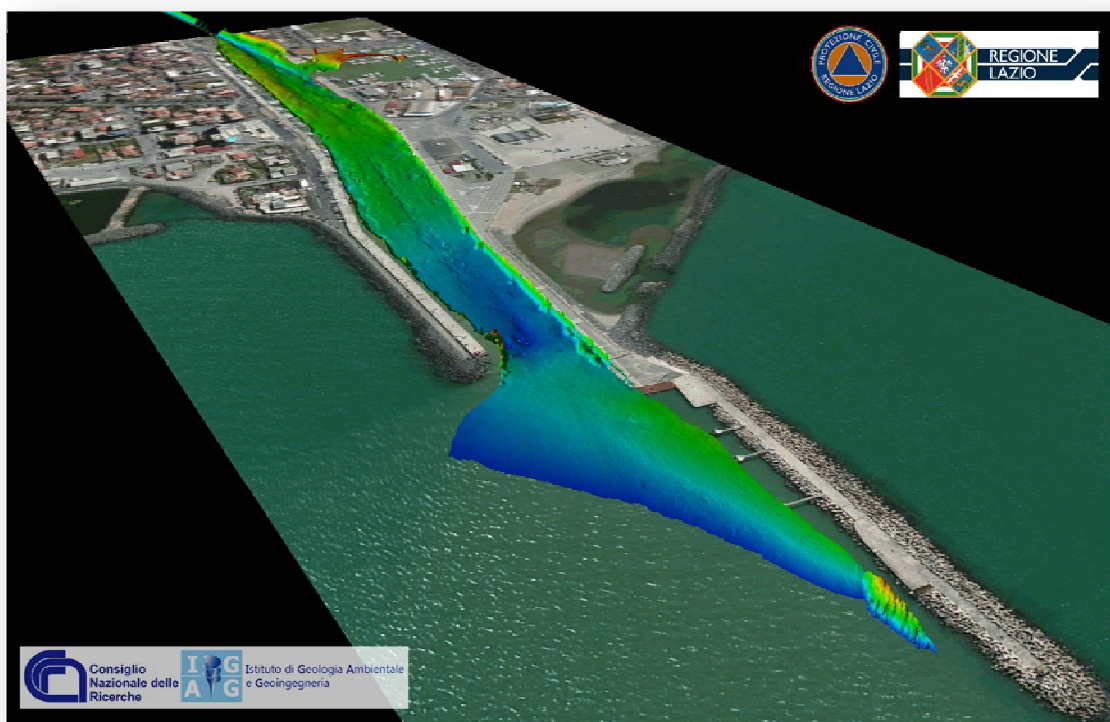


Relazione sulle attività di Studio relative all'aggiornamento della mappatura dei fondali del canale di Fiumicino nel tratto compreso tra Ponte 2 Giugno e la foce del Tevere

*Convenzione di Studio tra Autorità Portuale di Civitavecchia, Fiumicino e Gaeta,
Regione Lazio, Agenzia Regionale di Protezione Civile e Consiglio Nazionale delle Ricerche,
Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (CNR-IGAG)*



Responsabile Scientifico per il CNR-IGAG: Dr. Alessandro Bosman

Corresponsabile scientifico per il CNR-IGAG: Dr.ssa Eleonora Martorelli

Responsabile Scientifico per l'Agenzia Regionale di Protezione Civile, CFR: Ing. Francesco Mele

Corresponsabile scientifico per l'Agenzia Regionale di Protezione Civile, CFR: Ing. Domenico Spina

Roma, 2 luglio 2015

Introduzione

In questo rapporto sono illustrati i risultati ottenuti dallo studio morfo-batimetrico ad alta risoluzione dell'area del canale di Fiumicino e della sua foce, condotto nel mese di Maggio 2015. Le attività di studio sono state condotte su richiesta dell'Autorità Portuale con l'obiettivo di identificare le aree critiche, dove eseguire le operazioni di dragaggio, finalizzate al ripristino della sicurezza alla navigazione dove trovano ricovero le unità delle Forze dell'Ordine in servizio di pronto intervento per le emergenze aeroportuali della Scalo Intercontinentale "Leonardo Da Vinci".

I dati batimetrici raccolti hanno permesso di caratterizzare l'attuale andamento morfologico dei fondali e, attraverso la comparazione multi-temporale con dati rilevati in precedenza (2010), di ricostruire l'evoluzione morfo-sedimentaria dell'area investigata.

Al fine di consentire una completa analisi dell'attuale conformazione morfologica dei fondali, i rilievi batimetrici sono stati ampliati anche alle porzioni esterne del canale di Fiumicino dove è presente la barra di foce che costituisce un elemento morfologico di primo ordine per la definizione dell'assetto morfo-sedimentario del canale e ai fini della re-distribuzione dei sedimenti lungo la fascia costiera.

Vista l'urgenza delle attività d'intervento nell'area di studio, in data 29/05/2015 è stata organizzata una riunione operativa presso la sede dell'Autorità Portuale con sede a Fiumicino, durante la quale sono stati illustrati i risultati preliminari delle indagini e consegnato un rapporto preliminare (Protocollo n. 0001663 10/06/2015) con relative cartografie dell'area oggetto di studio, discusse le criticità e le possibili strategie d'intervento.

La documentazione illustrata di seguito, fornisce una sintesi delle attività di studio condotte sulla base dall'analisi morfo-batimetrica, a conclusione delle operazioni di acquisizione, elaborazione ed analisi dei dati, e viene presentata a completamento del rapporto preliminare (Prot. n.292564/GR/18/03 - Prot. n.0001663 10/06/2015).

Indice

Introduzione.....	2
1. Diario delle attività di bordo.....	4
2. Imbarcazione e strumentazioni.....	4
3. Posizionamento del natante e sistema di riferimento.....	6
4. Attività di campagna e strategie di acquisizione.....	7
5. Elaborazione dei dati batimetrici e GNSS.....	8
6. Risultati.....	8
6.1 Assetto morfobatimetrico.....	8
6.2 Morfologie di natura antropica.....	12
6.3 Evoluzione morfologica a 5 anni di distanza (2010-2015) e considerazioni volumetriche.....	13
6.4 Depressioni di origine incerta.....	16
7. Conclusioni.....	18
8. Ringraziamenti.....	19
9. Bibliografia.....	19
10. Elenco Elaborati in formato digitale.....	22
11. Tavole 1-7	

1. Diario delle attività di bordo

A seguito dell'incarico da parte del A.P., il giorno 13 Aprile 2015, sono state avviate le attività di allestimento del natante Mancini 7.5 DPC presso i cantieri navali Co.Ge.Man, ubicato in prossimità della darsena di Traiano. Preliminarmente ai rilievi sono state eseguite le prime verifiche delle strumentazioni scientifiche di bordo e realizzato un sopralluogo per individuare un'area idonea alla materializzazione di un punto geodetico utile al rilievo.

Il giorno 8 Maggio viene materializzato un punto nell'area del piazzale con buona visibilità dei satelliti ed eseguito un rilievo GPS in statico per la determinazione del punto di riferimento da impiegare durante il rilievo batimetrico in modalità RTK (Real Time Kinematic).

Il giorno lunedì 11 Maggio il natante viene calato in mare e il giorno 12 vengono eseguite le cablature delle apparecchiature e l'interfacciamento mediante software dedicati.

Il giorno 13 viene installato il sensore ecometrico, cablato e configurato mediante il software di registrazione dei dati. Viene allestita la stazione base GPS per le correzioni in modalità RTK. In tarda mattinata vengono svolti i primi test strumentali nella darsena per la verifica del loro corretto interfacciamento. Successivamente ai test vengono realizzati nell'area del canale dei profili di velocità del suono lungo la colonna d'acqua, la calibrazione del sistema di posizionamento e del sistema inerziale ed una seconda calibrazione del sensore ecometrico. Grazie all'esito positivo dei risultati sono state avviate le prime indagini e raccolti i dati batimetrici dell'area compresa tra la darsena e il ponte pedonale. Il giorno 14 si prosegue con le indagini batimetriche completando il rilievo dell'area di foce e della sponda destra, grazie all'assenza delle imbarcazioni da pesca. Le attività vengono interrotte a causa delle avverse condizioni meteo-marine. Le attività riprendono il giorno 22 giugno per il completamento delle indagini e vengono estese all'area marina antistante la bocca di foce.

2. Imbarcazione e strumentazioni

Il rilievo batimetrico è stato condotto attraverso il natante DPC Mancini-7.5, un'imbarcazione geofisica appositamente progettata per navigare in mare lungo la fascia costiera e nelle acque interne, allo scopo di svolgere rilievi idrografici di alta precisione ed elevata risoluzione, con finalità di studio e ricerca, mediante sistema multibeam e ultra sonar a scansione laterale di ultima generazione.

Il sistema è stato messo a punto sulla base dell'esperienza e competenze maturate negli ultimi quindici anni di attività nel campo della geofisica ad alta risoluzione e della geologia marina, da parte dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del Consiglio Nazionale delle Ricerche e del Centro Funzionale Regionale ex Ufficio Idrografico e Mareografico della Regione Lazio.

Caratteristiche tecniche:

L'imbarcazione è dotata di un carrello (fig.1) per essere facilmente trasportata su strada e di un apposito gancio con fasce per essere calata direttamente nelle aree d'intervento.

La velocità di navigazione in mare è di circa 30 kn in condizioni meteo-marine ottimali ma è in grado di operare nei bassi fondali a velocità di 0.5 kn, mantenendo rotte rettilinee grazie all'ausilio di due motori Yamaha da 115 cv a passo ridotto.

L'installazione dell'apparecchiatura multibeam è rapida (pochi minuti) ed agevole grazie allo speciale pozzo-sonar appositamente realizzato, che rende il natante unico nel suo genere sia nel campo della ricerca applicata sia sul mercato privato. Il sistema multibeam è stato progettato per

operare anche con rotazione del fascio acustico di 45° al fine di investigare i fondali orizzontalmente, in maniera da poter rilevare le morfologie e le strutture portuali fino allo "zero idrografico".

Per assicurare un'ottima qualità dei dati, tutte le apparecchiature sono state collocate in punti strategici del natante, in modo da minimizzare i movimenti causati dal moto ondoso (heave, pitch, roll e yaw). Inoltre, le strumentazioni sono state installate e configurate in modo da minimizzare i tempi di allestimento oltre che per ottenere dati geofisici di ottima qualità (elevato rapporto segnale/rumore e accuratezza). Al fine di minimizzare gli offset strumentali (distanze tra i centri di fase delle antenne GPS e dei centri acustici dei trasduttori) le apparecchiature sono state collocate a minima distanza e posizionate con stazione totale.



