



**Consorzio per il coordinamento delle ricerche
inerenti al sistema lagunare di Venezia**

Palazzo Franchetti S. Marco 2847 30124 Venezia

Tel. +39.041.2402511 Fax +39.041.2402512

Progetto **STUDIO B.6.72 B/12**

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

Contratto CVN-CORILA n. 11808 UPE/MGA/cer

Documento **MACROATTIVITÀ: RILIEVI DI DETTAGLIO IN
PRATERIE PARTICOLARMENTE ESPOSTE AGLI
INTERVENTI DI CANTIERE
RAPPORTO FINALE**

Versione **1.0**

Emissione **1 Luglio 2017**

Redazione

Dott. Daniele Curiel
(SELC)

Verifica

Prof. Adriano Sfriso
(UNIVE)

Verifica

Dott.ssa Paola Del Negro

Approvazione

Ing. Pierpaolo Campostrini

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

Indice

1 PREMESSA.....	3
1.1 Introduzione	3
1.2 Obiettivi	4
2 ATTIVITA' ESEGUITE	5
2.1 Generalità dell'attività e fasi di campo	5
2.1.1 Rilievi in immersione sul limite della prateria antistante la nuova isola	5
2.1.2 Rilievi di precisione mediante metodiche acustiche	6
2.1.3 Mappatura di precisione del bassofondo del "Bacan"	11
3 RISULTATI E VALUTAZIONI	13
3.1 Rilievi in immersione sul limite della prateria antistante la nuova isola	13
3.1.1 Quadro generale del rilievo di dettaglio e obiettivi	13
3.1.2 La prateria a <i>Cymodocea nodosa</i> situata sul limite del bassofondo del Bacan	15
3.2 Rilievi di precisione mediante metodiche acustiche.....	22
3.2.1 Presentazione dei dati	22
3.2.2 Limite praterie Forte S. Andrea (Canale di S. Nicolò-S. Erasmo).....	23
3.2.3 Limite praterie San Nicolò (Canale di S. Nicolò)	32
3.2.4 Limite praterie Bacan (Canale di S. Nicolò-Canale di Treporti)	40
3.3 Mappatura di precisione del bassofondo del "Bacan"	53
4 CONCLUSIONI.....	56
5 BIBLIOGRAFIA.....	57

Al presente documento hanno contribuito:

Dott. Andrea Rismondo

Dott.ssa Chiara Miotti

Dott. Daniele Curiel

Elmar s.r.l. – Società di rilievi idrografici

1 PREMESSA

1.1 Introduzione

Il presente rapporto espone i risultati delle attività di campo che si sono svolte, con una sola campagna, tra ottobre e novembre 2016, nella bocca di porto di Lido, per la linea di monitoraggio “Rilievi di dettaglio dei margini ad elevata dinamicità” delle praterie a fanerogame. Tale attività è inserita nel dodicesimo anno del Piano di Monitoraggio degli effetti prodotti dai cantieri per le opere da realizzare alle bocche lagunari nei confronti delle praterie a fanerogame marine presenti sui bassi fondali circostanti, elemento del biota che costituisce uno dei componenti degli ecosistemi di pregio oggetto dello Studio B.6.72 B/12: “Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari – 12^a fase”.

Le attività di monitoraggio delle praterie a fanerogame del presente studio sono la prosecuzione, per ulteriori 12 mesi (maggio 2016 – aprile 2017), dei monitoraggi:

- dello Studio B.6.72 B/1 (maggio 2005 – aprile 2006) per la sola bocca di porto di Lido;
- dello studio B.6.72 B/2 (maggio 2006 – aprile 2007) per la bocca di porto di Lido, e dello Studio B.6.72 B/2 Variante (novembre 2006 – aprile 2007) per le bocche di Malamocco e Chioggia;
- degli studi B.6.72 B/3-B/11 (tra maggio 2007 e aprile 2016) per le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia.

