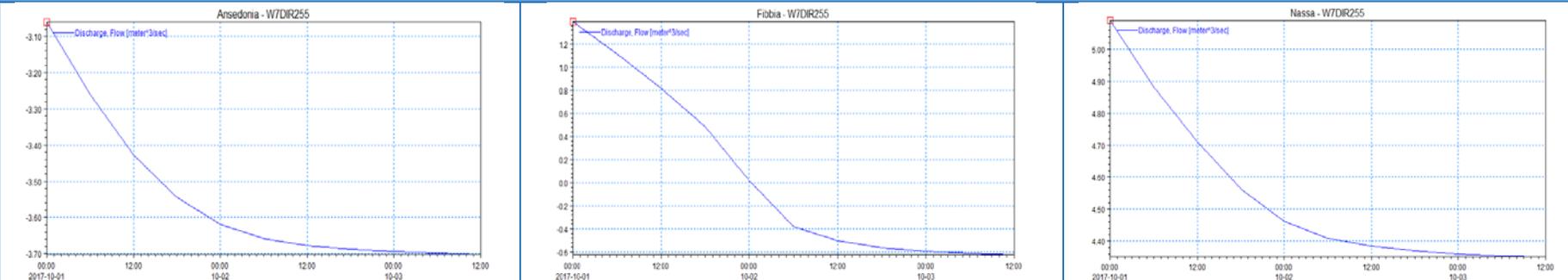
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.71	0.07	0.07	0.61	-1.46	2.88	0.14	1.40
VELOCITA' [cm/s]	2.5	6.4	11.8	2.3	14.2	12.4	2.0	2.9

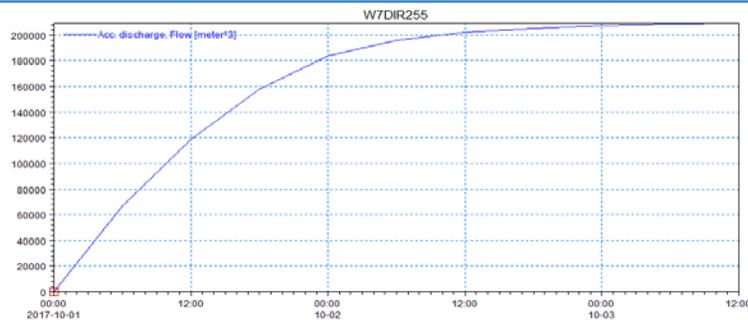
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-3.70	-0.62	4.33



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

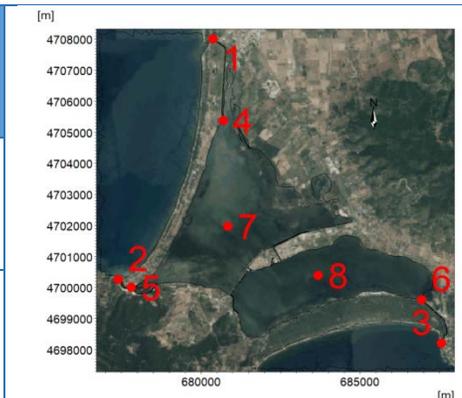
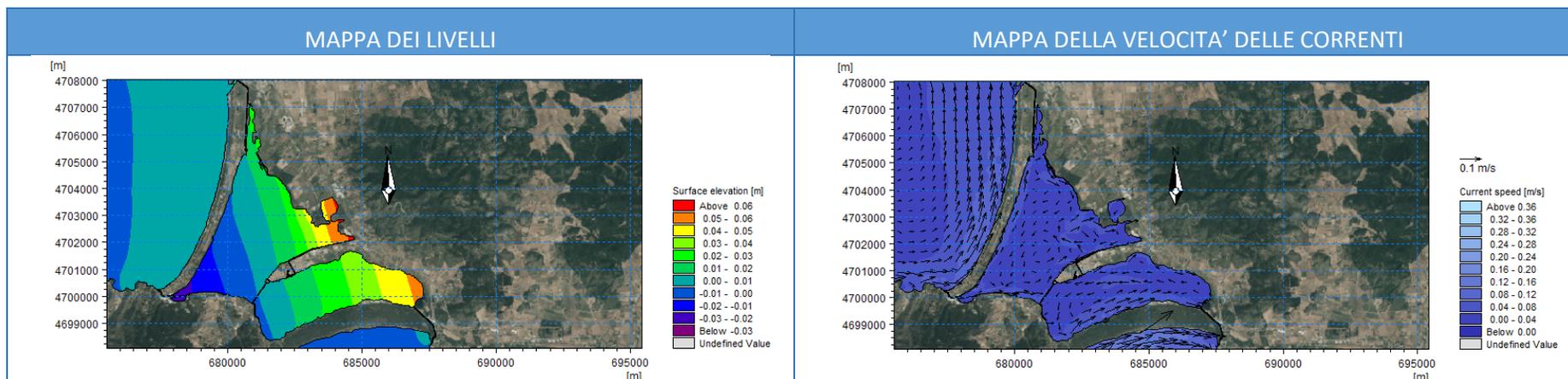


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A49– RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 9M/S PROVENIENTE DA 255°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	1.30	-0.01	0.21	2.26	-2.81	2.07	-0.13	0.65
VELOCITA' [cm/s]	7.2	8.1	8.1	11.5	18.3	8.4	3.1	3.6

	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-4.75	-0.81	5.56

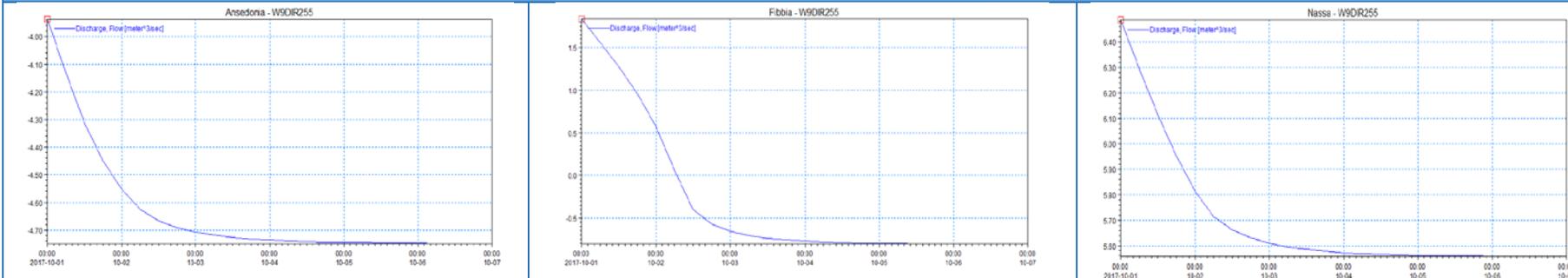


[m]

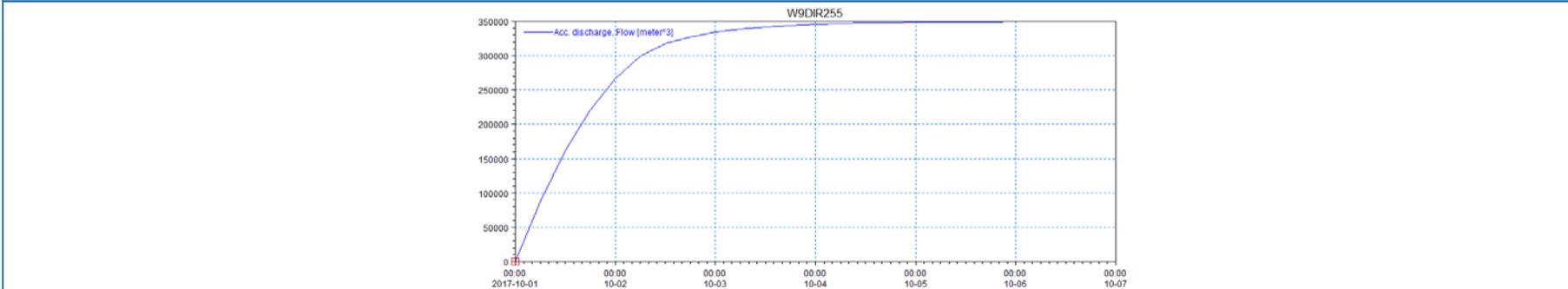
4708000
4707000
4706000
4705000
4704000
4703000
4702000
4701000
4700000
4699000
4698000

680000 685000 [m]

VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

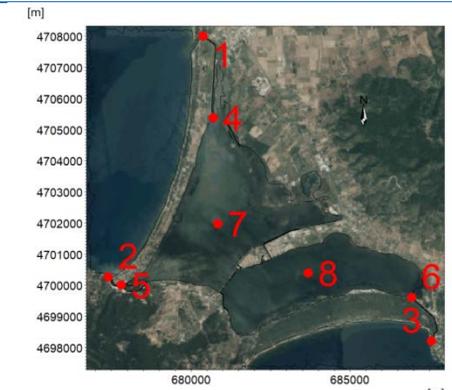
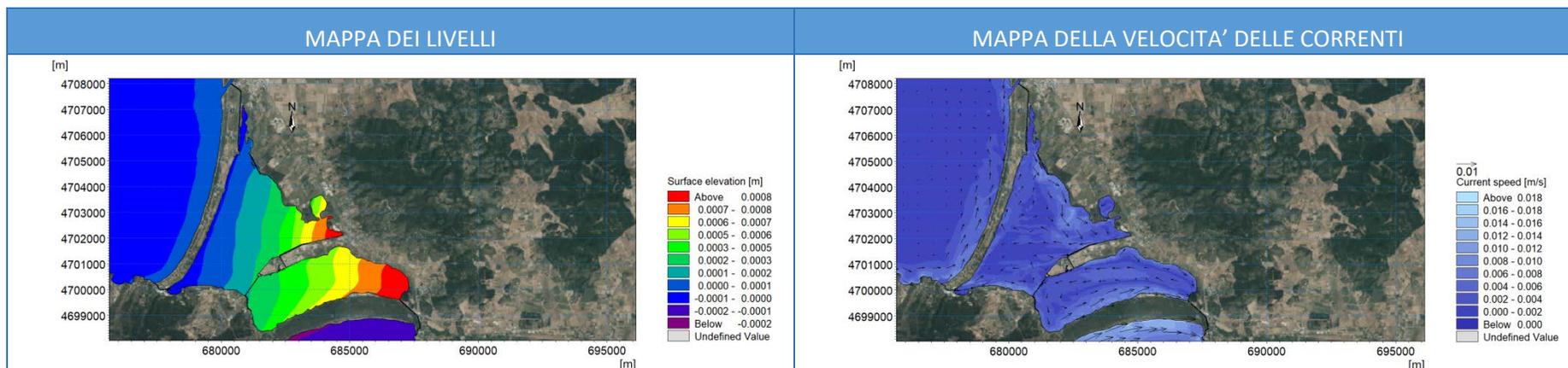


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

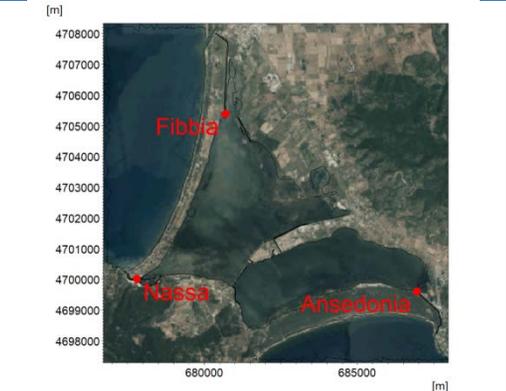


ALLEGATO A50 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 1M/S PROVENIENTE DA 285°N

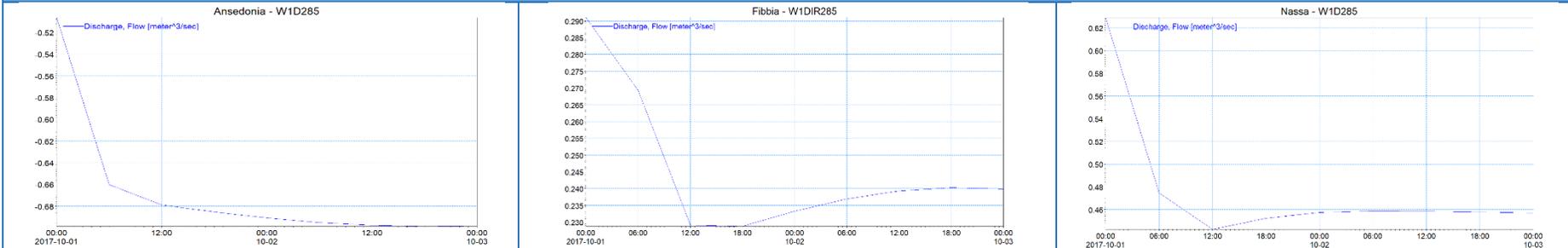
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.09	0.02	0.05
VELOCITA' [cm/s]	0.5	0.7	2.2	0.9	1.5	2.4	0.2	0.4