Fig. 1 Imbarcazione idrografica Mancini 7.5 DPC dedicata ai rilievi idrografici ad alta risoluzione

Note tecniche sulle strumentazioni di bordo:

- Sistema Multibeam SeaBat 7125 Teledyne Reson a doppia frequenza (200-400 kHz) con apertura del fascio di 128° in grado di riprodurre una copertura pari a circa 4 x, registrazione del backscatter nelle modalità SSS e Snippet. Range di operatività del rilievo batimetrico da 0.5 m a 400 m di profondità.

➤

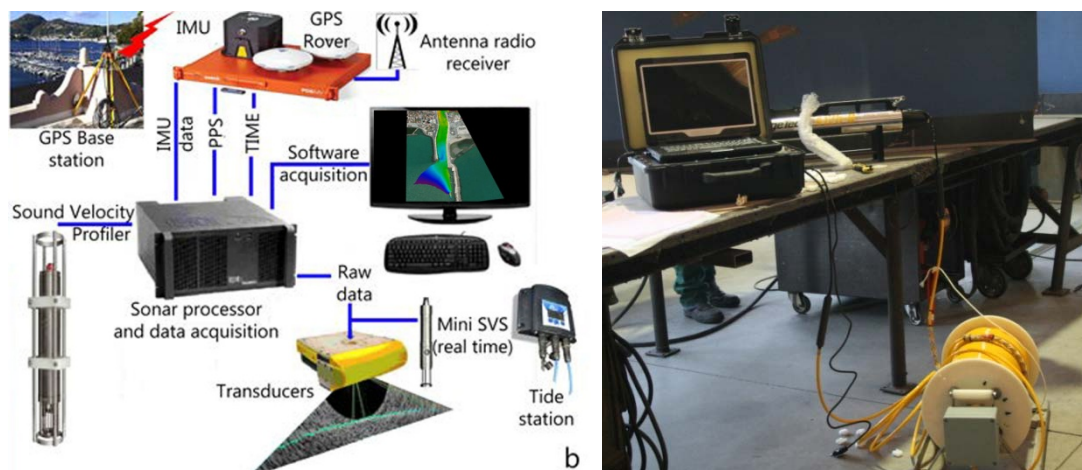




Fig. 2 A sinistra architettura del sistema multibeam presente sul natante DPC per lo svolgimento di rilievi batimetrici e sonar ad alta risoluzione: sensore MBES a doppia frequenza 200-400 kHz (Reson SeaBat 7125), sensoristica inerziale e navigazione GPS-RTK APPLANIX POS MV, Sonde di velocità del Suono e stazione mareografica. A destra sistema Ultra Sonar a scansione laterale a doppia frequenza 500 - 900 kHz per la misura del backscatter del fondale.

- Doppia sonda di velocità del suono: in tempo reale per la misurazione delle velocità del suono alla testa del trasduttore e per i profili verticali per il rintracciamento dei segnali acustici lungo la colonna d'acqua (ray-tracing).
- Sistema di posizionamento RTK e PPK con sensore integrato di movimento APPLANIX POSMV in grado di registrare i dati morfobatimetrici attraverso un sistema inerziale. Registrazione dei raw data di navigazione GNSS e inerziali (IMU) per la post elaborazione dei dati, conferendo precisioni e accuratze centimetriche.
- GPS Base Leica 1200 + 120 canali, doppia frequenza (L1/L2) con sistema palmare di configurazione e treppiedi di supporto per antenna geodetica.
- Sistema di Trasmissione Radio per correzioni RTK Pacific Crest (150-174 MHz) con alimentazione
- Ultra Sonar a scansione laterale digitale EdgeTech 4200 a doppia frequenza con cavo in fibra ottica e console portatile, range d'acquisizione da 2 m a 200 m.
- Piastre di supporto per l'impiego di un sistema SBP chirp a quattro trasduttori.
- Mareografo portatile (TideMaster Veleport) da installare nelle aree d'indagine con frequenza di campionamento variabile da 1 sec a 30 min con intervallo di campionamento variabile.
- Software di acquisizione dati PDS2000 3.8
- Software gestione compensazioni inerziale e sistema GPS MV POSView
- Software elaborazione dati multibeam Caris Hips & Sips 8
- Software elaborazione dati geodetici (PPK) PosPacMMS e Laica Geo Office
- Software per restituzione e visualizzazione cartografica GlobalMapper

3. Posizionamento del natante e sistema di riferimento

Tutte le indagini batimetriche sono state condotte in modalità Real Time Kinematics (RTK) rispetto ad un ricevitore GPS installato nell'area di lavoro (Ta.1). Il punto geodetico materializzato, è stato inquadrato nella rete RDM afferente alla Rete di Posizionamento della Regione Lazio (<http://gnsslazio.no-ip.org>), utilizzando la stazione FIUM (si veda Tab. 1 per le monografie). Entrambe le stazioni sono inquadrate nel Sistema di Riferimento ERTF 2000 - Rete Dinamica Nazionale IGM. Le correzioni differenziali (RTK) sono state trasmesse mediante un radio modem ad alta frequenza, fornendo in tempo reale le correzioni di fase al ricevitore di bordo.

Base Station	 Riferimento:FIUM	 Fium base RTK
Latitudine	41° 46' 17.20876" N	41° 46' 11.71007" N
Latitudine	12° 13' 48.22626" E	12° 13' 26.84732" E
Quota ellis.	64.8606 m	49.4650 m
Tipo soluzione:	Fase: tutto fix	
Tipo GNSS:	GPS	
Frequenza	L1 e L2	
Ambiguità:	Sì	

Tab. 1 - Monografie delle stazioni GNSS di Fiumicino utilizzate per i rilievi batimetrici. Fium base RTK è stazione materializzata per le acquisizioni in modalità RTK (L1+L2), FIUM è la stazione permanente

afferrante alla RDM utilizzata per la materializzazione del punto e per il post-processing dei dati navigazionali e inerziali.

I dati batimetrici restituiti nell'ambito della presente convenzione di studio sono riferiti alla stazione permanente di Fiumicino, inquadrata nelle rete RDM con DATUM WGS84 e Proiezione UTM 33N. Per quanto riguarda invece le quote altimetriche si è fatto riferimento al livello idrometrico registrato da una stazione mareografica opportunamente installata nella darsena di Traiano, successivamente livellata rispetto alle quote mareografiche della stazione mareografica di Civitavecchia afferente alla Rete Mareografica Nazionale dell'ISPRA.

Tutti i dati raccolti sono stati elaborati con software dedicati; nello specifico i segnali GPS sono stati elaborati con i software Leica Geo Office Combined (LGO) e con POSpac MMS 6.3, mentre per la correzione delle quote, le calibrazioni, l'eliminazione degli artefatti (spikes e rumore organizzato) e restituzione dei modelli digitali del terreno, mediante il software idrografico Caris Hips & Sips 8.

4. Attività di campagna e strategie di acquisizione

Il rilievo batimetrico è stato condotto a copertura totale, acquisendo circa 10 miglia nautiche di linee per una copertura totale dell'area di circa 0.1 km². Prima delle operazioni di acquisizione sono state eseguite le calibrazioni del sistema inerziale e di posizionamento attraverso l'esecuzione di transetti ad 8 in modalità RTK al fine di determinare gli offset esistenti tra le due antenne GPS di bordo e l'orientamento del sistema (heading). Successivamente si è proceduto alla calibrazione dei trasduttori mediante l'esecuzione di transetti batimetrici ad hoc in prossimità di un target, preceduti dall'acquisizione di un profilo della velocità del suono in situ. A causa del complesso assetto oceanografico, prodotto dalla variazione spaziale e temporale del cuneo salino, l'area d'indagine è stata suddivisa in cinque settori di circa 150-200 m di lunghezza nei quali sono state eseguite misure di velocità delle onde acustiche lungo la colonna d'acqua per consentire il corretto ri-tracciamento delle onde acustiche. Tale metodologia ha permesso di minimizzare gli errori indotti dalle variazioni della velocità delle onde acustiche lungo l'interfaccia acqua dolce-acqua salata e di produrre carte batimetriche con una risoluzione spaziale fino a 30 cm.

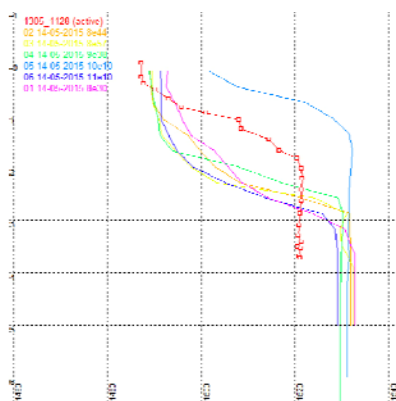
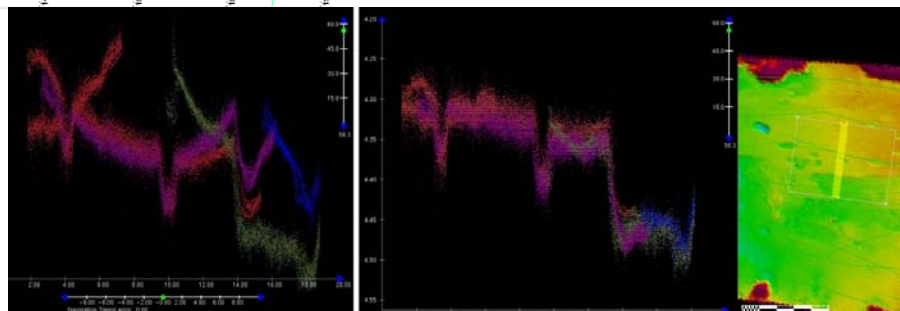


Fig. 4 Profili di velocità del suono realizzati nell'area del canale di Fiumicino. L'andamento delle curve evidenzia un significativo salto di velocità tra - 1 m e -3 m, che indica la profondità del cuneo salino. In basso la comparazione di 7 strisciate batimetriche acquisite nel canale prima e dopo il ri-tracciamento dei raggi (ray-tracing). L'esagerazione verticale nelle sezioni batimetriche è di 56.3 x.