A partire dallo Studio B.6.72 B/4, nel piano di monitoraggio sono stati inseriti rilievi di dettaglio in due praterie della bocca di porto di Lido potenzialmente esposte a possibili effetti degli interventi di cantiere per la realizzazione delle opere mobili: una era situata ai margini del bassofondo del “Bacan” nei pressi della Isola Nuova ed una era situata nel tratto di mare antistante la parte conclusiva della pista dell’aeroporto Nicelli. Queste praterie, per la collocazione specifica che hanno nelle aree di bocca, svolgono una funzione di raccordo e stabilizzazione tra il bassofondo e il margine del canale sino ad una profondità di 3-4 m, con la funzione fondamentale di stabilizzazione del piano sedimentario, di contrasto dei processi erosivi, soprattutto del margine del canale; va infatti considerato il fatto che, per alcuni tratti, il limite della prateria è prossimo o coincidente con il cambio di pendenza del fondale che diventa il canale stesso. Si tratta di praterie a fanerogame marine di particolare interesse “storico” e in prossimità delle quali, oltre alle opere direttamente connesse alle dighe mobili, sono stati realizzati, negli anni, anche interventi localizzati di ripristino della funzionalità di infrastrutture (diga sud Aeroporto Nicelli) o di ripristino di canali già in parte esistenti (tratto di canale a nord della Isola Nuova a supporto delle paratoie). In queste specifiche due aree di margine della prateria prossima ai canali, in questi anni sono stati eseguiti:

- rilievi di dettaglio in immersione con autorespiratore con assunzione di *markers* e *tracce* lungo il margine della prateria nei tratti di possibile impatto;
- rilievi lungo transetti diretti dal margine della prateria nel bordo canale sino al bassofondo;
- analisi di immagini fotografiche satellitari.

Non avendo osservato tra il 2004 e il 2008 (studi B.6.72 B/4-B/9), durante e al termine dei lavori, variazioni significative per la prateria posta nella parte conclusiva della pista dell’aeroporto Nicelli e sul relativo margine del canale, i monitoraggi di dettaglio sono proseguiti solamente nell’area del “Bacan”, retrostante alla nuova isola artificiale.

Dopo circa un decennio di monitoraggi, le principali evidenze raccolte alla bocca di porto di Lido riportano una sostanziale assenza di segnali riconducibili causalmente all’attività dei cantieri; attualmente, le lavorazioni suscettibili di produzione di torbide sono nel complesso terminate o

comunque notevolmente rarefatte. I controlli di dettaglio degli ultimi anni hanno evidenziato come il nuovo assetto morfologico risultante dai lavori alla bocca di Lido sia verosimilmente responsabile, in alcune aree più suscettibili alle variazioni morfologiche ed idrodinamiche, di modificazioni significative, sia positive (espansione) che negative (arretramento), delle coperture delle praterie. Ci si riferisce in particolare ai limiti delle praterie retrostanti la nuova isola artificiale, lungo i margini del canale di S. Nicolò e alle praterie interne del basso fondo del "Bacan". Le prime hanno evidenziato moderati ma netti ed evidenti arretramenti in corrispondenza di fenomeni erosivi a carico della scarpata del canale; le seconde hanno evidenziato, per contro, importanti dinamiche proliferative che hanno portato ad un netto aumento delle superfici colonizzate, prevalentemente da parte di *Cymodocea nodosa* (in modo diffuso) e di *Zostera noltei*¹, in particolare nelle aree antistanti S. Erasmo, fondali che nella mappatura del 1990 risultavano ampiamente colonizzati da questa specie.

Nel presente monitoraggio, allo scopo di definire con maggiore precisione il limite delle praterie nella zona di passaggio dal bassofondo al canale ed di investigare le profondità e le pendenze sulle quali si possono sviluppare, sono state svolte specifiche indagini con metodiche acustiche.

1.2 Obiettivi

Tenuto conto delle modifiche morfologiche che sono state apportate dalle opere alla bocca di porto di Lido, i principali interventi che possono aver avuto effetti sulle dinamiche delle praterie a fanerogame possono essere indicati in:

- realizzazione dell'Isola Nuova e del suo canale di by-pass;
- rimodulazione delle sezioni del canale di S. Nicolò, con conseguente variazione dei flussi.

Le attività riguardanti i rilievi di dettaglio dei margini ad elevata dinamicità, in connessione con quelli di mappatura delle praterie condotti nei bassifondi della bocca, hanno lo scopo di:

- proseguire le verifiche ai margini della prateria del "Bacan", soprattutto nel tratto di influenza idrodinamica della nuova isola;
- verificare la collocazione e lo stato dei limiti delle praterie che potenzialmente potrebbero incorrere in fenomeni di erosione/arretramento o progressione in corrispondenza di alcuni margini di canale della bocca di porto;
- valutare, nei tratti considerati, le diverse tipologie di margine delle praterie in relazione alla profondità (su basso o alto fondale) ed inclinazione del bordo canale (canale debolmente inclinato, canale fortemente inclinato), includendo nella valutazione, se possibile, anche la velocità della corrente (da modello).

¹ attuale denominazione della fanerogama marina citata nei precedenti rapporti come *Nanozostera noltii*.