	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-0.70	0.24	0.46



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

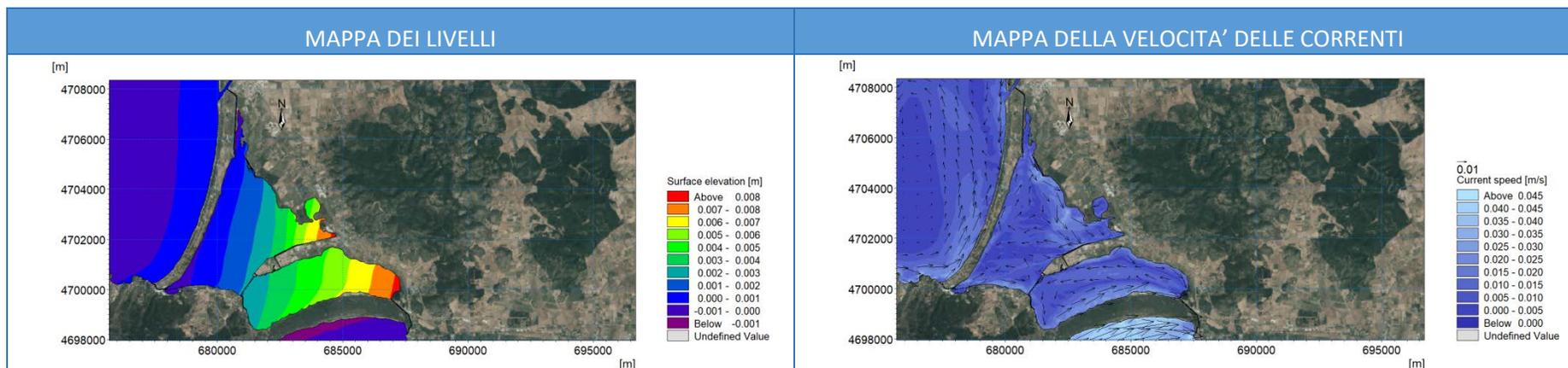


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

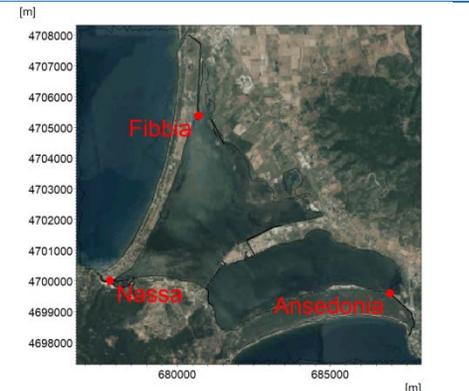


ALLEGATO A51 – RISULTATI PER VENTO CON DI VELOCITÀ 3M/S PROVENIENTE DA 285°N

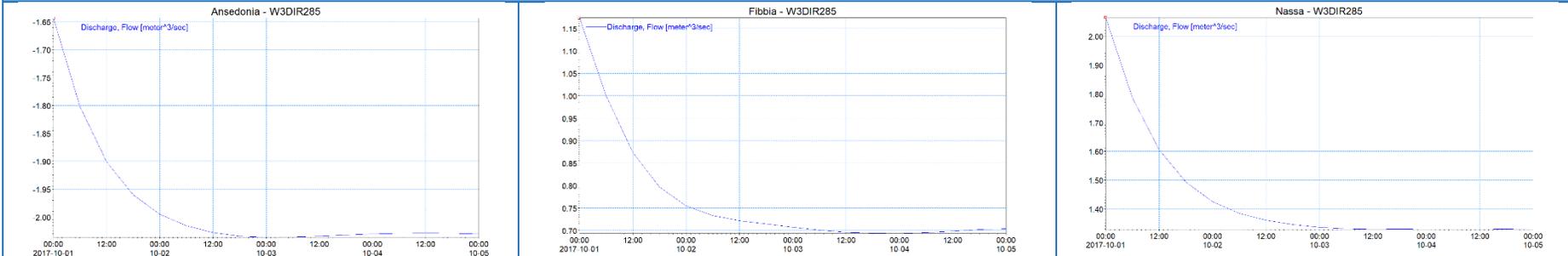
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.06	0.02	-0.04	0.02	-0.09	0.77	0.14	0.45
VELOCITA' [cm/s]	1.4	2.1	6.4	2.6	4.3	6.9	0.6	1.1

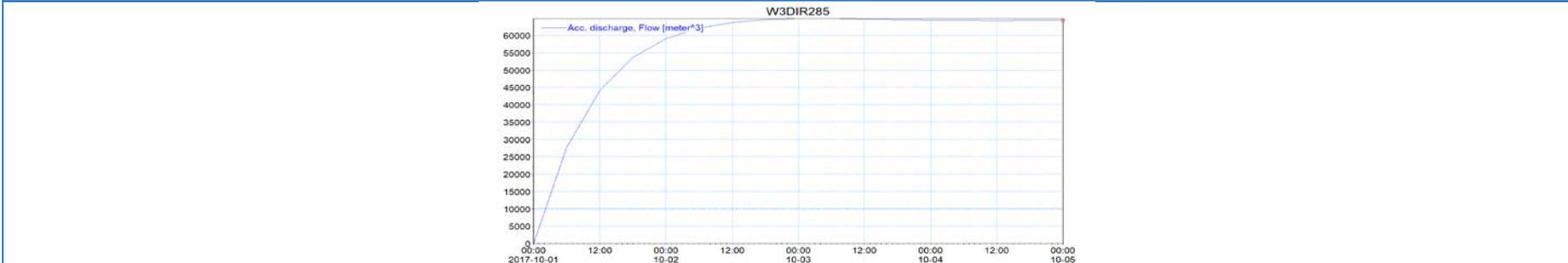
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-2.03	0.70	1.33



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

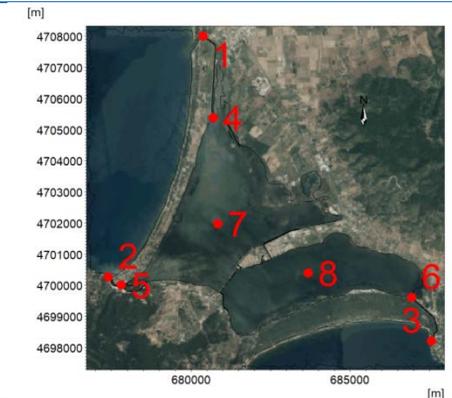


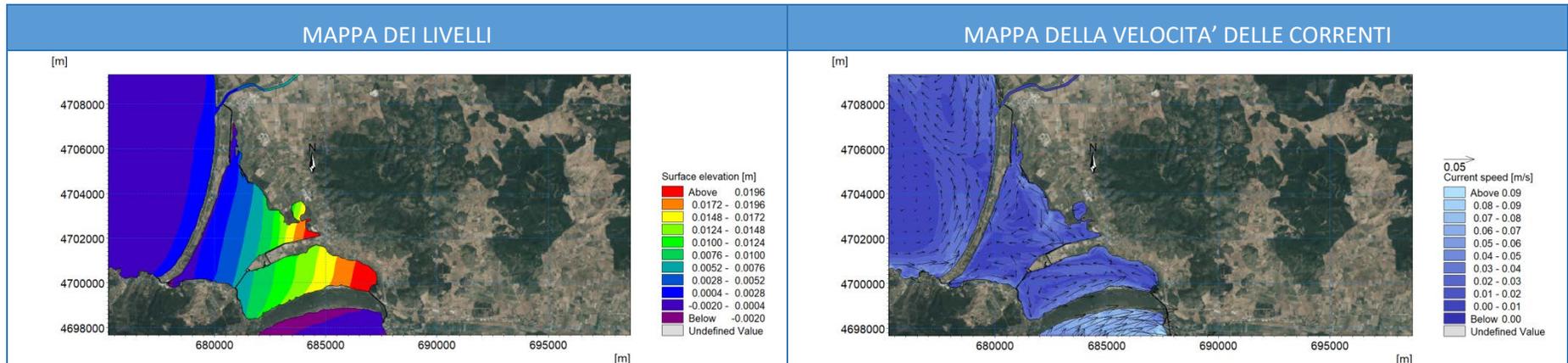
VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



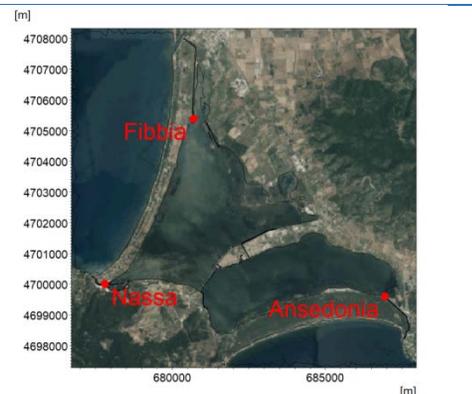
ALLEGATO A52 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 5M/S PROVENIENTE DA 285°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.17	0.06	-0.05	0.06	-0.23	2.13	0.39	1.26
VELOCITA' [cm/s]	2.2	3.4	10.6	4.2	7.1	11.3	1.0	1.9

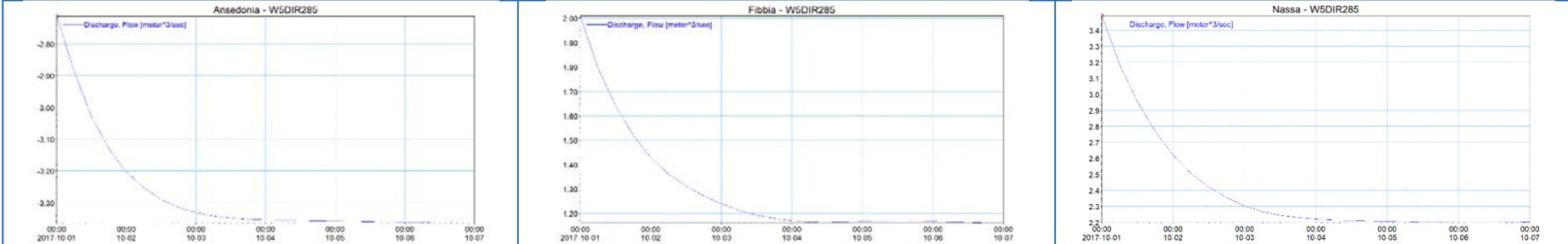




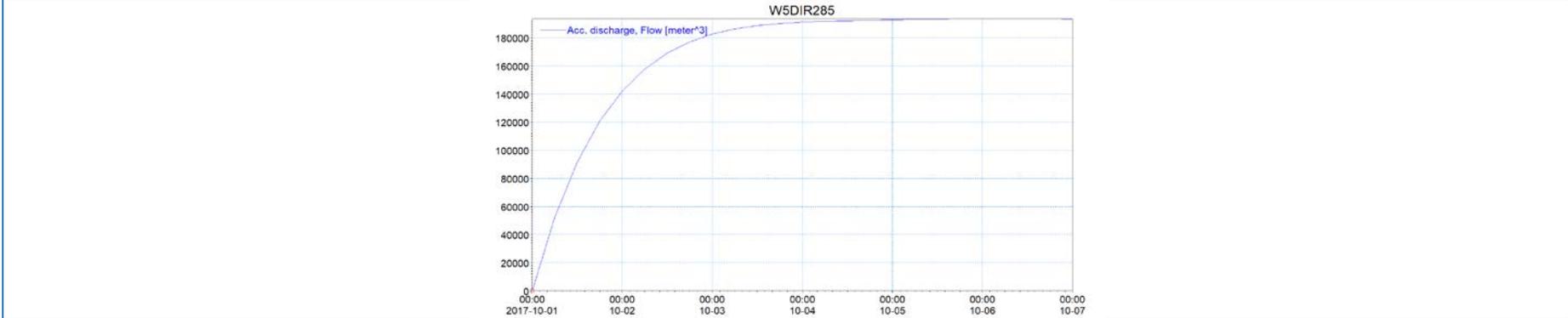
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-3.36	1.16	2.20



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

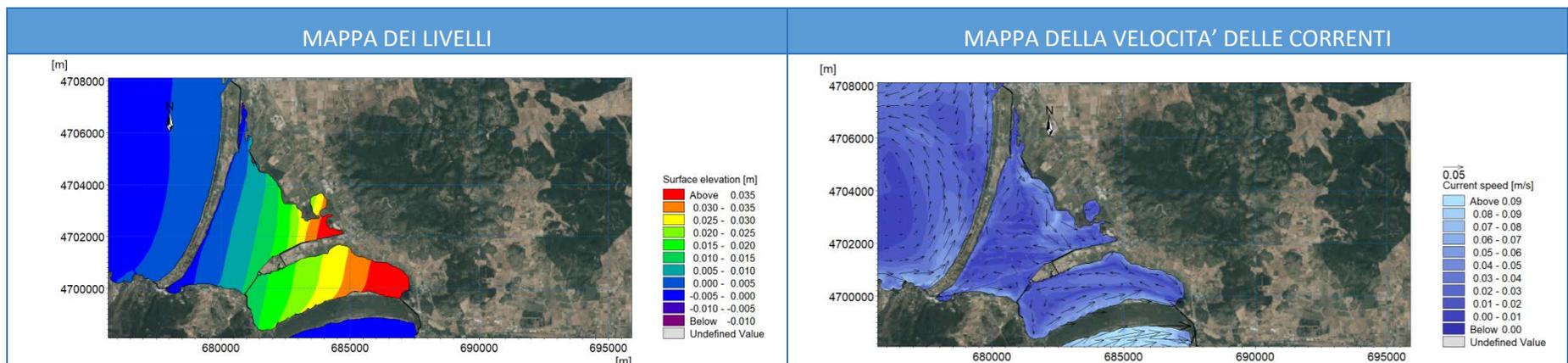
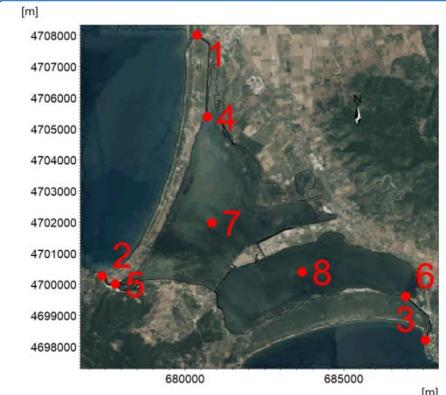