L'andamento delle curve di velocità del suono (Fig. 4) evidenzia l'ubicazione del cuneo salino a profondità variabili tra circa -1 e -3 m al di sotto del pelo libero dell'acqua. Complessivamente sono stati eseguiti circa 200 transetti batimetrici a copertura totale lungo l'asse del canale principale, tuttavia, nell'area interna alla darsena di Traiano e lungo una limitata area in sponda sinistra del canale non è stato possibile acquisire i dati a causa della presenza di imbarcazioni ormeggiate e gavitelli. Al fine di verificare la qualità delle quote misurate si è proceduto ad una verifica in situ mediante comparazione con asta graduata. Per la verifica è stata individuata a conclusione delle indagini batimetriche un'area sub-pianeggiante sulla quale si è registrato un set di dati ad hoc, generando un DEM (Digital Elevation Model) con cella a 30 cm di risoluzione. In tempo reale il dato è stato quindi confrontato con le profondità indicate dal livello idrometrico sull'asta graduata. L'esito della verifica è stato positivo.

5. Elaborazione dei dati batimetrici e GNSS

Sia i dati batimetrici che inerziali-GNSS (*Global Navigation Satellite System*) raccolti nell'area d'indagine sono stati elaborati con metodologie di processing avanzato. Tale metodologie, pubblicate su riviste scientifiche internazionali (Bosman et al., 2015, Bosman et al., 2014), sono state verificate in numerosi rilievi realizzati in ambito scientifico per la generazione di DEM ad altissima risoluzione. Essi permettono da una lato di caratterizzare con estrema precisione ed accuratezza i lineamenti morfologici dei fondali, dall'altro, di produrre DEM utili per comparazioni future.

Le tecniche di elaborazione impiegate per questo rilievo comprendono quattro principali fasi: a) elaborazione dei dati GPS e inerziali, b) sostituzione dei dati navigazionali e inerziali sul dato batimetrico, c) processing in senso stretto del dato batimetrico e d) generazione del modello digitale del terreno. Quest'ultimo, più lungo e complesso, consiste in numerosi passaggi che vengono sinteticamente illustrati in figura 5. Per ulteriori approfondimenti sulle tecniche di elaborazione dei dati si veda la pubblicazione Bosman et al. (2015).

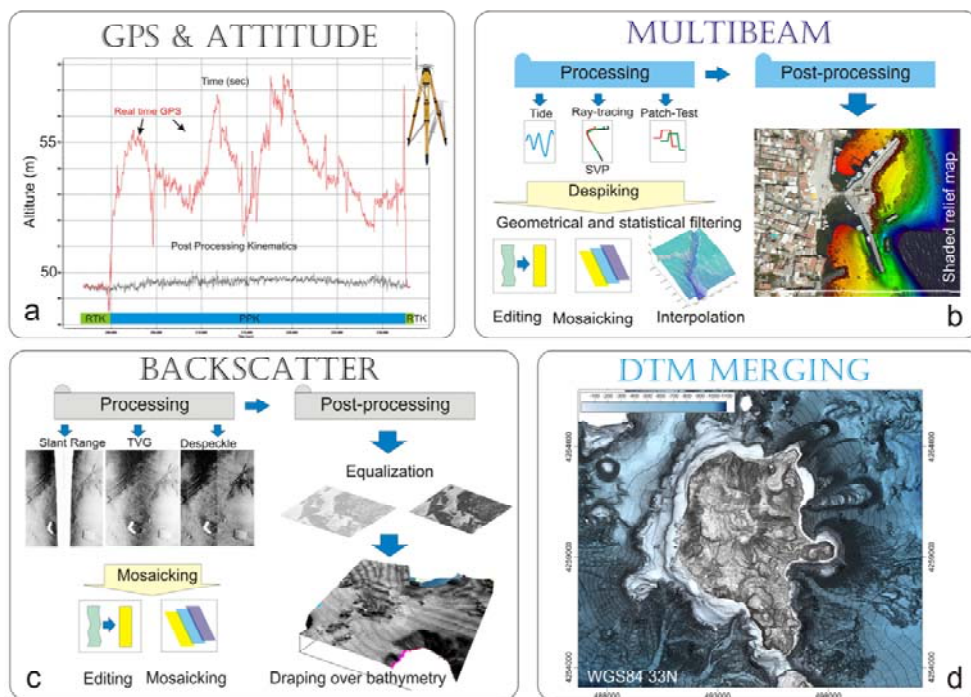


Fig. 5 Schema delle principali fasi di elaborazione dei dati batimetrici a) comparazione di una traccia GPS raw e post-elaborata (PPK) b) principali fasi di elaborazione sui dati batimetrici, c) elaborazione dell'ampiezza dei segnali (backscatter), c) generazione del modello digitale del terreno (mod. da Bosman et al., 2015).

6. Risultati

6.1 Assetto morfobatimetrico

L'attuale conformazione morfologica dell'area investigata evidenzia una generale e significativa antropizzazione dei fondali, prodotta dal transito delle imbarcazioni nell'area del canale. Tale assetto indica indirettamente come il letto del fiume sia stato recentemente interessato, in molteplici occasioni, dall'interazione tra la chiglia delle imbarcazioni e il fondale. L'assetto morfologico, evidenzia in prossimità dal ponte pedonale, ubicato nel settore orientale dell'area investigata (fig. 6), la presenza di un canale erosivo profondo circa -5 m rispetto ai fondali circostanti, ampio circa 10 m, che perde espressione morfologica in prossimità dell'imboccatura della darsena di Traiano (Fig. 6). Qui si osserva una spiccata asimmetria dell'asse del canale in direzione dell'imboccatura della Darsena (linea rossa in Fig. 6). Tale andamento è da imputare alla brusca variazione della direzione dell'asse del canale in prossimità della passerella di circa 10°. Le maggiori profondità (-5m) riscontrate nel tratto di canale compreso tra ponte 2 Giugno sino alla passerella compresa, sono relazionate al restringimento della sezione idraulica di circa 30 m. Oltre questo settore il canale subisce un progressivo allargamento a circa 60 m d'ampiezza che determina una diminuzione della velocità del flusso, favorendo i processi deposizionali.

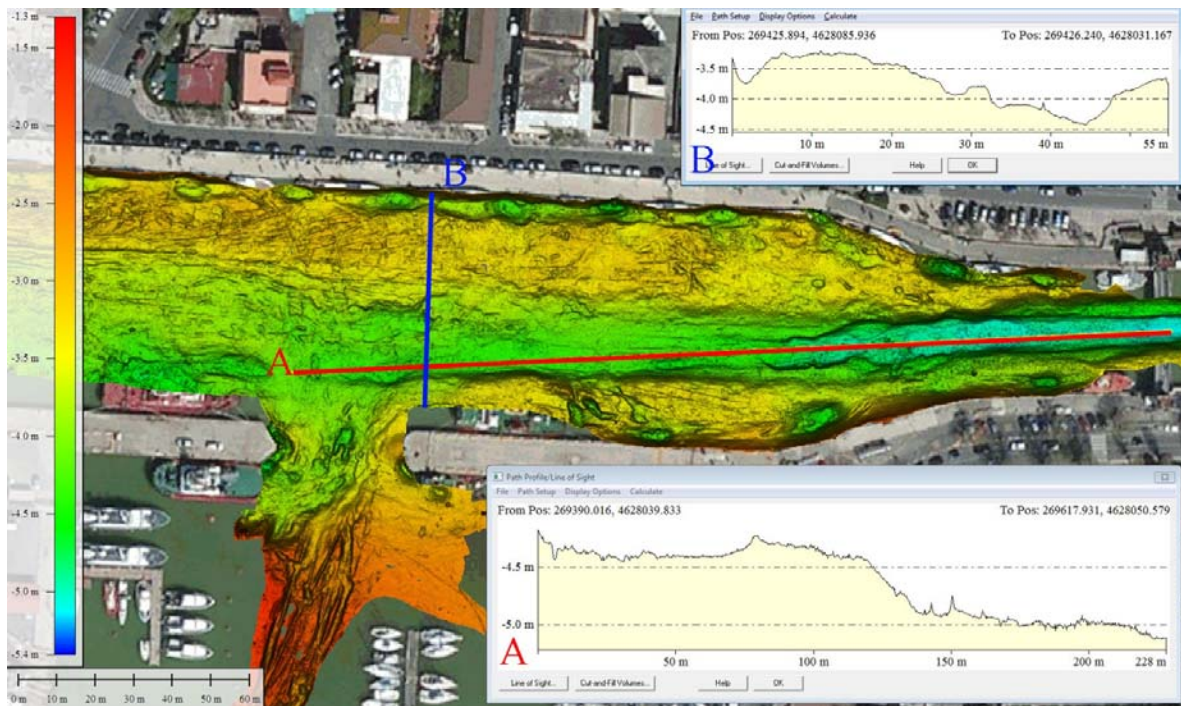


Fig. 6 Sezioni batimetriche relative all'area a monte della darsena di Traiano. Al piede della banchina in riva destra sono presenti numerose depressioni chiuse sub-circolari, prodotte dall'azione erosiva delle eliche dei pescherecci che vi ormeggiano.

Le profondità diminuiscono gradualmente raggiungendo in riva destra il valore minimo di circa 3 m. Qui la complessa e articolata morfologia dei fondali è prodotta da numerose incisioni allungate e

da depressioni sub-ellittiche localizzate ai piedi delle banchine. Nell'insieme questo tratto presenta profondità minori rispetto al tratto a monte, con valori medi stimati a circa 3.7 m lungo l'asse centrale del canale. Tuttavia, lungo il tratto centrale, si riscontra ancora una blanda depressione dei fondali (pochi decimetri) prodotta dall'azione erosiva del canale erosivo situato più a monte.

Proseguendo verso l'area di foce (Fig. 7) i fondali hanno ancora un andamento irregolare, prodotto da numerosi solchi che si estendono per centinaia di metri, profondi decine di centimetri ed ampi fino ad 1 m. Anche qui si riscontrano ai piedi delle banchine ampie depressioni, localizzate nelle aree di attracco dei pescherecci.