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

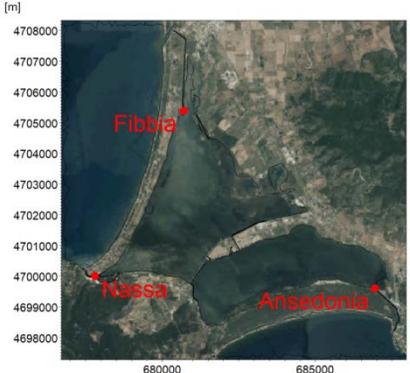
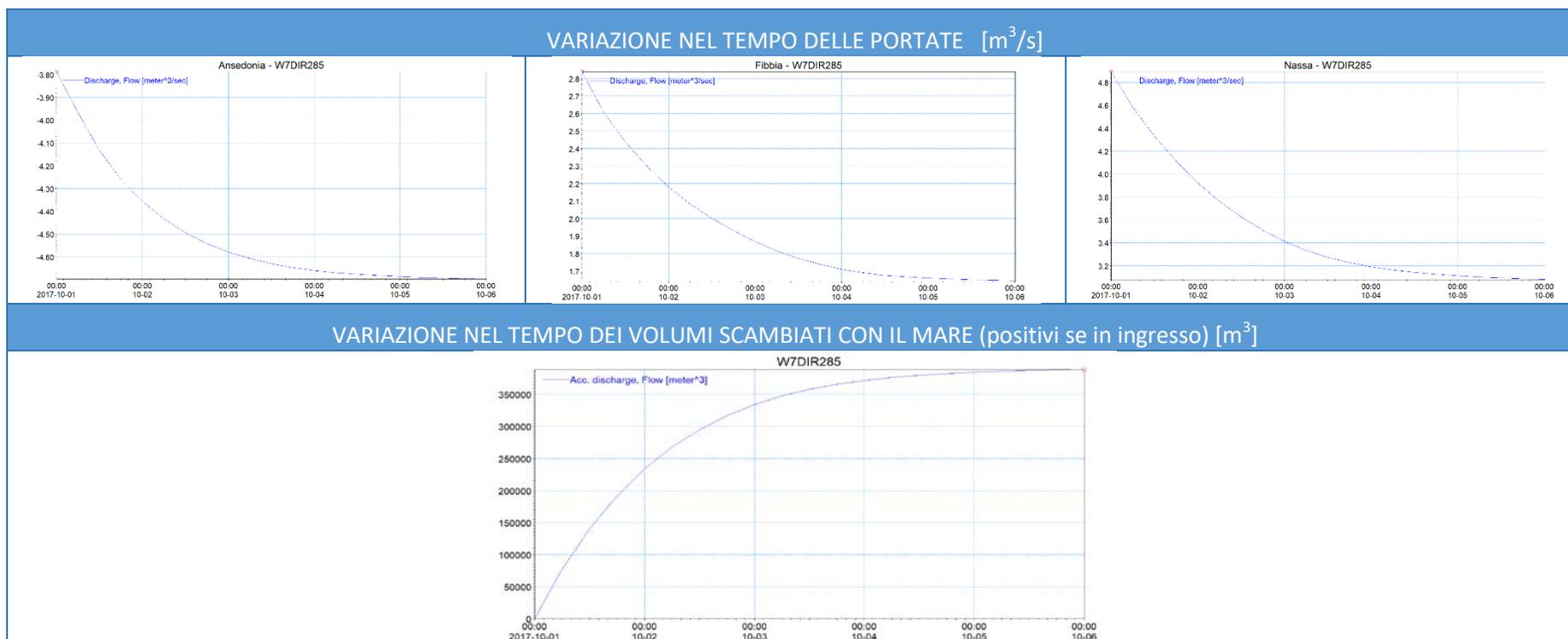


ALLEGATO A53 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 7M/S PROVENIENTE DA 285°N

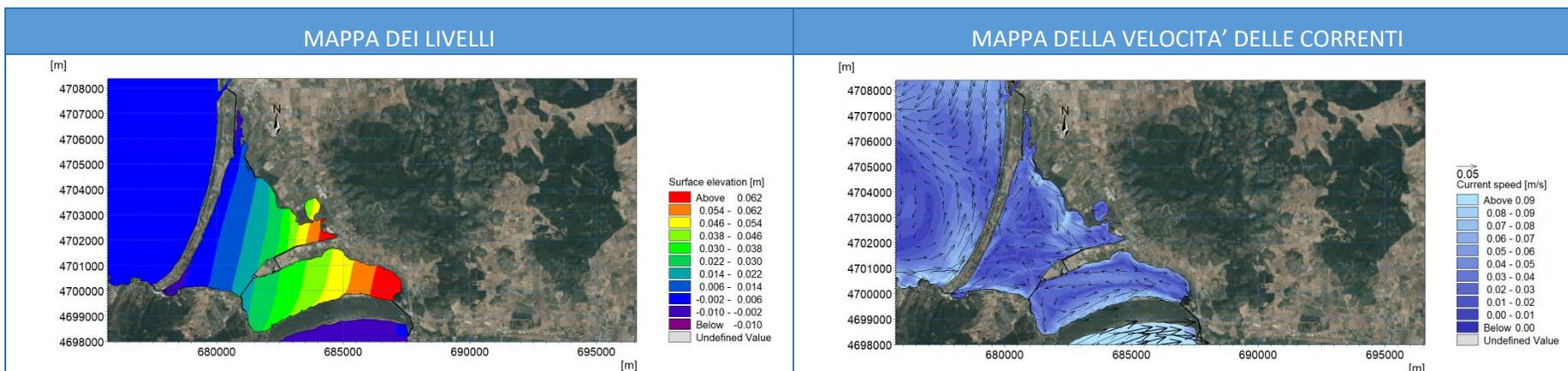
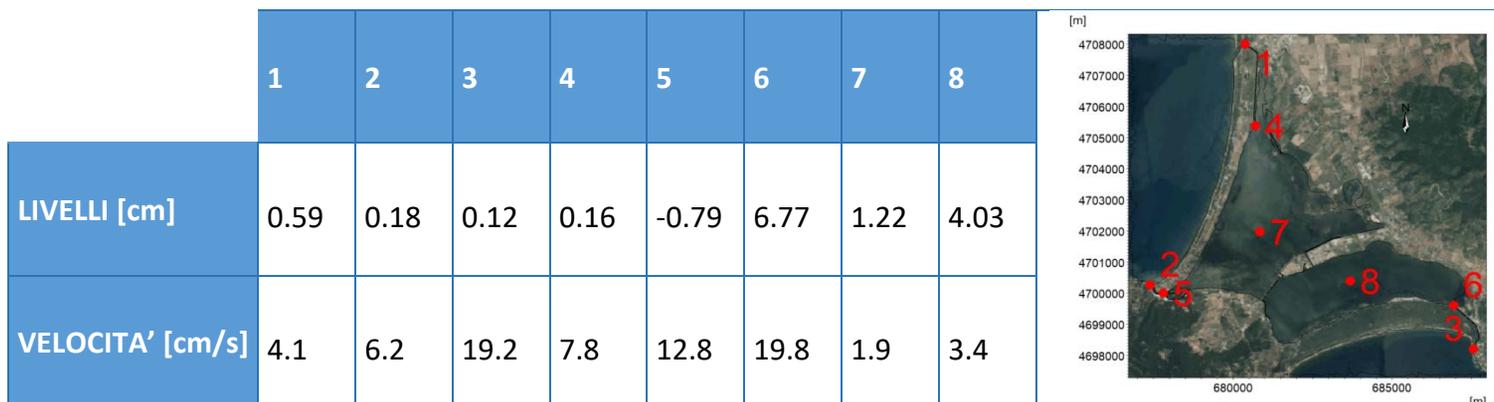
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.35	0.12	0.01	0.09	-0.48	4.12	0.74	2.44
VELOCITA' [cm/s]	3.2	4.8	14.8	6.1	10.0	15.5	1.5	2.6



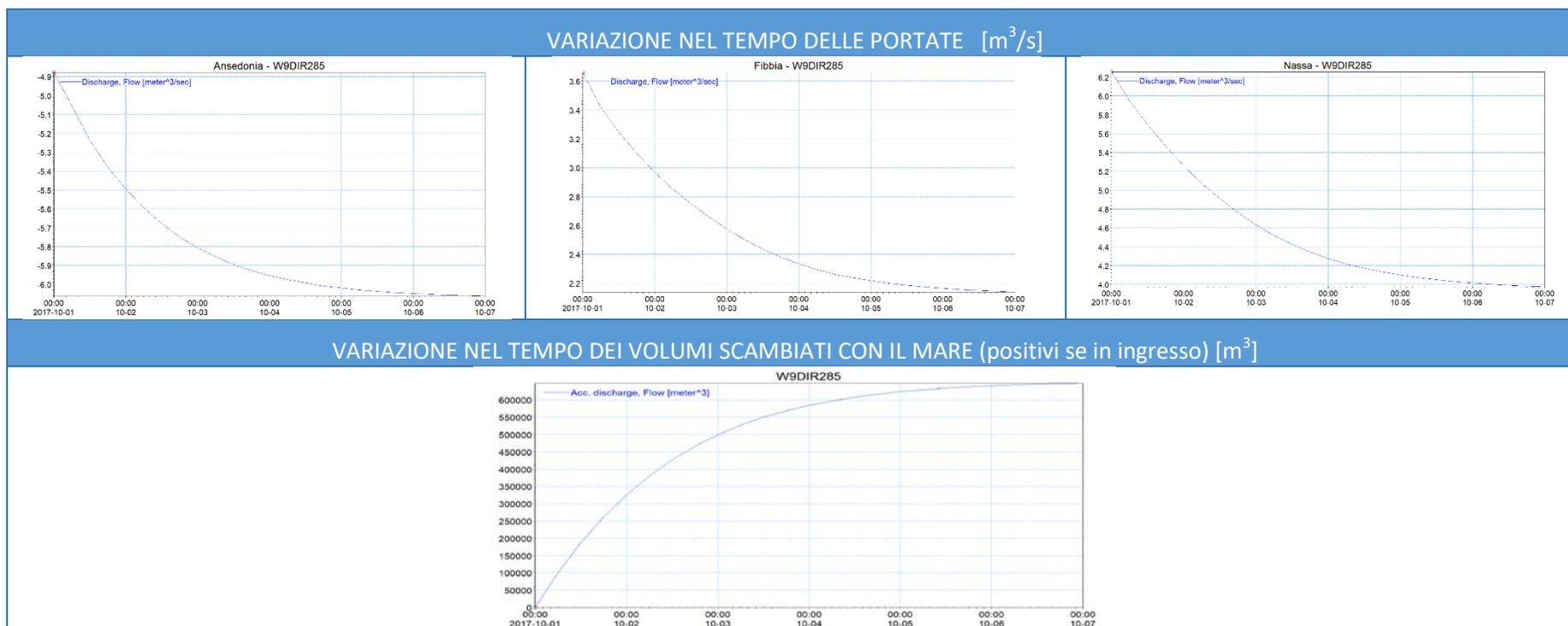
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-4.70	1.63	3.07

ALLEGATO A54 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 9M/S PROVENIENTE DA 285°N

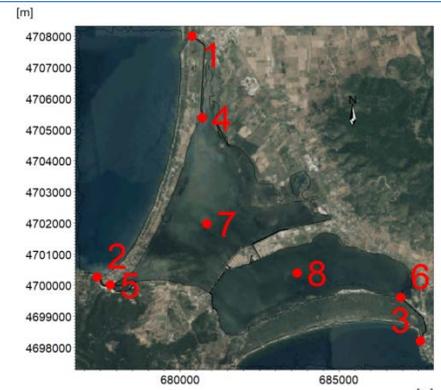
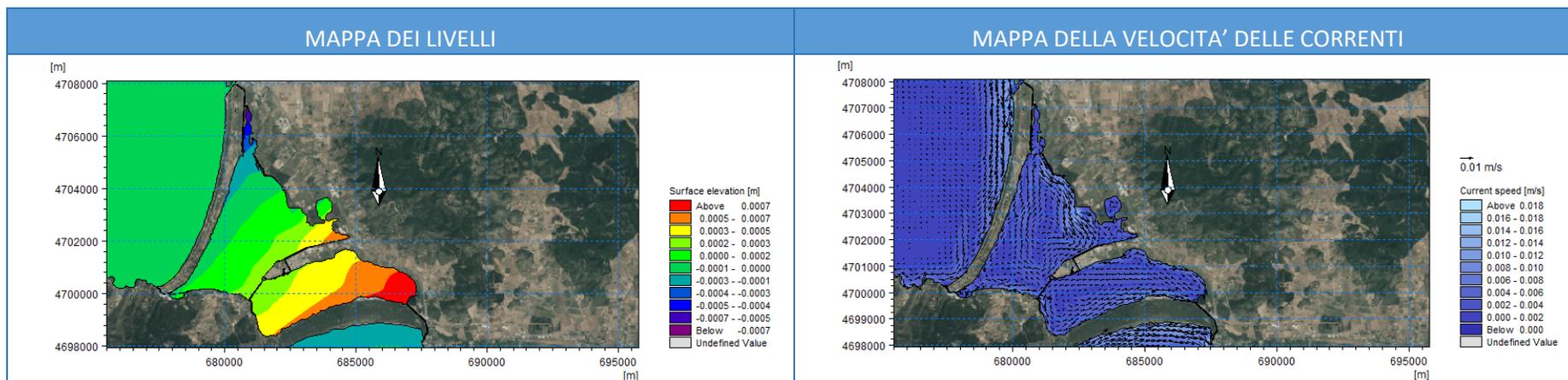


	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-6.08	2.12	3.96

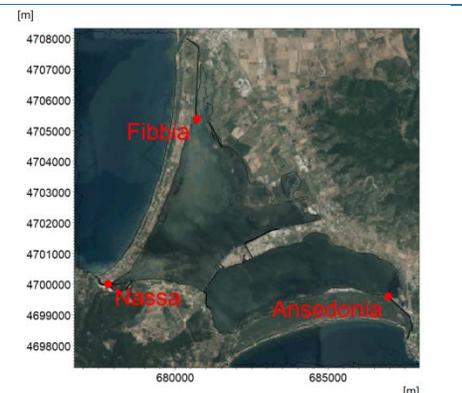



ALLEGATO A55 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 1M/S PROVENIENTE DA 315°N

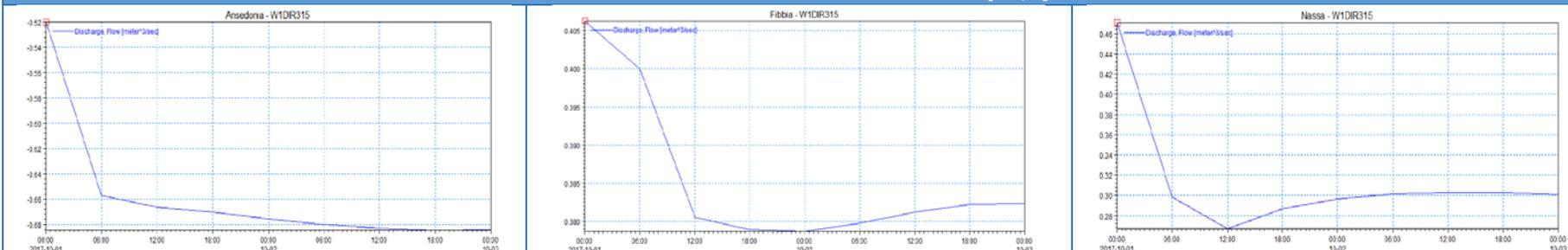
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	0.00	0.07	0.01	0.04
VELOCITA' [cm/s]	0.8	0.5	2.2	1.4	1.0	2.3	0.3	0.3

	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-0.68	0.38	0.30



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

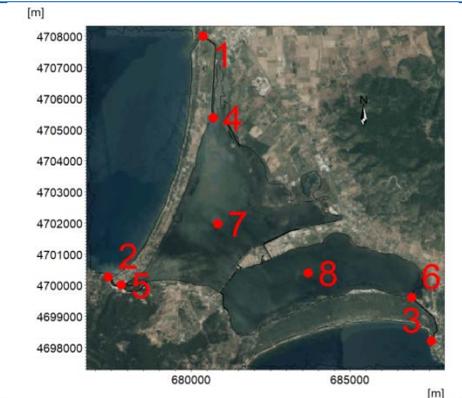
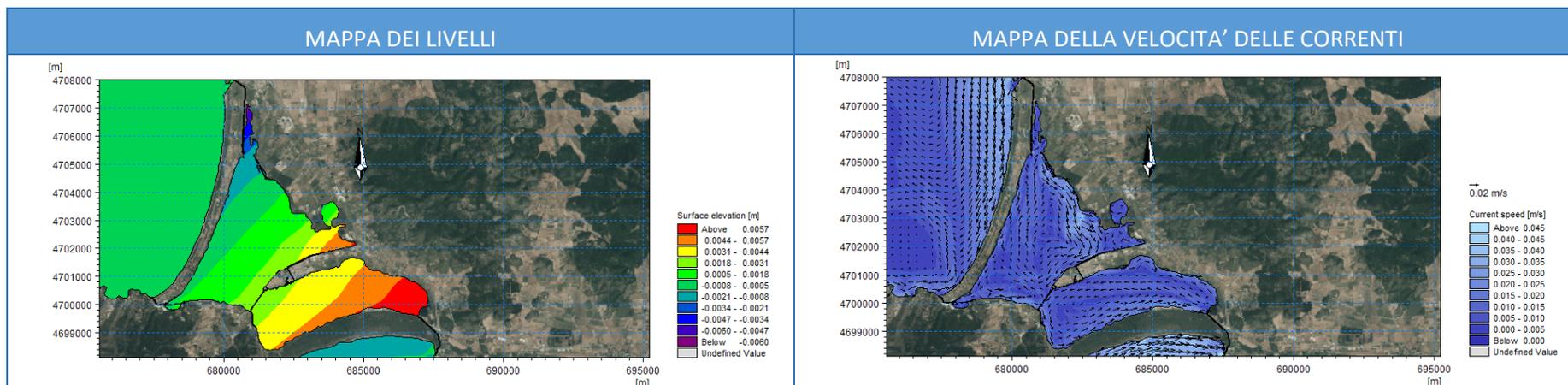


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]



ALLEGATO A56 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 3M/S PROVENIENTE DA 315°N

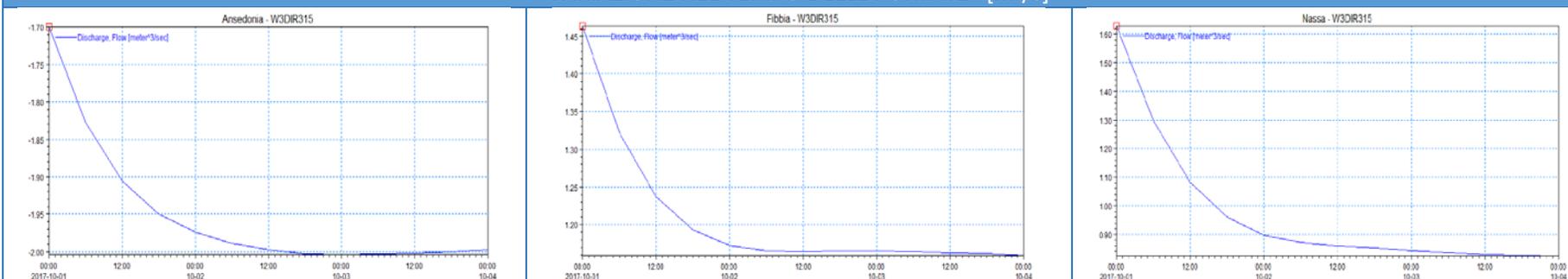
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.03	0.02	-0.05	-0.21	0.02	0.68	0.09	0.41
VELOCITA' [cm/s]	2.5	1.4	6.3	4.3	2.6	6.8	0.8	0.8

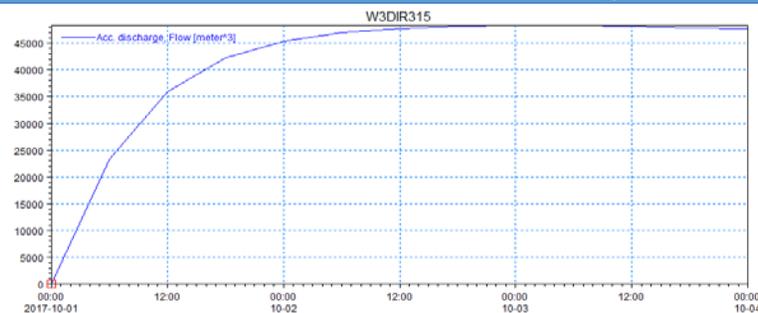
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-1.99	1.16	0.83



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

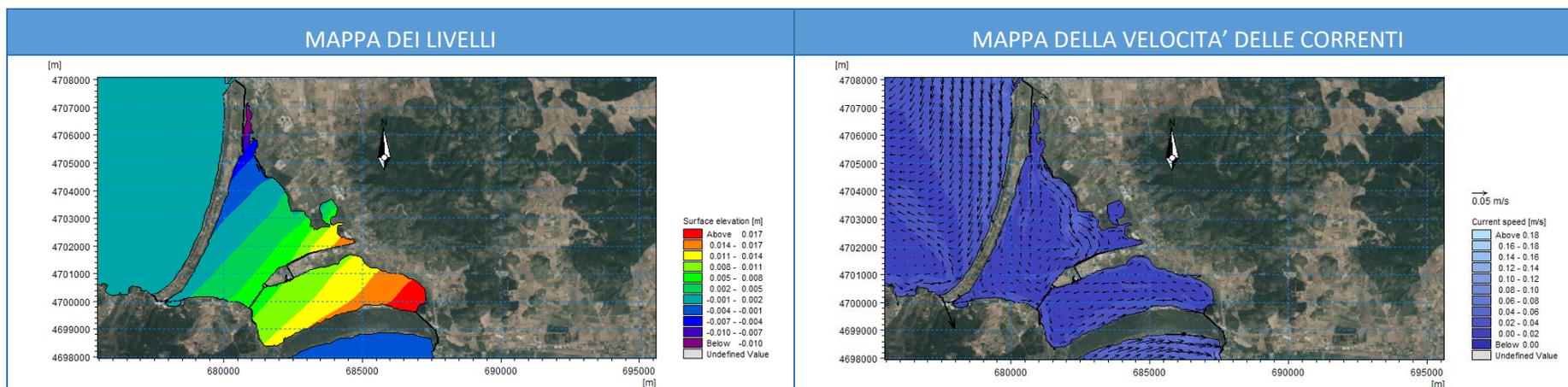
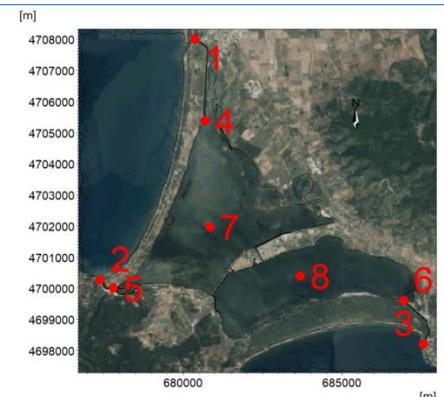


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

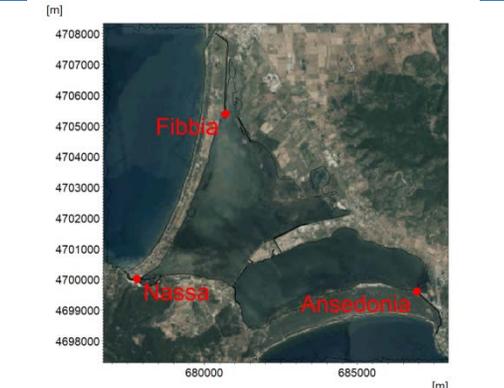


ALLEGATO A57 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 5M/S PROVENIENTE DA 315°N

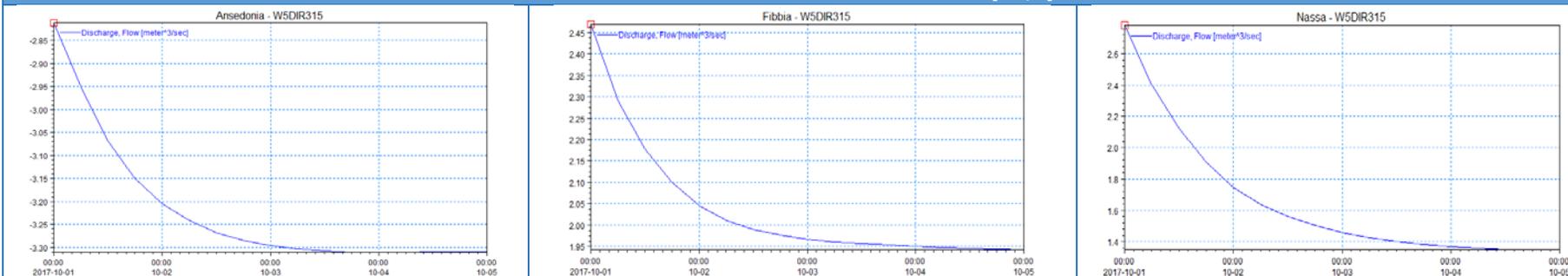
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.06	0.07	-0.08	-0.58	0.05	1.89	0.26	1.14
VELOCITA' [cm/s]	4.2	2.4	10.4	7.2	4.3	11.1	1.4	1.3