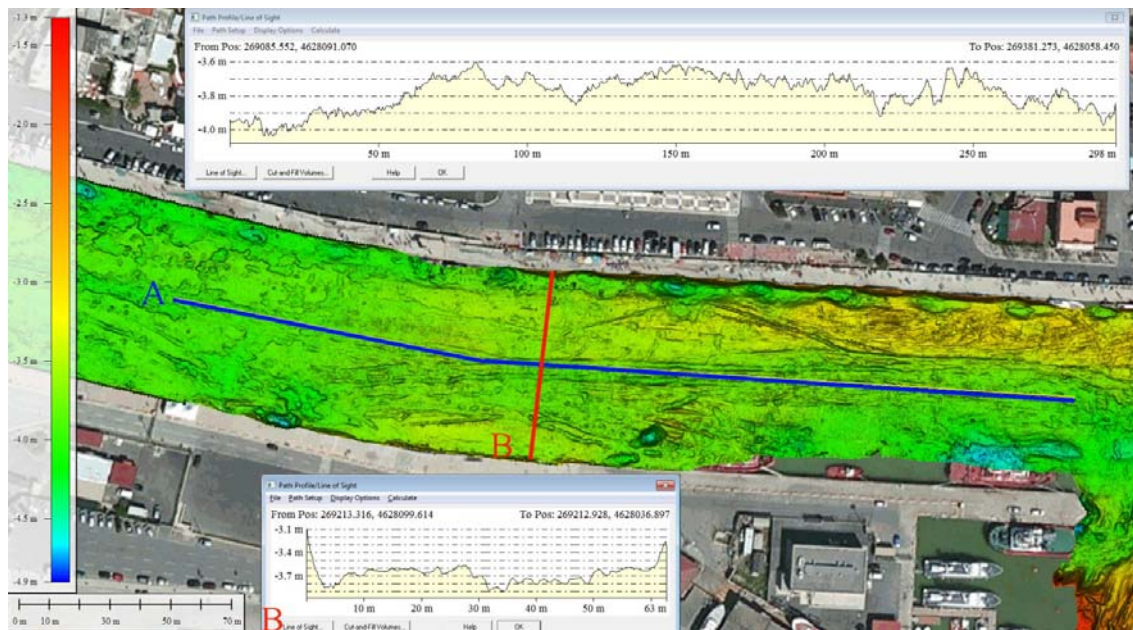


Fig. 7 Sezione batimetrica relativa all'area a valle della darsena di Traiano. I fondali risultano fortemente impattati dall'attività antropica: sono evidenti numerose incisioni parallele all'asse del canale e depressioni chiuse sub-circolari ai piedi delle banchine.

Queste ultime presentano estensioni variabili da 5 a 10 m e profondità massime della depressione di -4.5 m. La loro ubicazione, lungo la banchina destra, in prossimità dei punti di ormeggio dei pescherecci, lascia ipotizzare che si tratti di depressioni antropiche prodotte dall'asportazione dei sedimenti causata dalla propulsione delle eliche.

Proseguendo verso l'area di foce (Fig. 8) i fondali tendono ad un graduale approfondimento fino a -4 m, assumendo un andamento più regolare ed omogeneo sino all'ampia depressione che segna il passaggio alla barra di foce. In questo tratto la morfologia è più regolare e le incisioni sono meno frequenti, tuttavia, si osservano depressioni a fondo piano, generalmente isolate e delimitate da scarpate di pochi centimetri e/o decimetri. Sempre in questo tratto di canale, al piede delle banchine, sono presenti morfologie positive prodotte da limitati accumuli rilevati di circa 1 m rispetto ai fondali circostanti (Fig. 9). Gli accumuli hanno forma sub-conica, sono allungati parallelamente alle banchine e possono estendersi anche per decine di metri. La loro pendenza, locale, stimata tra 30 e 40° e la facies acustica ad alto backscatter (Fig. 9), fanno ipotizzare si tratti di accumuli di blocchi di origine antropica.

Verso la foce i fondali tendono ad un progressivo approfondimento da circa -4.1 m a circa -5 m, ove è presente un'ampia depressione che copre un'area stimata a 700 m². Tale depressione è

localizzata in corrispondenza di settore dove le banchine si restringono gradualmente sino a raggiungere una distanza di soli 45m.

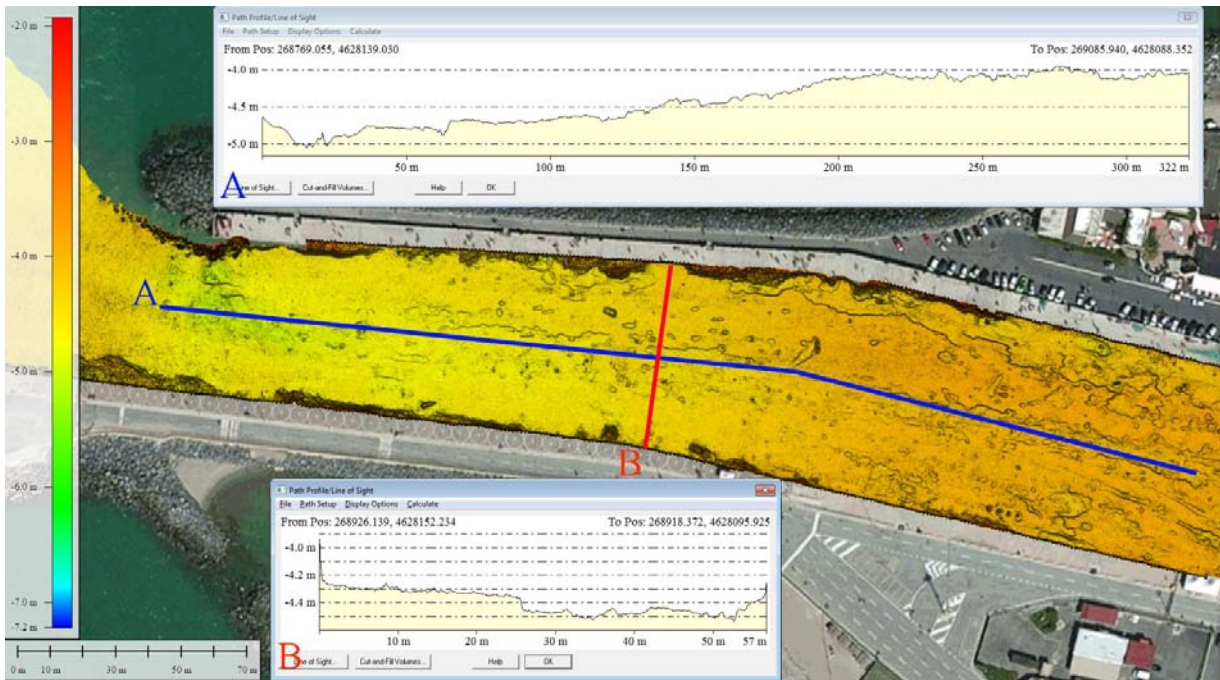


Fig. 8 Sezione batimetrica relativa all'area a valle della darsena di Traiano. I fondali risultano fortemente impattati dall'attività antropica: sono evidenti numerose incisioni parallele all'asse del canale e depressioni chiuse sub-circolari ai piedi delle banchine.

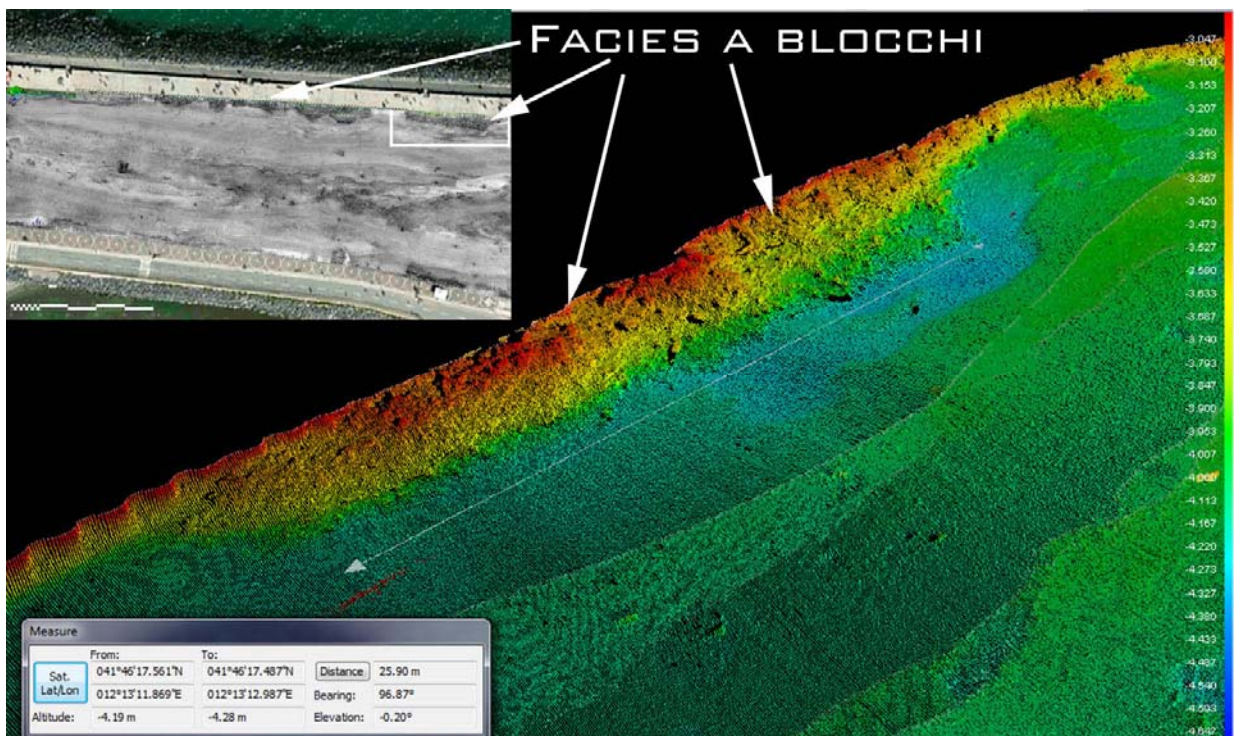


Fig. 9 Facies a blocchi individuata al piede della banchina in riva destra. In alto a sinistra l'ubicazione del dettaglio sulla carta delle riflettività dei fondali (backscatter).

Subito dopo la depressione, in prossimità dell'interruzione del molo in riva destra, è presente un potente accumulo sedimentario che corrisponde alla barra di foce (fig. 10). I massimi accumuli registrati sono localizzati in prossimità delle briccole, ove i fondali investigati raggiungono i -3.5 m, mentre verso Nord i fondali tendono progressivamente ad approfondirsi sino a circa -4.3 m. Nell'insieme la barra presenta un'orientazione SO - NE e profondità minime lungo l'asse centrale del canale pari a circa 4.2 m (Fig. 10).