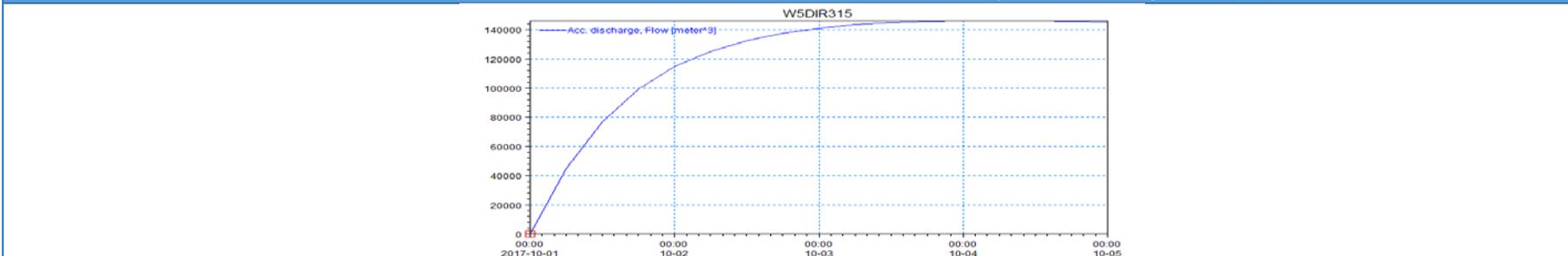
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-3.30	1.94	1.36



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]

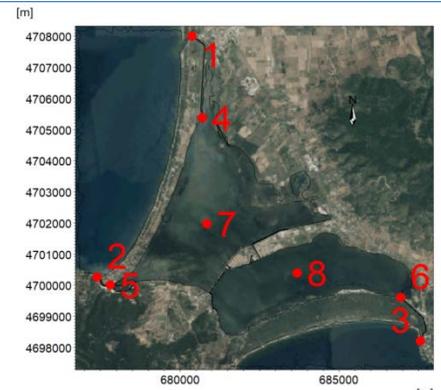
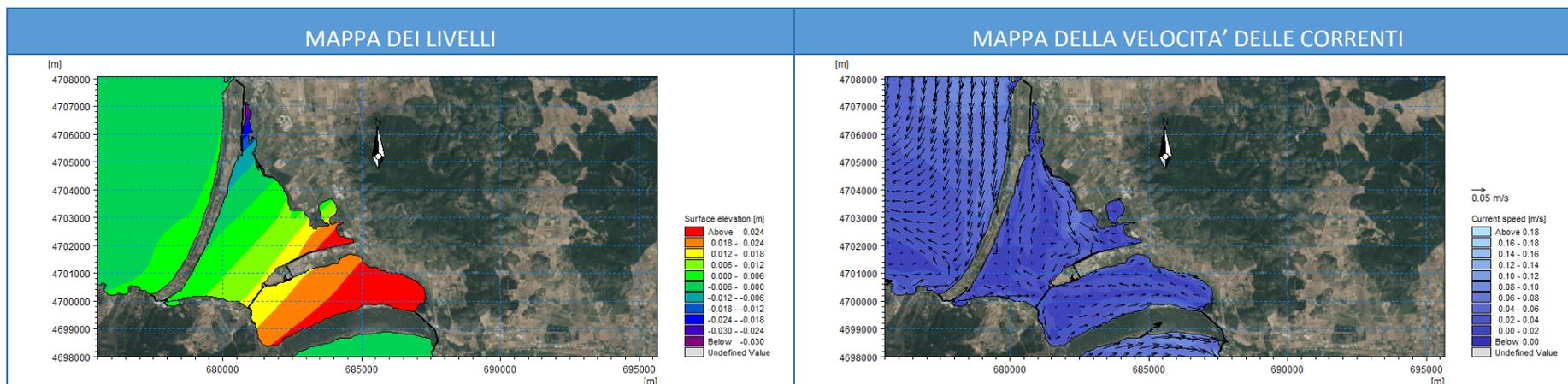


VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

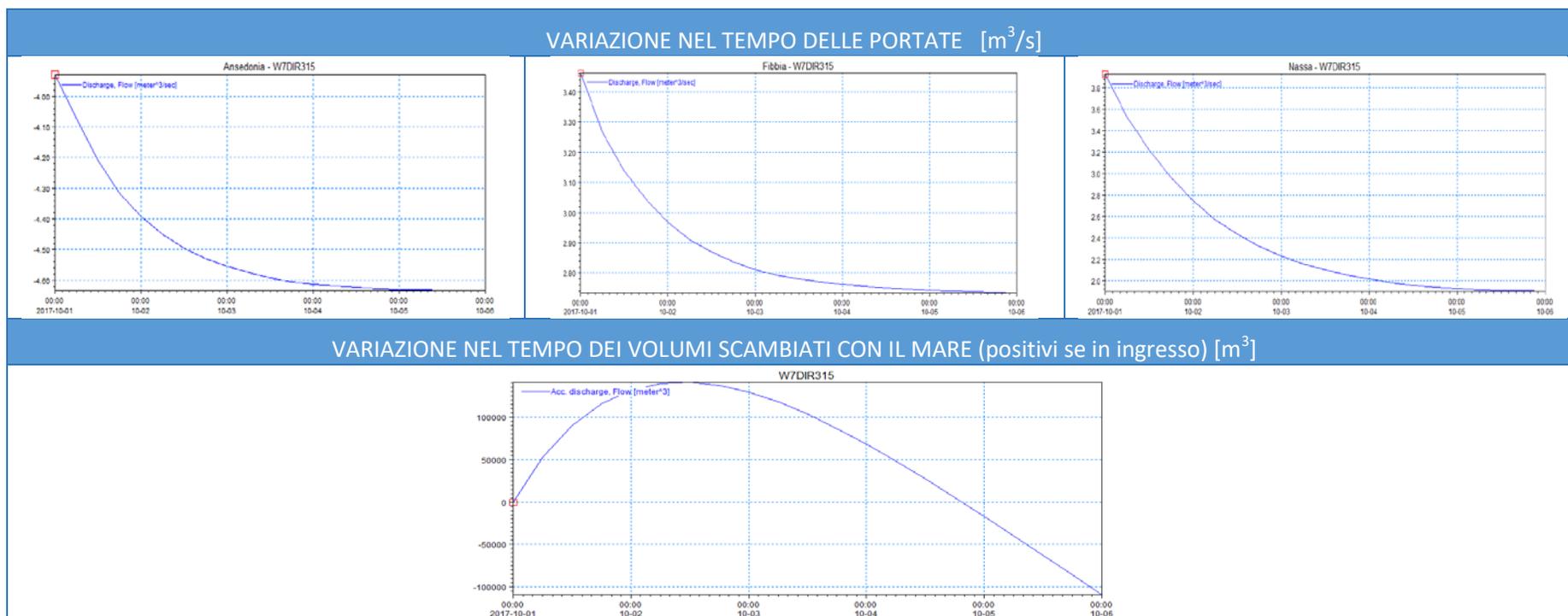
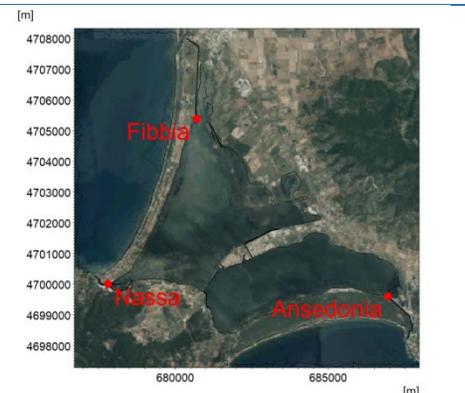


ALLEGATO A58 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 7M/S PROVENIENTE DA 315°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.05	0.15	-0.08	-1.12	0.11	3.71	0.52	2.24
VELOCITA' [cm/s]	6.0	3.3	14.6	10.1	6.1	15.4	1.9	1.9

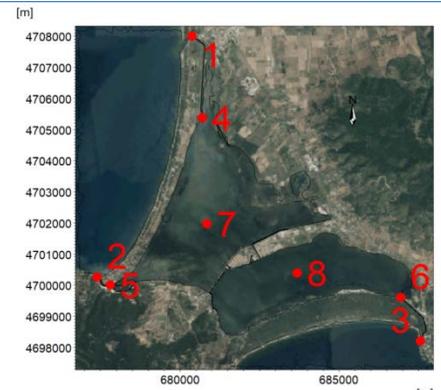
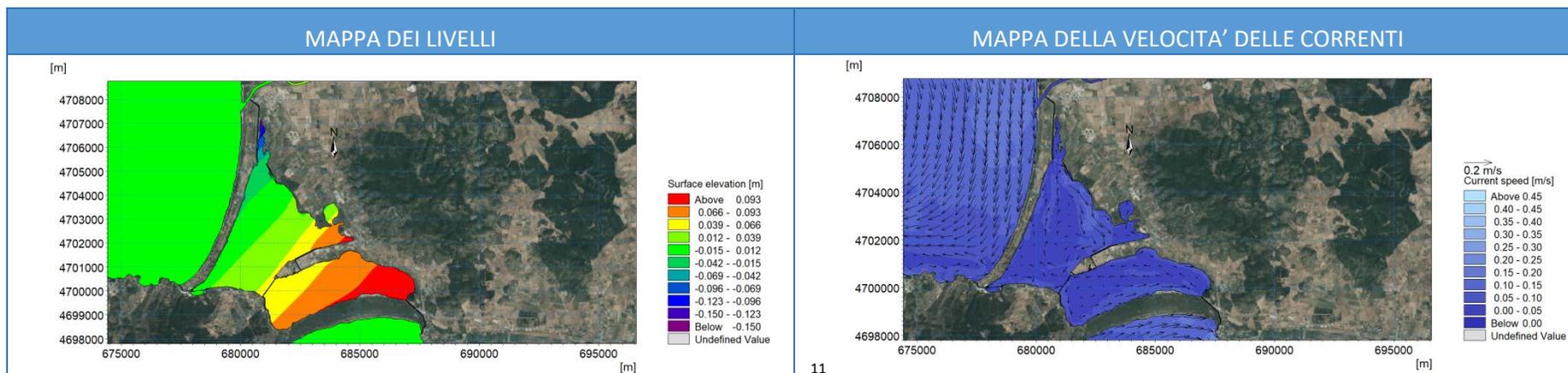



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-4.63	2.73	1.90

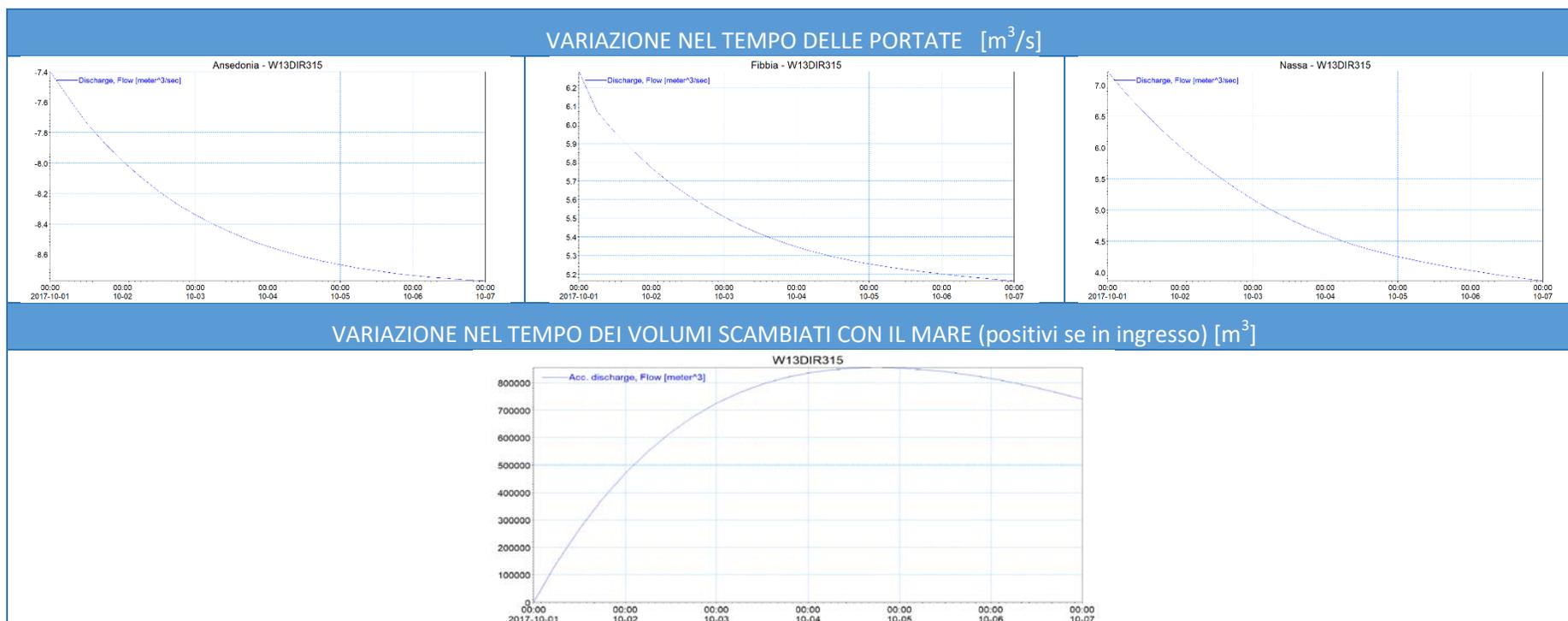
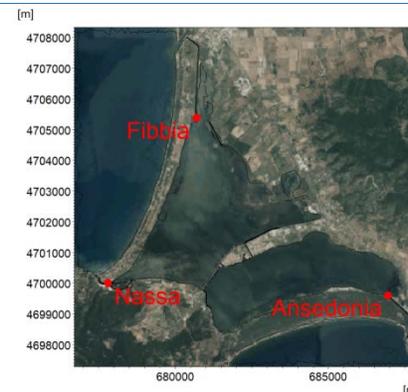


ALLEGATO A59 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 13M/S PROVENIENTE DA 315°N

	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	0.17	0.58	0.23	-4.07	0.23	12.29	1.59	7.44
VELOCITA' [cm/s]	11.2	6.5	27.7	19.6	12.3	27.6	3.6	3.5

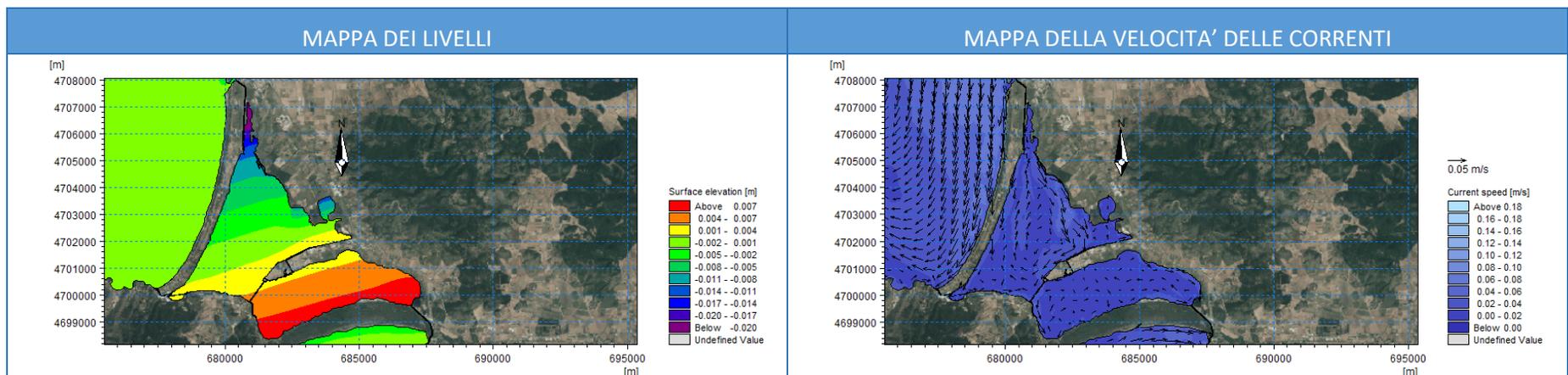



	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-8.85	5.10	3.75

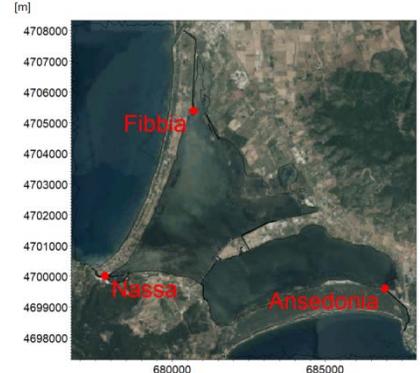


ALLEGATO A60 – RISULTATI PER VENTO CON VELOCITÀ DI 5M/S PROVENIENTE DA 345°N

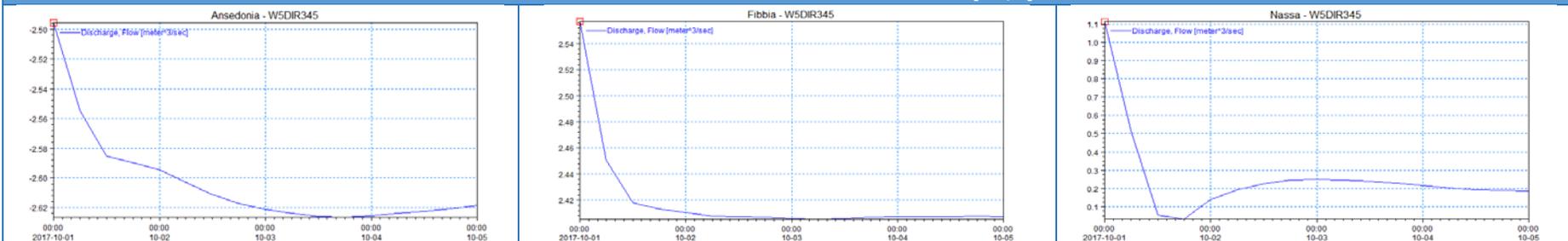
	1	2	3	4	5	6	7	8
LIVELLI [cm]	-0.25	0.07	-0.11	-1.23	0.17	0.98	-0.12	0.53
VELOCITA' [cm/s]	5.4	0.4	8.3	8.9	0.6	8.8	1.8	0.7

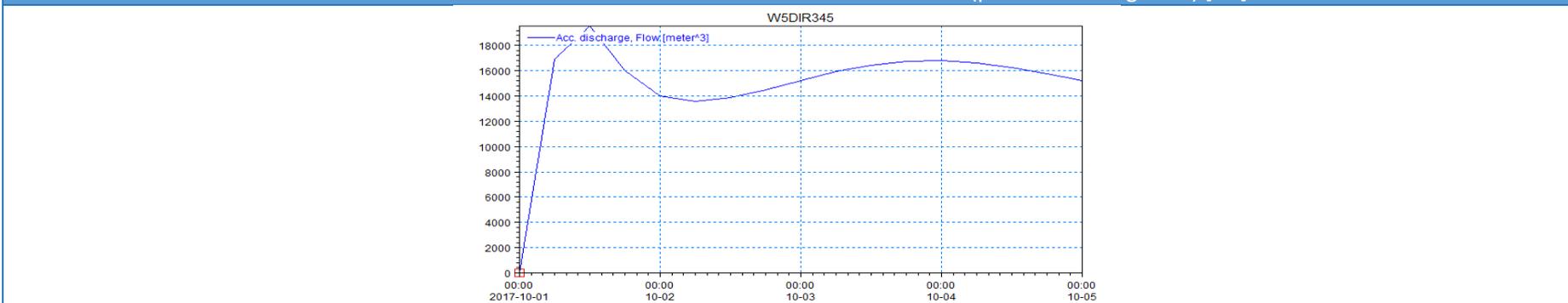
	ANSEDONIA	FIBBIA	NASSA
PORTATA in regime stazionario [m ³ /s]	-2.61	2.42	0.19



VARIAZIONE NEL TEMPO DELLE PORTATE [m³/s]



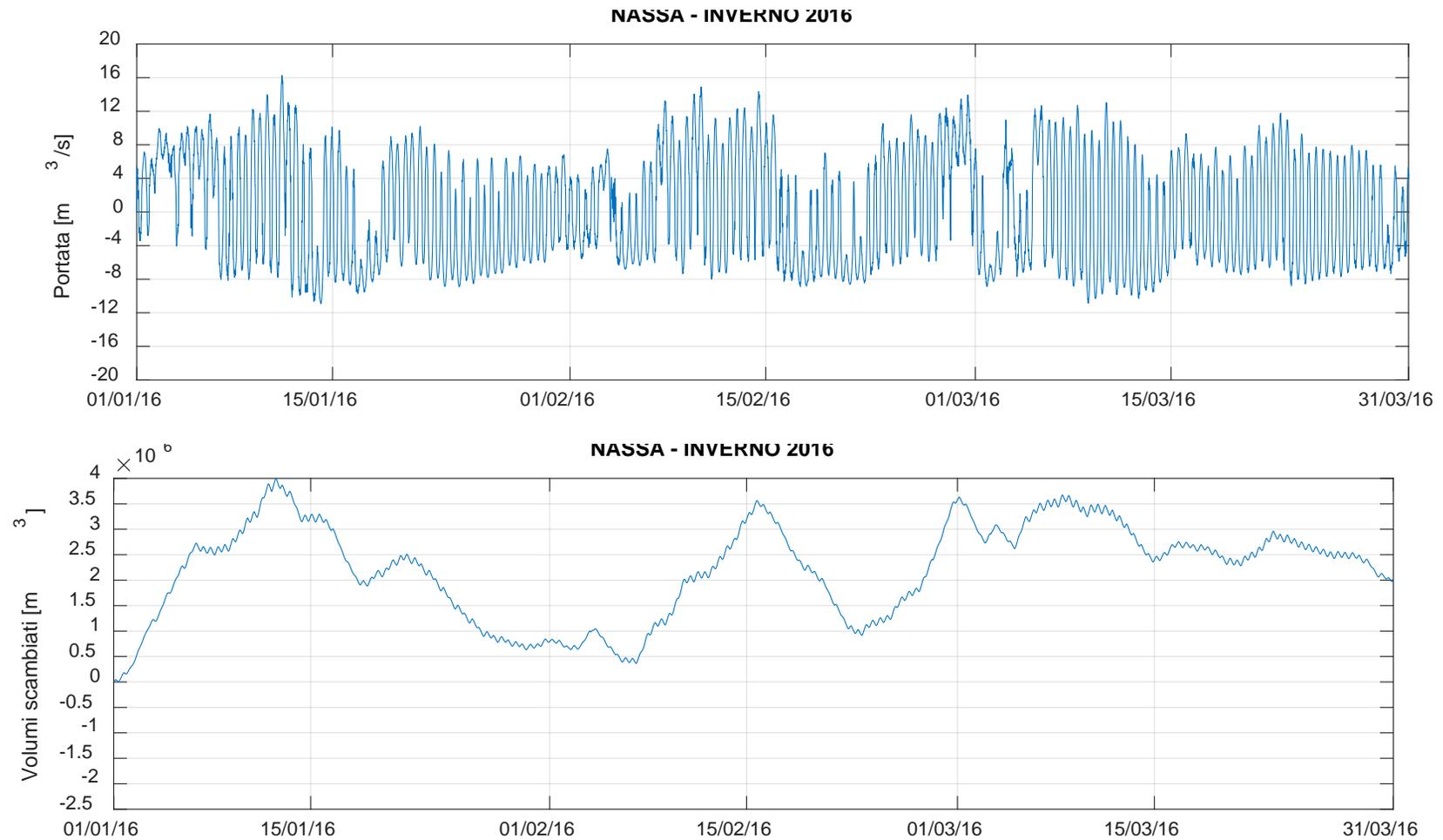
VARIAZIONE NEL TEMPO DEI VOLUMI SCAMBIATI CON IL MARE (positivi se in ingresso) [m³]