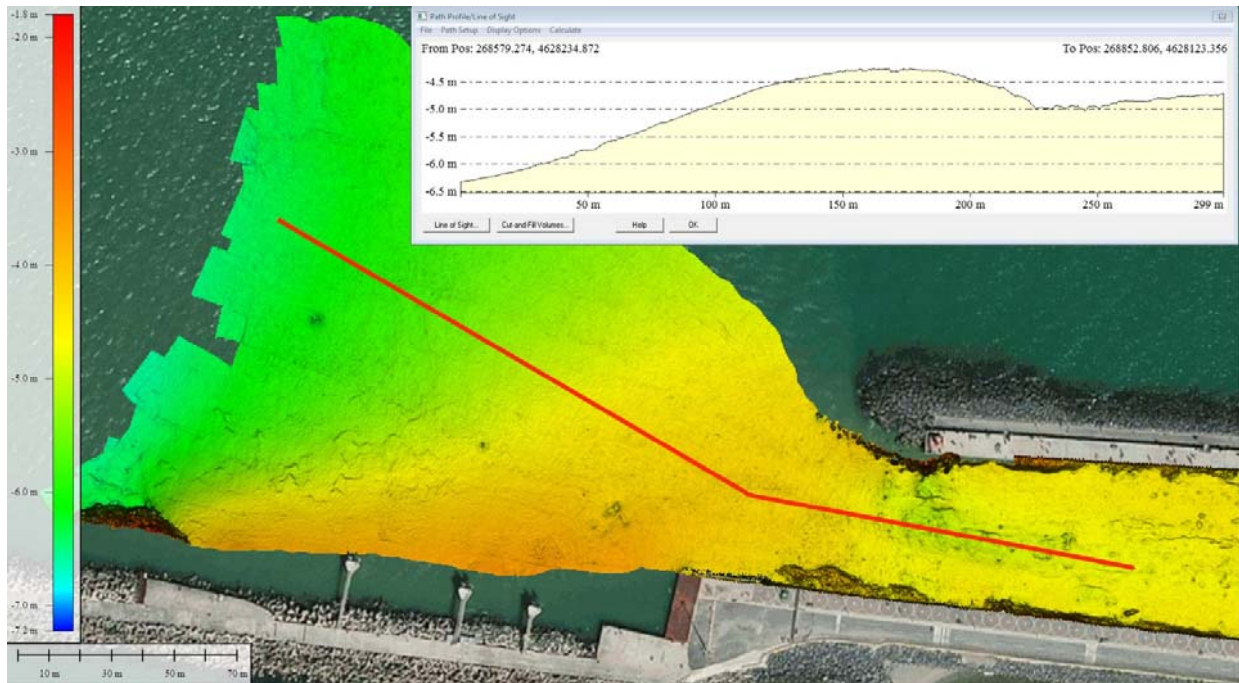


Fig. 10 Sezione batimetrica relativa all'area di foce. I fondali sono caratterizzati da un'ampia depressione nell'area interna al canale ove è presente un restringimento idraulico e da un potente accumulo sedimentario orientato in direzione NO-SE.

6.2 Morfologie di natura antropica

L'analisi dei dati batimetrici ad alta risoluzione ha permesso di caratterizzare numerose morfologie attribuite a manufatti e/o strutture di natura antropica. Le morfologie, identificate sulla base della coerenza di più strisciate multibeam, presentano forme generalmente geometriche e regolari. Si tratta per lo più di pneumatici, corpi morti ed un relitto di piccole dimensioni. La loro posizione geografica è molto varia e risultano diffusi su tutti i fondali con particolare riferimento in riva destra ove ormeggiano i pescherecci.

Si fa presente che la loro collocazione geografica si riferisce al momento del rilievo, eseguito tra i giorni 13 e 14 maggio 2015, pertanto non si può escludere che i corpi possano subire uno spostamento sotto l'azione della corrente o che vengano ricoperti dai sedimenti in transito verso l'area di foce. Nelle immagini di seguito vengono riportati alcuni esempi esemplificativi.

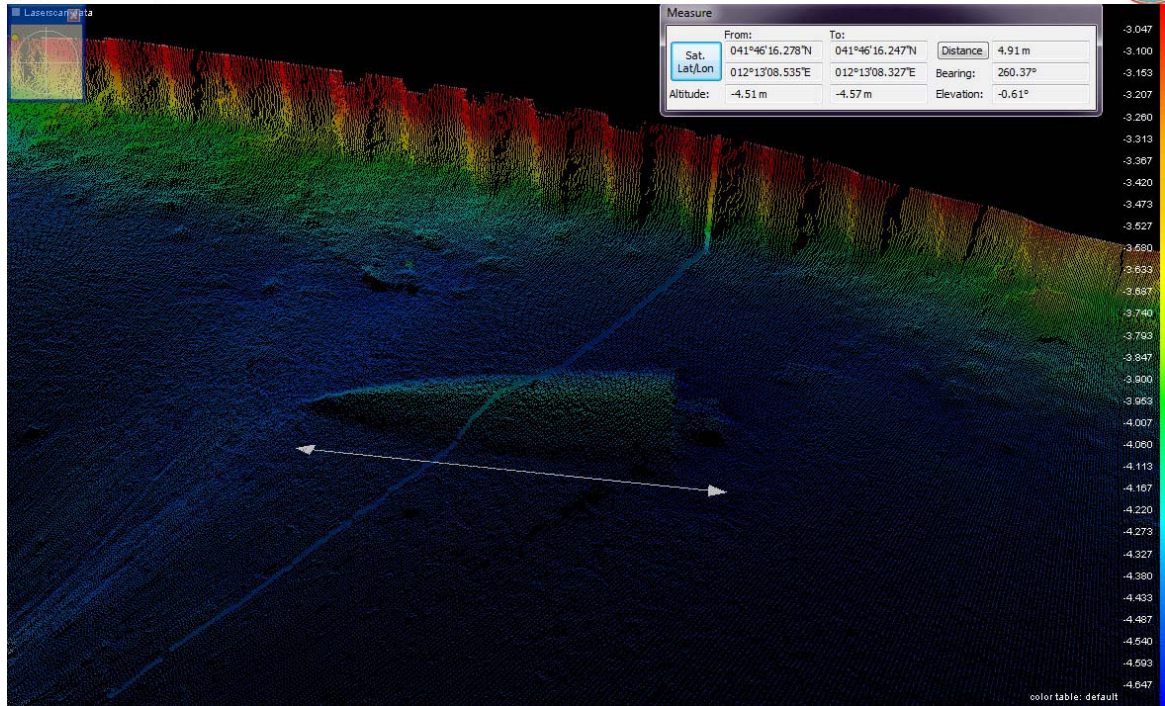


Fig. 11 Relitto sub-affiorante situato al piede della banchina sinistra a circa -4.5 m di profondità

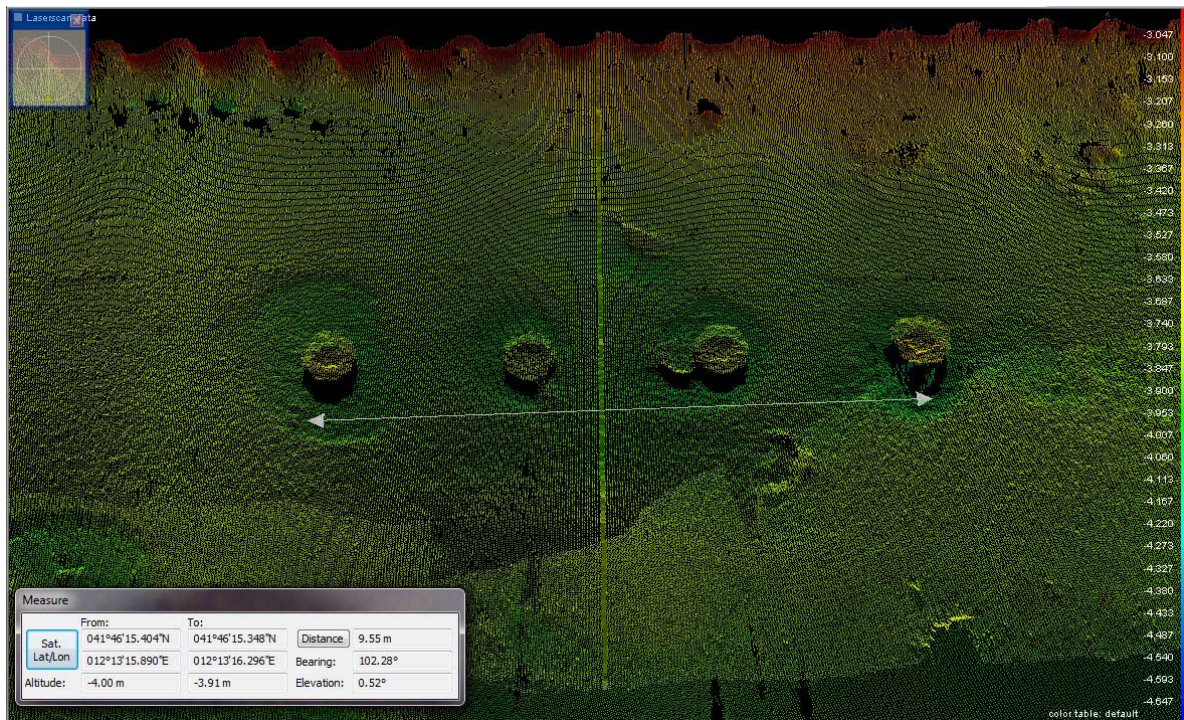


Fig. 12 Corpi cilindrici individuati in prossimità della banchina sinistra a -4m di profondità

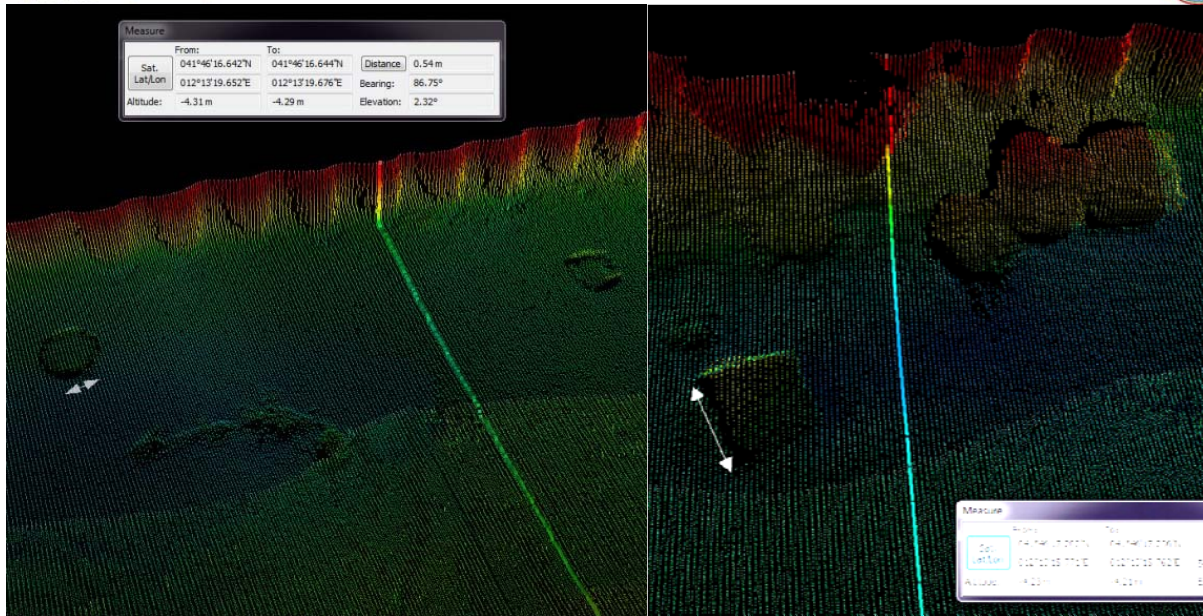


Fig. 13 Pneumatici localizzati al piede della banchina destra e blocchi di circa 1 m di diametro.