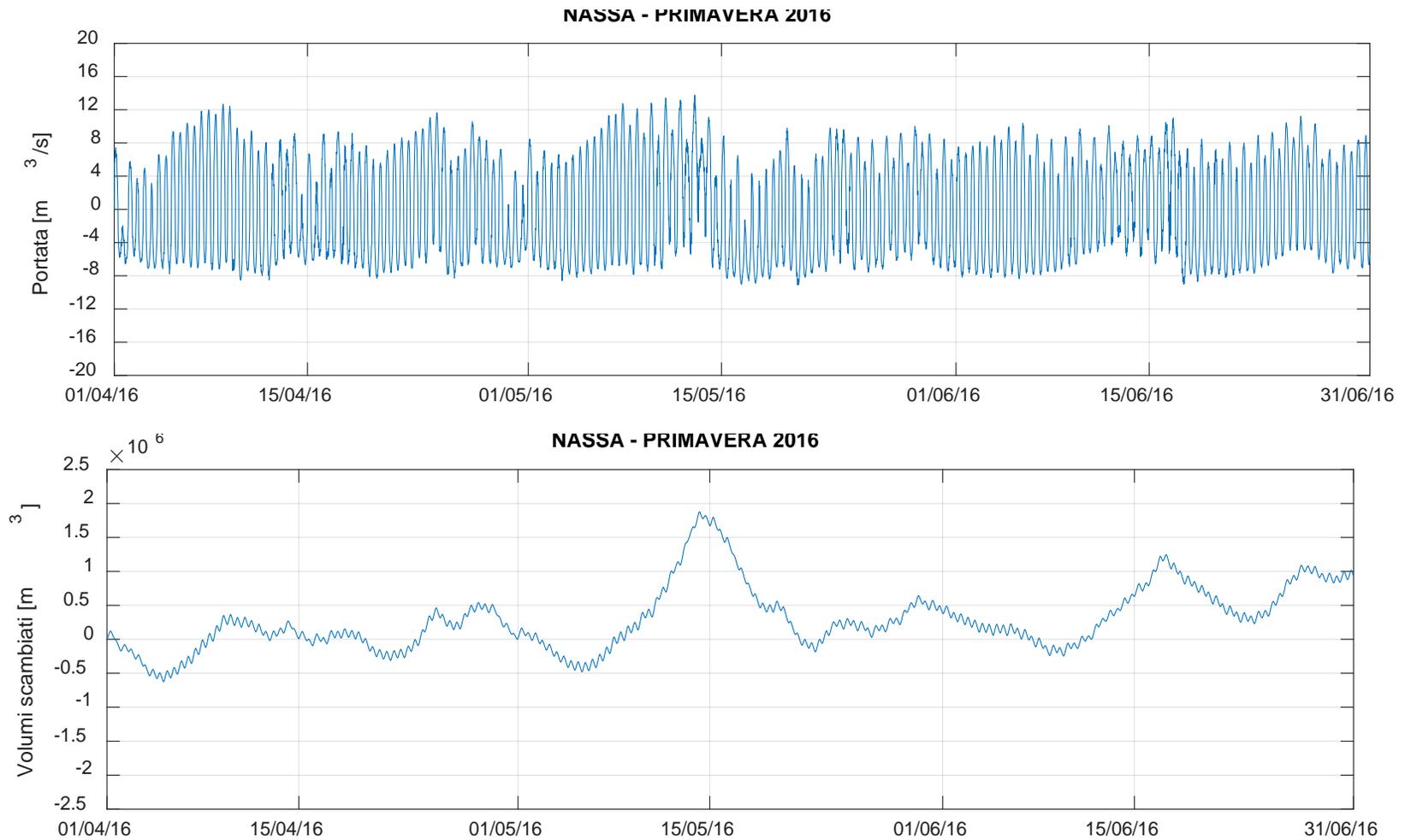


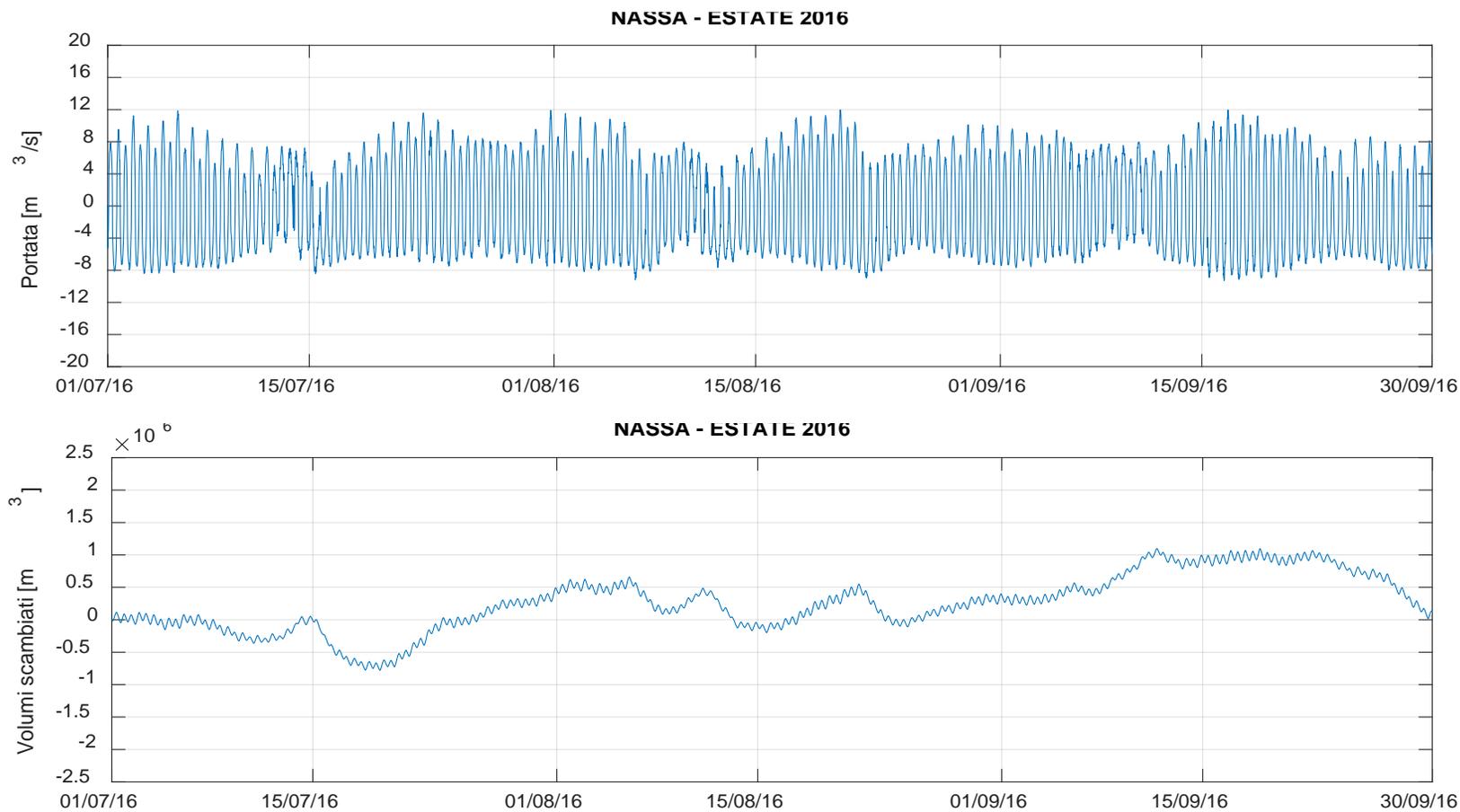
ALLEGATO B

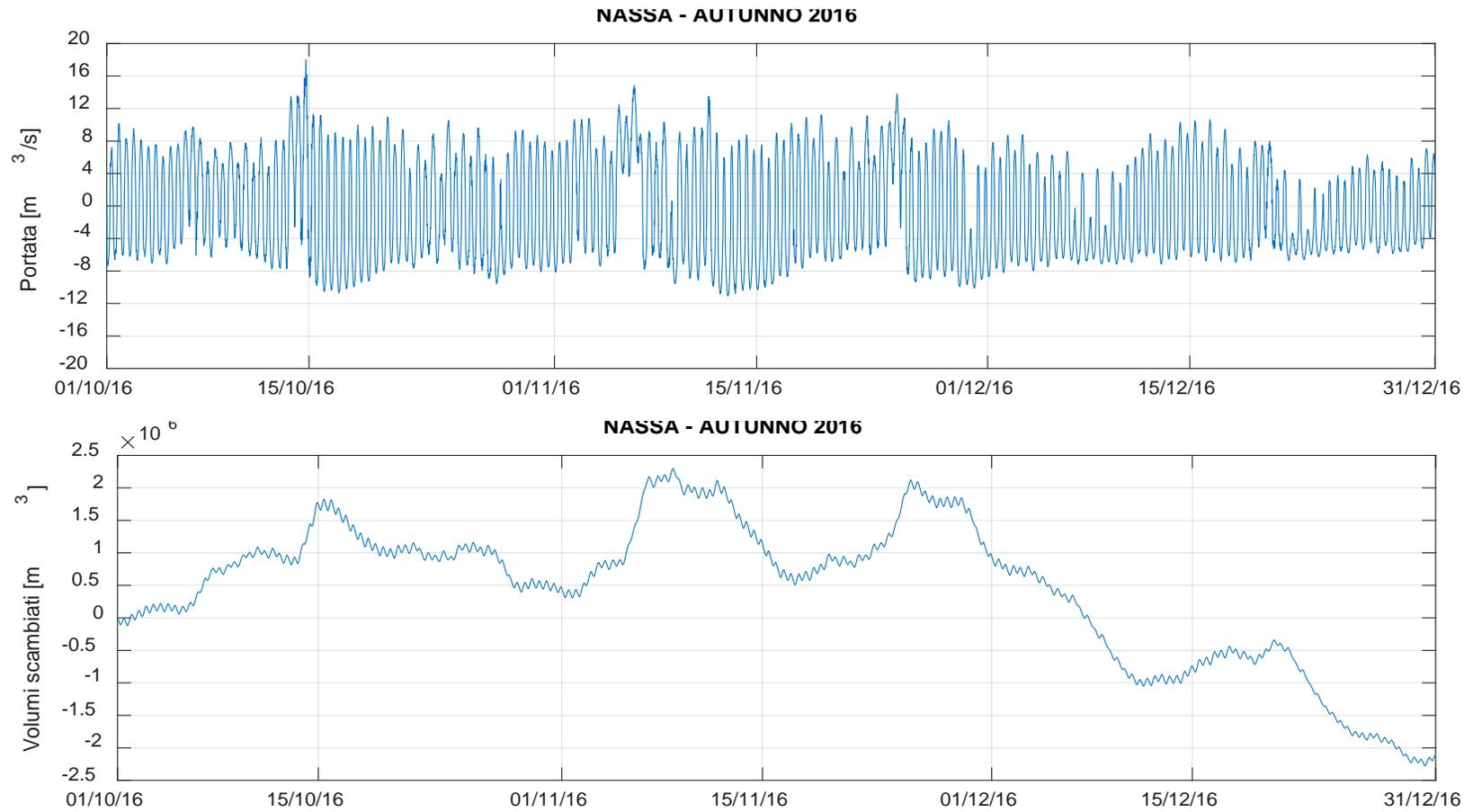
PORTATE E VOLUMI SCAMBIATI IN LAGUNA
DURANTE UN ANNO

ALLEGATO B1 – RISULTATI PER LE PORTATE E I VOLUMI SCAMBIATI NEL CANALE DI NASSA

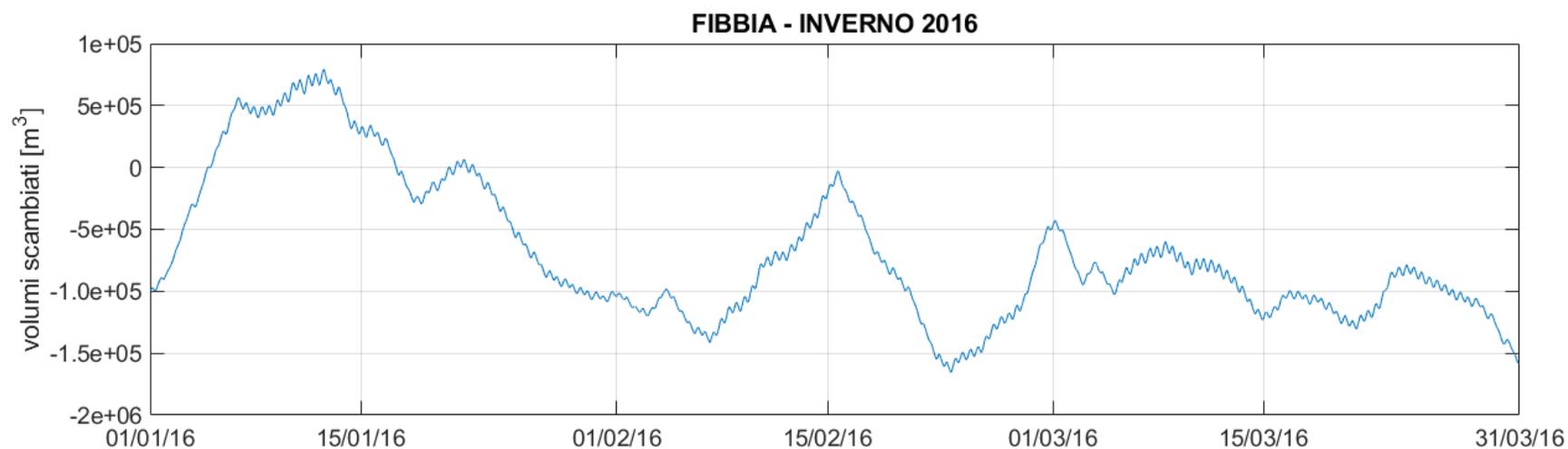
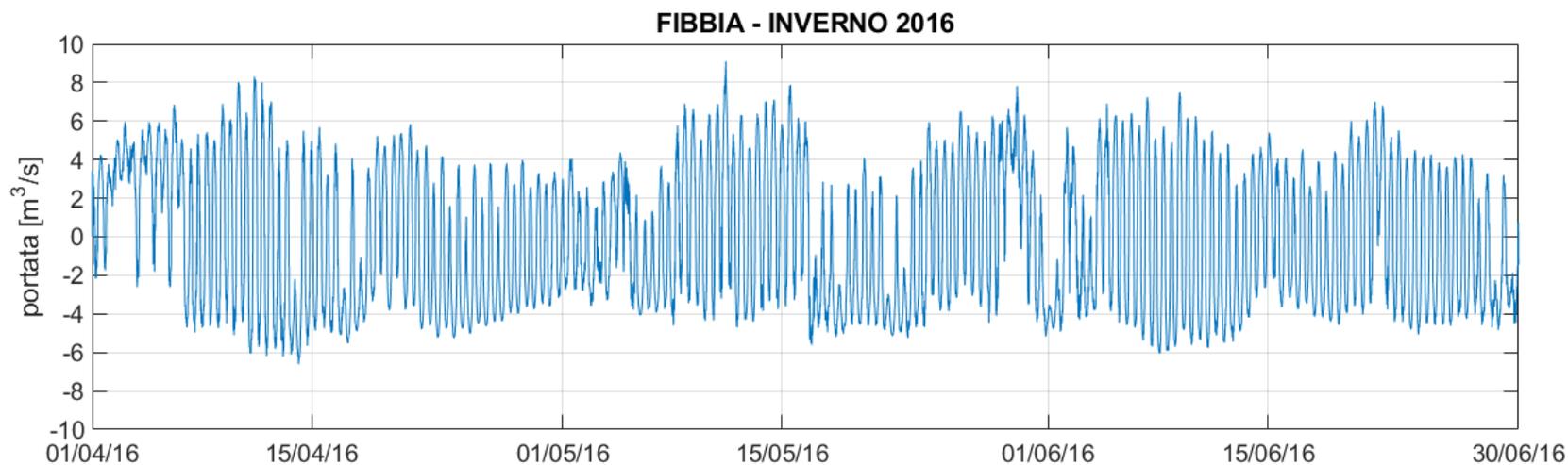