6.3 Evoluzione morfologica a 5 anni di distanza (2010-2015) e considerazioni volumetriche

Sulla base delle comparazioni dei rilievi batimetrici eseguiti a cinque anni di distanza, ottenuti con le stesse metodologie d'indagine, imbarcazione, strumentazioni e tecniche di elaborazione, è stato possibile ricostruire l'evoluzione morfologica dei fondali del tratto investigato. Si fa presente che le indagini batimetriche relative al 2010, vennero eseguite a conclusione delle attività di dragaggio che interessò il tratto occidentale del canale (Area con scala cromatica blu in fig. 14) e limitatamente, ad alcune porzioni nel tratto orientale al piede delle sponde.

Le comparazioni morfologiche hanno evidenziato una significativa diminuzione dei fondali nell'area relativa ai dragaggi del 2010 con spessori massimi stimati a circa 2 m. I sedimenti in transito verso l'area di foce, hanno infatti progressivamente colmato la depressione livellando il fondale alla situazione attuale. La carta dei residui batimetrici (Fig. 15) indica, infatti, come i massimi spessori siano localizzati proprio nell'area dragata nel 2010, mentre il tratto di canale più orientale risulterebbe, interessato da variazioni locali con fenomeni sia erosivi che deposizionali.

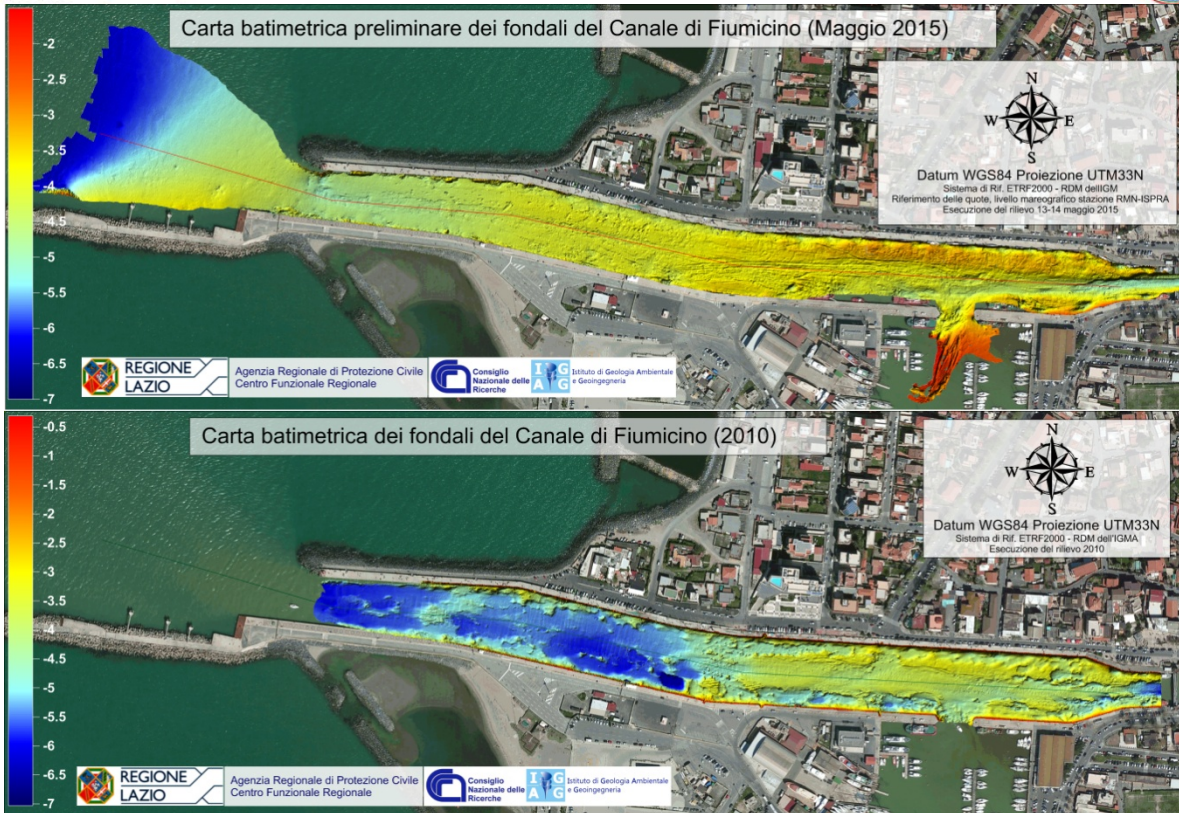


Fig. 14 Comparazione morfologica dei fondali a cinque anni di distanza. In alto è riportata l'attuale conformazione morfologica dei fondali, in basso la situazione relativa al 2010 dopo le attività di dragaggio

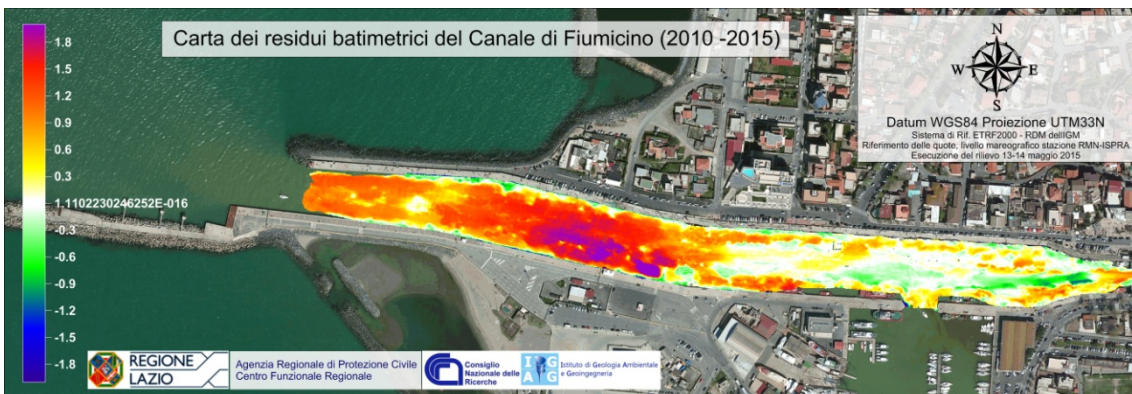
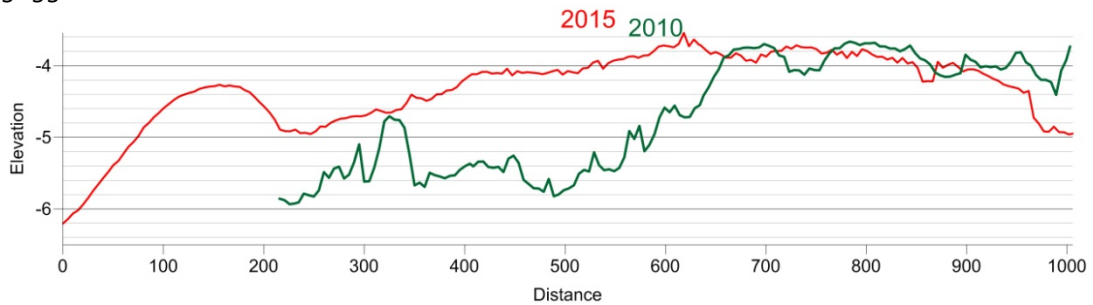


Fig. 15 Sezioni batimetriche lungo l'asse del canale e carta dei residui batimetrici ottenuta come differenza tra le batimetrie relative al 2010 e al 2015.

La comparazione delle sezioni batimetriche eseguite lungo l'asse del canale (Fig. 15) evidenzia ancora, come la depressione realizzata nel 2010 sia oggi completamente colmata dai sedimenti sino alla progressiva 650, oltre la quale i fondali presentano profondità comparabili. Ciò indicherebbe un profilo di equilibrio (erosione-deposizione) dei fondali, ubicato tra circa -3.60 e -3.80 m di profondità. Tali profondità corrispondono alle aree in bianco nella carta dei residui batimetrici di figura 15.

La comparazione dei modelli digitali del terreno (2010-2015) estesa al tratto di canale compreso tra la foce e la passerella pedonale ha permesso di stimare una mobilitazione dei sedimenti pari a circa 33.000 m³ di cui 30.000 m³ in accumulo e circa -3.000 m³ in erosione. Tali volumi sono da considerarsi come valori di minimo, in quanto, rappresentano la situazione registrata allo stato attuale, mentre i volumi di sedimento transitato, risulterebbero maggiori. La mancanza di rilievi intermedi non consente di darne una stima.

Considerando invece le due aree candidate come siti di dragaggio 2015 è stato possibile analizzare la sola area interna al canale di Fiumicino: per i fondali relativi alla darsena di Traiano è stato possibile stimare una mobilitazione di sedimenti pari a circa 4.900 m³ di cui 4.100 m³ costituito da sedimento depositato mentre -800 m³ sarebbero stati i sedimenti asportati. Le analisi volumetriche relative alla seconda area candidata, relativa al tratto esterno di foce non sono state possibili a causa della mancanza della copertura batimetrica relativa al 2010.