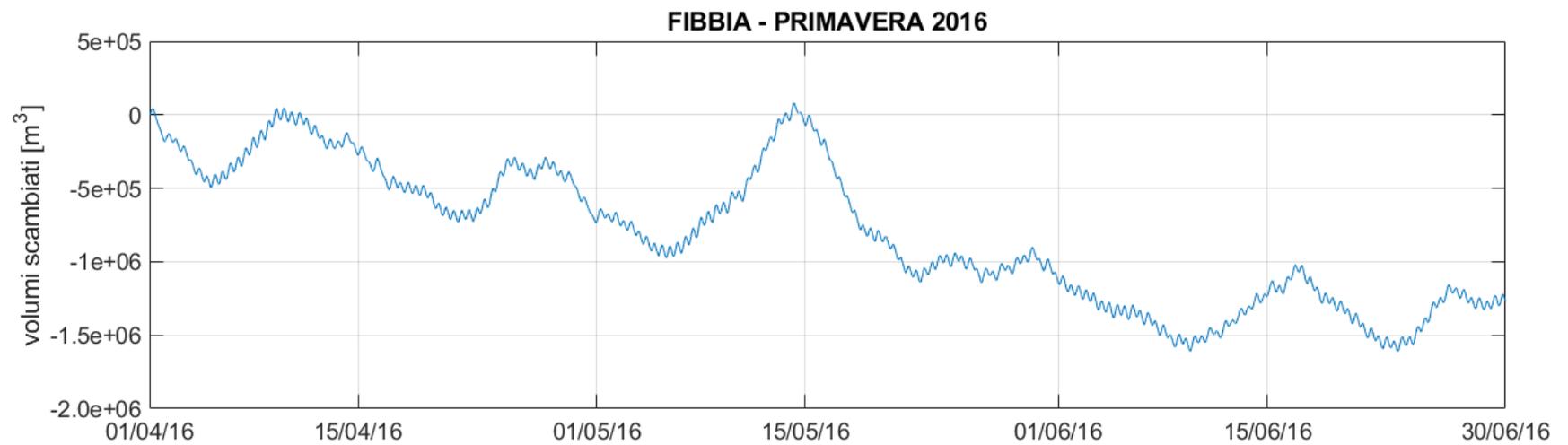
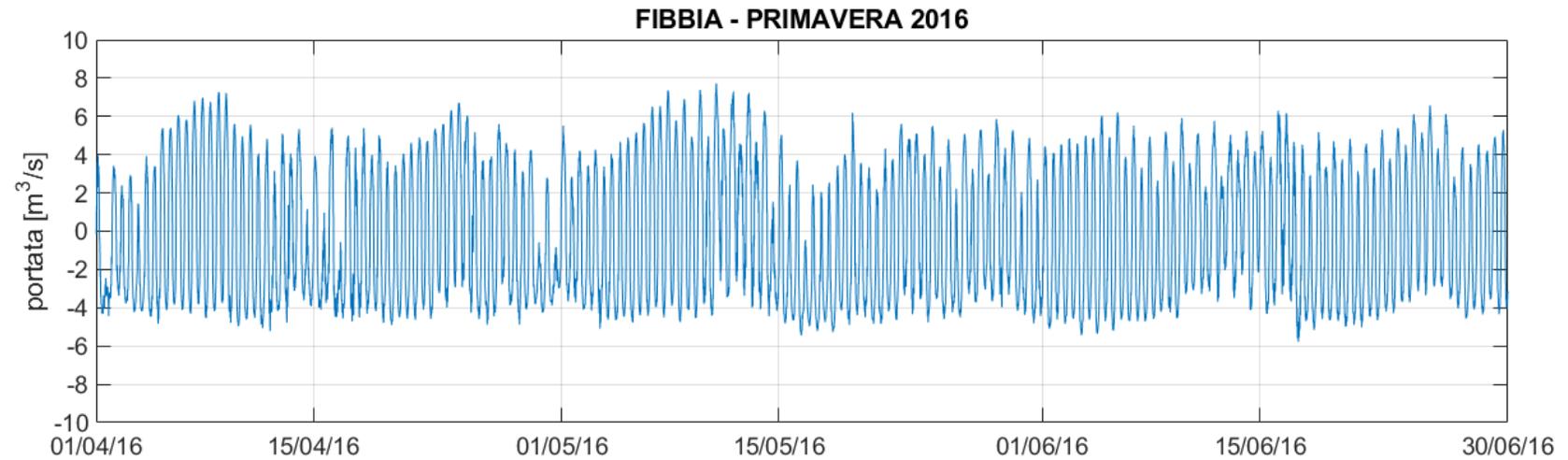


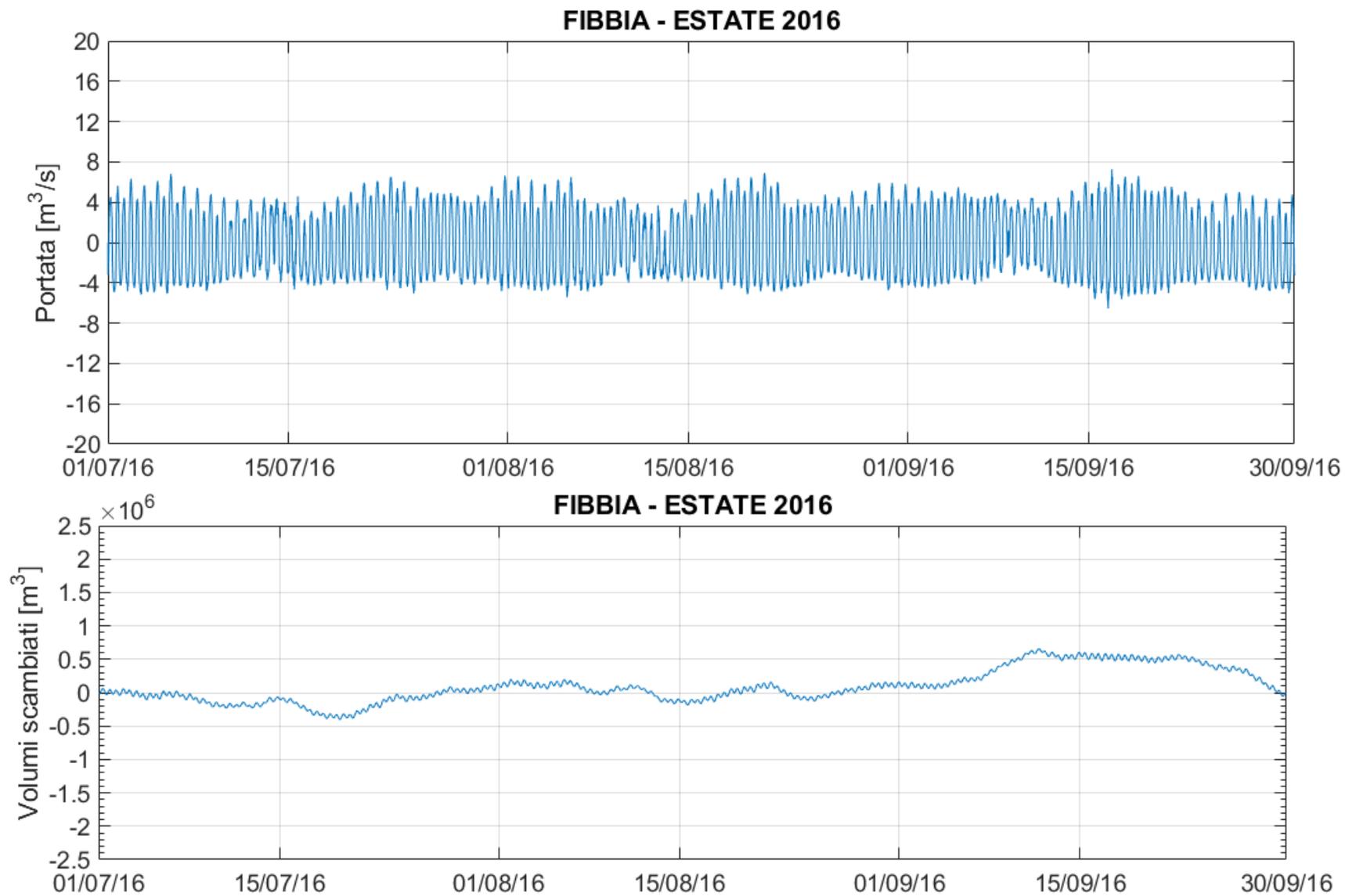


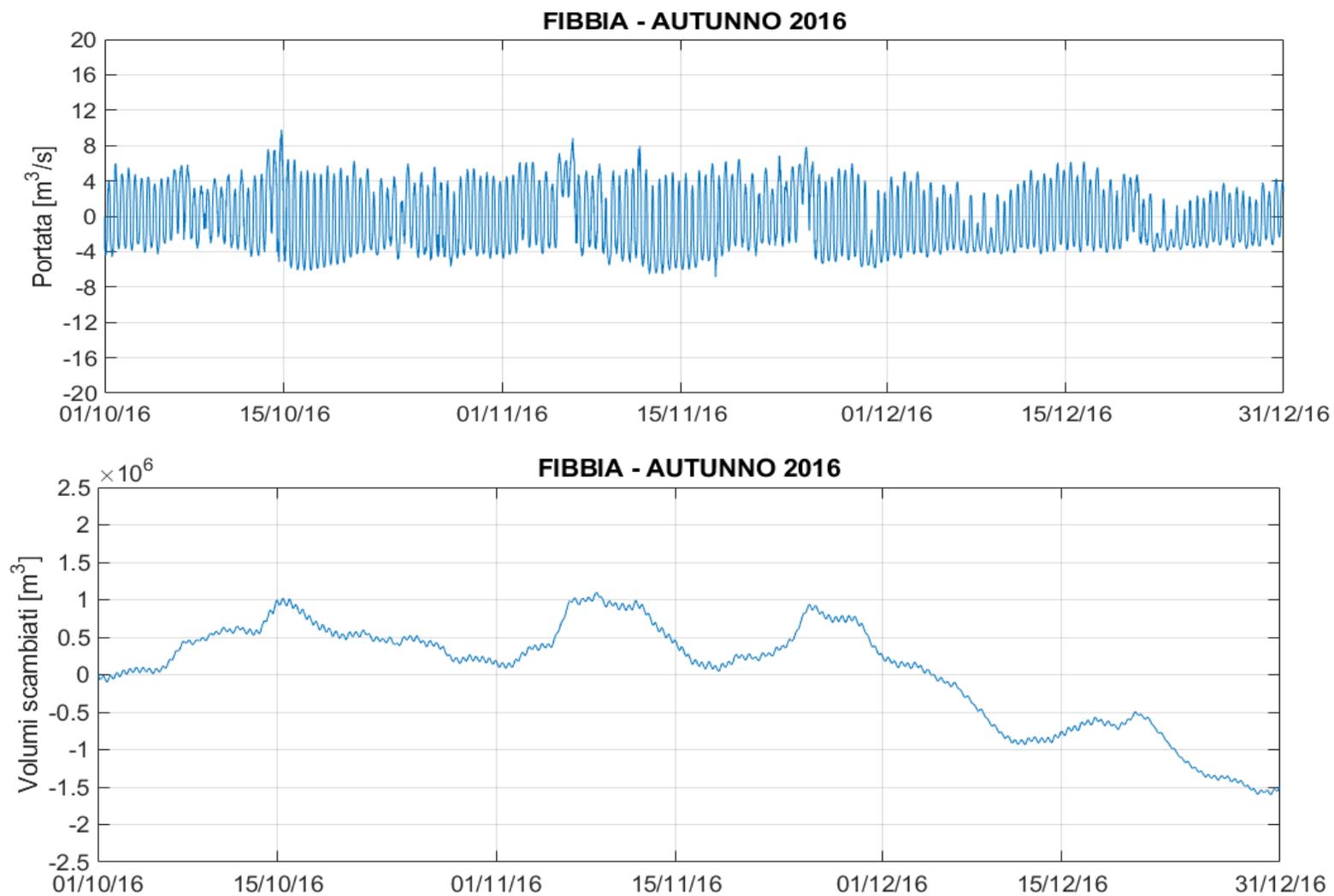


ALLEGATO B2 – RISULTATI PER LE PORTATE E I VOLUMI SCAMBIATI NEL CANALE DI FIBBIA









ALLEGATO B3 – RISULTATI PER LE PORTATE E I VOLUMI SCAMBIATI NEL CANALE DI ANSEDONIA