Ulteriori analisi volumetriche sono state condotte per due aree candidate come siti di dragaggio, ipotizzando un fondo scavo localizzato a -4.5 m di profondità (fig. 16). Per il tratto relativo all'area antistante la Darsena di Traiano e relativa imboccatura, è stato possibile stimare un volume di sedimento da asportare pari a circa 18.000 m³, mentre per l'area di foce, esterna al canale di Fiumicino, sono stati stimati circa 1.000 m³ di sedimento da asportare

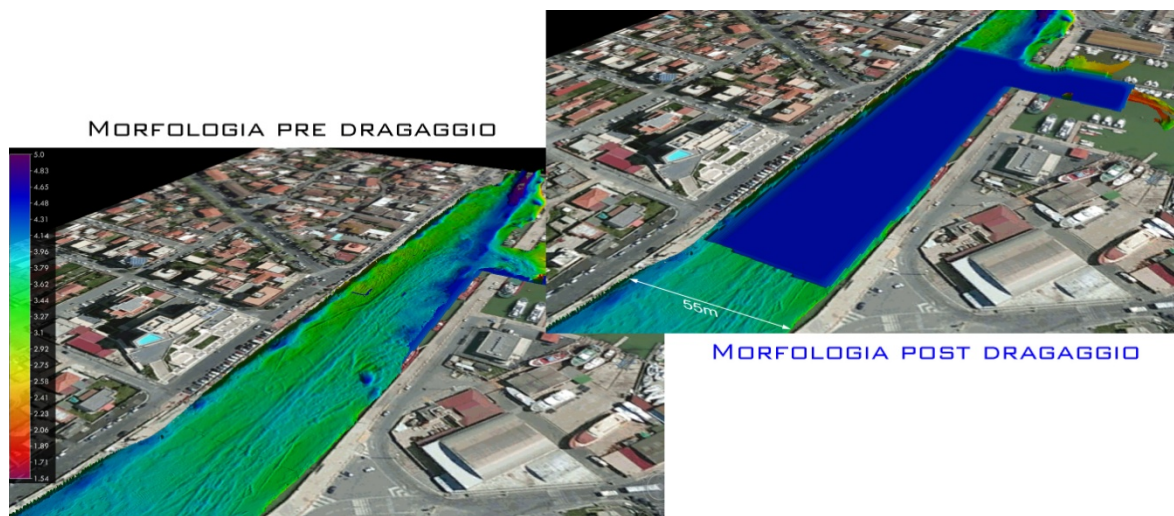


Fig. 16 Andamento morfologico dei fondali nell'area antistante la Darsena di Traiano e l'ipotesi di un fondo scavo ubicato a -4.5 m di profondità

Ulteriori comparazioni morfologiche e analisi volumetriche sono state condotte anche per il tratto di canale compreso tra Ponte 2 Giugno e la passerella pedonale. La comparazione con i dati raccolti nel 2010, ha permesso di stimare una mobilitazione di sedimento pari a circa 6.900 m³, di cui 5.800 m³ di sedimento accumulato prevalentemente lungo l'asse centrale del canale e circa -1.100 m³ di sedimento asportato che interessa le sole porzioni marginali del canale (Fig. 17).

Analogamente a quanto rilevato per il tratto a valle della passerella pedonale si riconoscono anche qui numerose depressioni di forma sub-circolare localizzate ai piedi della banchine. Tali depressioni, evidenziate anche nella carta dei residui batimetrici con valori negativi (Fig. 17), indicherebbero una significativa interazione tra le imbarcazioni e i fondali circostanti.

Differentemente dal tratto verso foce, il letto del canale non sembrerebbe essere interessato da incisioni, bensì da una morfologia sub-pianeggiante e regolare. La carta dei residui batimetrici con le relative sezioni di comparazione a distanza di cinque anni (fig. 17), evidenziano come il tratto di canale sia stato interessato da un progressivo riempimento con valori stimati tra 0.5 e oltre 1.2 m.

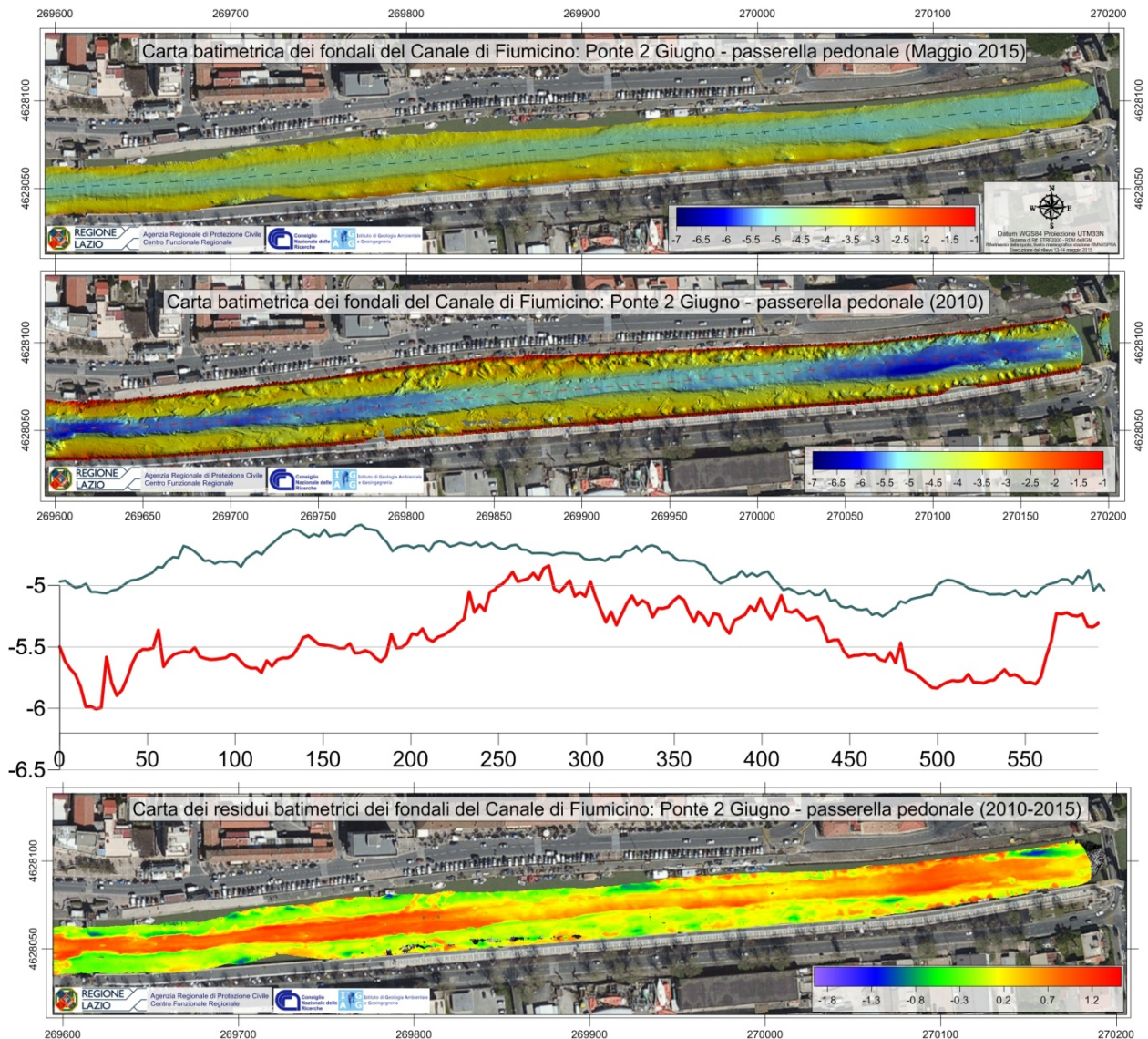


Fig. 17 Comparazioni morfologiche (2010-2015) del tratto di canale compreso tra Ponte 2 Giugno e la passerella pedonale. Le sezioni lungo il thalweg e i residui batimetrici evidenziano una significativa diminuzione dei fondali con accumuli sino ad un massimo di 1.2 m rispetto alla situazione del 2010.

6.4 Depressioni di origine incerta

Al fine di comprendere l'evoluzione dei processi morfosedimentari attivi, le attività batimetriche sono state estese anche al settore più esterno alla bocca di foce. Ciò ha permesso di caratterizzare per la prima volta, in dettaglio, il potente corpo sedimentario riferibile alla barra di

foce. Nel suo insieme la barra presenta morfologie sub-pianeggianti con pendenze stimate a circa 1° e profondità minime di circa -3.5m. Sulle porzioni sommitali e lungo pendio sono state osservate diverse depressioni sia a fondo piano aperte verso mare che a fondo conico (fig. 18). Presentano diametri di alcuni metri e profondità limitate a pochi decimetri. Le depressioni a fondo conico (freccie bianche in Fig. 18), presentano al loro interno delle morfologie rilevate di pochi decimetri con dimensioni da sub-metriche a metriche. L'elevata intensità di backscatter (dettaglio in fig. 18), indicherebbe un fondale caratterizzato da elevata rugosità.

L'origine della depressioni è incerta, tuttavia i lineamenti con le morfologie rilevate al loro interno, potrebbero indicare un'interazione con le correnti trattive di fondo. La presenza di corpi sub-affioranti, sia di natura antropica che naturale, possono infatti costituire da ostacolo alle correnti trattive, producendo un'escavazione sub-circolare alla base dei corpi rilevati (impronta da ostacolo).

Una seconda ipotesi sulla genesi delle depressioni a fondo conico, potrebbe essere legata alla presenza di risalita di fluidi, tipico degli ambienti deltizi (Bosman et al., 2014). La migrazione dei fluidi verso le aree sommitali produrrebbe la destrutturazione dei sedimenti e la loro liquefazione, portando al collasso del fondo mare (*pockmark*). Le forme rilevate al loro interno potrebbero invece essere relazionate alla presenza di biocostruzioni o mattoni batteriche (Ingrassia et al., 2015).

Le depressioni a fondo piano aperte verso mare risultano più diffuse nel settore meridionale (freccie blu in Fig. 18), ove presentano maggiore estensione areale e scarpate sub-decimetriche. Ad esse si alternano morfologie sempre sub-pianeggianti di forma irregolare, ma rilevate rispetto ai fondali circostanti. Tali morfologie potrebbero essere associate a fenomeni di liquefazione dei sedimenti più superficiali parzialmente o non ancora consolidati sotto l'azione del carico ciclico del moto ondoso. L'incremento ciclico delle pressioni neutre porterebbe ad un annullamento delle tensioni efficaci e alla fluidificazione dei sedimenti lungo pendio verso le aree distali. Tali morfologie sono relativamente comuni nelle aree marine deltizie nei bassi fondali e sono descritte in diversi lavori scientifici (Prior et al., 1979, 1986, 1989, Bosman et al., 2014).

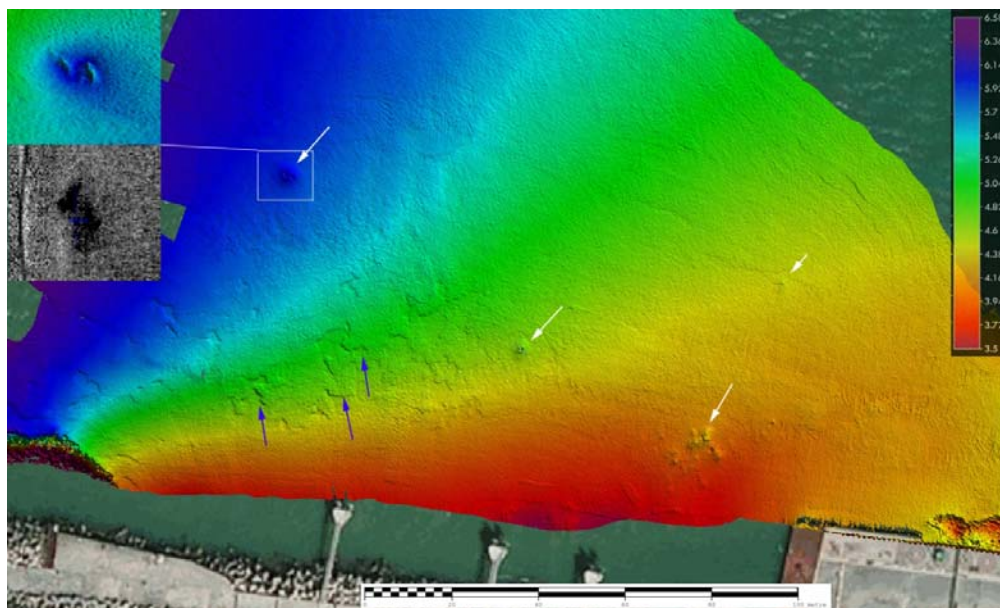


Fig. 18 batimetria dell'area antistante la foce di estrapolato da una calata SVP in prossimità della porzione esterna della barra di foce. L'immagine evidenzia un fondale prevalentemente sabbioso con numero ripples ed una diffusa bioturbazione dei sedimenti (le bolle in primo piano potrebbero rappresentare un artefatto).

7. Conclusioni

Le indagini batimetriche ad alta risoluzione, condotte nel tratto del canale di Fiumicino, hanno permesso di caratterizzare l'andamento morfologico attuale e la sua evoluzione temporale degli ultimi cinque anni:

- il tratto di canale di Fiumicino costituisce dal punto di vista morfo-sedimentario una zona di bypass dei sedimenti in transito verso l'area di foce. L'attuale conformazione morfologica dei fondali è il risultato di un equilibrio tra i processi erosivi e deposizionali che dipendono dall'apporto sedimentario e dalla velocità della corrente. Le pulsazioni del trasporto fluviale e l'azione del moto ondoso, in concomitanza alle maree sizigiali, hanno un ruolo importante sull'evoluzione morfologica dei fondali che può mutare rapidamente in risposta alle condizioni ambientali dominanti. A tali cambiamenti naturali vanno, tuttavia, considerate anche le forzanti antropiche, che hanno un ruolo importante sull'evoluzione morfologica del tratto investigato.
- Dal punto di vista morfologico il riassetto batimetro dei fondali avvenuto nei 5 anni trascorsi dall'ultimo dragaggio, indicherebbe la presenza di un profilo di equilibrio dei fondali (bilanciamento tra i processi erosivi e deposizionali) a profondità stimate a circa 3.8 m nell'area antistante la Darsena di Traiano.
- La comparazione dei modelli digitali del terreno ad alta risoluzione (2010-2015) ha permesso di stimare i volumi di minimo mobilitati per il tratto di canale compreso tra la foce e la passerella pedonale, pari a circa 33.000 m³ di cui 30.000 m³ si sarebbero accumulati nell'area centrale del canale e 3.000 m³ sarebbero stati asportati. Per il tratto compreso tra Ponte 2 Giugno e la passerella pedonale i volumi mobilitati sono stati stimati a 6.900 m³, di cui 5.800 m³ costituito da sedimento deposto nel tratto centrale del canale e circa -1.100 m³ di sedimento asportato verso l'area di foce.
- Per quanto riguarda le due aree candidate ai siti di dragaggio, ipotizzando un fondo di scavo ubicato a -4.5 m, è stato possibile stimare un volume di sedimento da estrarre pari a circa 18.000 m³ per l'area antistante la Darsena di Traiano con la relativa imboccatura e di circa 1.000 m³ per l'area esterna al canale di Fiumicino.
- I modelli digitali ad alta risoluzione ottenuti con le stesse modalità operative dei rilievi 2010 (stesse strumentazioni, imbarcazione idrografica, tecniche di post elaborazione e sistema di riferimento) hanno fornito importanti indicazioni sull'attuale conformazione morfologica dei fondali. La forte antropizzazione visibile dalle numerose incisioni lasciate delle barche in transito nell'area del canale, così come le ampie depressioni sub-ellittiche prodotte dalla propulsione delle eliche e la presenza di corpi di natura antropica (pneumatici, relitti e corpi morti), indicherebbe una alterazione significativa delle condizioni ambientale naturali del tratto fluviale investigato.
- Considerando le intense attività di navigazione nel tratto di canale investigato, con particolare riferimento alla sicurezza alla navigazione delle unità delle Forze dell'Ordine in servizio di pronto intervento per le emergenze aeroportuali della Scalo Intercontinentale "Leonardo Da Vinci", si suggerisce un'azione di monitoraggio a cadenza quadrimestrale, al fine di identificare le aree interessate da rapido insabbiamento e per meglio definire le strategie d'intervento di dragaggio per una corretta valutazione dell'analisi costi-benefici.

Per il CNR-IGAG

Dr. Alessandro Bosman

Per l'A.R. Protezione Civile, CFR

Ing. Francesco Mele

Roma, li 02 Luglio 2015

Bibliografia

Bosman A., Casalbore D., Anzidei M., Muccini F., Carmisciano C., Chiocci F., (2015). The first ultra-high resolution Digital Terrain Model of the shallow-water sector around Lipari Island (Aeolian Islands, Italy). *Annals of Geophysics*, Vol 58, 2. doi:10.4401/ag-6746.

Bosman A., Casalbore D., Romagnoli C., Chiocci F. (2014). Formation of an 'a'ā lava delta: insights from time-lapse multibeam bathymetry and direct observations during the Stromboli 2007 eruption. *Bulletin of Volcanology* 2014, 76:838 DOI 10.1007/s00445-014-0838-2.

Bosman A., Madricardo F., Remia A., Correggiari A., Romagnoli C., Kruss A., Casalbore D., Morelli E., Moscon G. (2014). First morphological mapping of the Po delta (North Adriatic Sea, Italy) from the ultra high-resolution multibeam bathymetry and backscatter data. *Ocean Sciences Meeting, February 2014, Honolulu, Hawaii USA*.

Ingrassia M., Martorelli E., Bosman A., Macellini L., Sposato A., Chiocci F., (2015). The Zannone Giant Pockmark: First evidence of a giant complex seeping structure in shallow-water, central Mediterranean Sea, Italy. *Marine Geology* Vol. 363, p.p. 38-51.

Prior D.B., Suhayda Lu J.N., Bornhold B.D., Keller G.H., Wiseman W.L., Wright L.D., Yang Z.S. (1989) Storm wave reactivation of a submarine landslide. *Letters to Nature*, Vol. 341 pp 47-50.

Prior D.B., Yang Z.S., Bornhold B.D., Keller G.H., Lu G.H., Wiseman W.L., Wright L.D., Zhang J. (1986). Active slope failure, sediment collapse and silt flows on the modern subaqueous hange (Yellow River). *Geo-Marine Letters*, 6:85-95.

Prior B.P. Coleman L.M. Garrison L.E. (1979). Digitally acquired undistorted side scan sonar images of submarine landslides, Mississippi River delta. *Geology* V.7 pp. 423-425.

Nittrouer J. A., Mohrig D., Allison M.A., Pierre A.B., Peyret A.P.B. (2011). The lowermost Mississippi River: a mixed bedrock-alluvial channel. *Sedimentology* Vol. 58. pp. 1914-1934.

Ringraziamenti

Si ringrazia la collega Dott.ssa E. Martorelli del CNR-IGAG, per aver partecipato alle indagini e alle interpretazioni dei dati raccolti, il Dr. Valerio Baiocchi del Dip. DICEA, (Area di Geodesia e Geomatica) Sapienza Università di Roma per aver dato supporto e consulenza tecnico-scientifica per l'inquadramento geodetico. Un particolare ringraziamento all'Ing. Francesco Mele e l'Ing. Domenico Spina del'Ag. Reg. di Protezione Civile, Centro Funzionale per la Regione Lazio, per avere dato supporto alle indagini e per aver fornito importanti spunti tematici sulle dinamiche fluviali. In speciale modo, si vuole ringraziare il Sig. Adriano Patrignani per aver dato supporto logistico a tutte le indagini eseguite in mare. Infine, Luna per aver dato supporto alla materializzazione dei punti geodetici nell'area di lavoro.

10. Elenco elaborati in formato digitale

Al fine di fornire il facile accesso alla cartografia batimetrica, oltre ai formati indicati nella presente convenzione di studio, sono stati inseriti ulteriori formati standard WEB (Google Earth).

Ulteriori formati dei dati batimetrici potranno essere concordati su richiesta dell'Ente committente.

Elenco dataset:

- GRID: modello digitale fornito in punti quotati in formato ascii (x,y,z) a 0.5 m di spaziatura.
 - Grid 0.5 m in formato geotiff contenente le quote
 - Grid 0.5 m in formato ARC ascii
 - Grid 0.5 m in formato binario surfer
- CAD: carta batimetrica in formato dxf e dwg, rappresentata per curve di livello con equidistanza di 0.2 m, rilievo ombreggiato a colori e foto aerea. Nella stessa cartografia sono state inserite le sezioni batimetriche trasversali e longitudinali all'alveo
- SHP file: curve di livello con equidistanza di 0.2 m
- KMZ (Google Earth): file raster e vettoriale delle isobate (eq. 0.2 m) e del piano quotato
- Jpg carto: immagine geo-referenziata delle isobate (eq. 0.2 m), del piano quotato e delle sezioni
- Foto Aerea: Immagine geo-referenziata