2 ATTIVITA' ESEGUITE

2.1 Generalità dell'attività e fasi di campo

Il programma di monitoraggio ha previsto l'esecuzione di una campagna finalizzata all'individuazione del limite della prateria in coincidenza con il margine di alcuni canali che negli ultimi anni, anche in seguito alle modifiche morfologiche apportate dalle opere, hanno evidenziato elevati dinamismi. Le indagini in campo, per la maggior parte eseguite tra ottobre e novembre 2016, con tecniche classiche (verifiche dirette in immersione con rilievi GPS) e tecniche di elevata precisione (Multibeam), hanno incluso tre fasi operative:

- rilievi in immersione sul limite della prateria antistante la nuova isola,
- rilievi di precisione mediante metodiche acustiche,
- mappatura di precisione del bassofondo del "Bacan".

Nei successivi mesi, dopo una prima analisi dei dati di campo, sono state eseguite dei sopralluoghi speditivi e mirati per approfondimenti o riprese fotografiche di dettaglio.

2.1.1 Rilievi in immersione sul limite della prateria antistante la nuova isola

Si tratta della prosecuzione di rilievi avviati a partire dallo Studio B.6.72 B/4 sul limite della prateria localizzata sul bordo canale antistante la nuova isola (Figura 2.1).

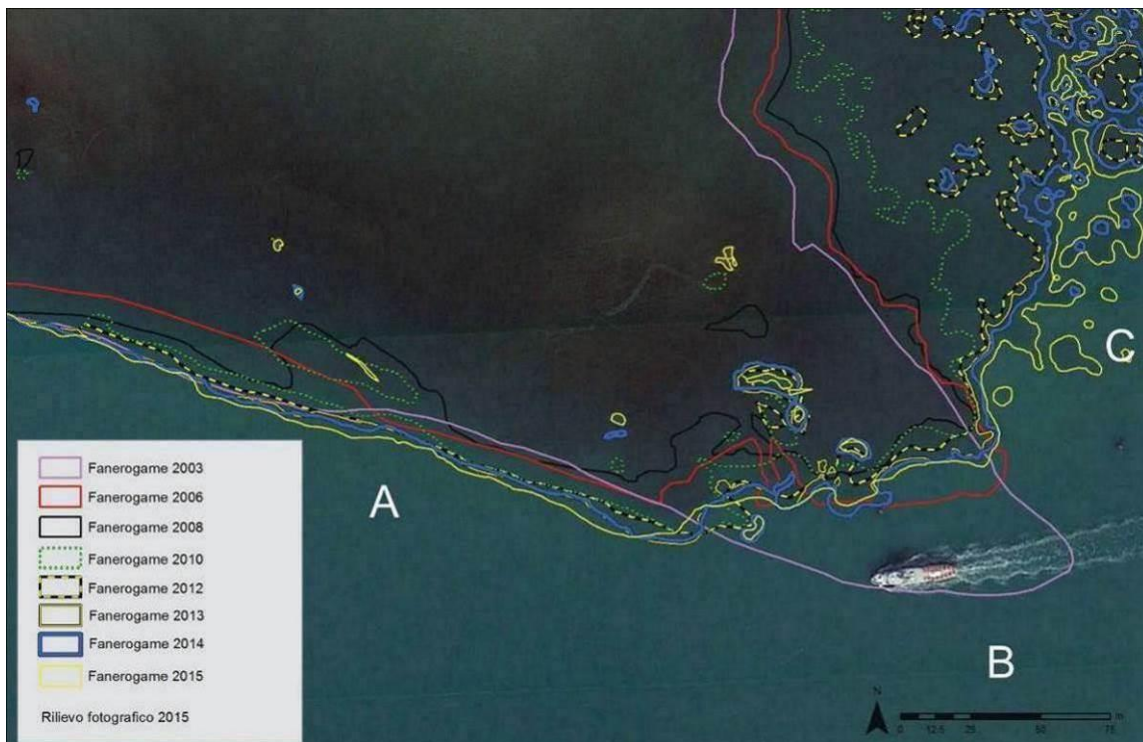


Figura 2.1. Esempio di dettaglio dei margini della prateria del Bacan tra gli anni 2003 e 2015 nel tratto ritenuto esposto ai possibili impatti delle opere.

Le attività in campo sono state eseguite da una coppia di operatori, uno dei quali in immersione con equipaggiamento standard FIPSAS (una bombola, jacket, due erogatori e un manometro) che ha percorso il limite della prateria sul margine del canale munito di veicolo elettrico per il

trascinamento. Durante il tragitto l'operatore subacqueo ha trascinato una boa galleggiante munita di GPS che ha registrato la *traccia/markers* del percorso. Nei punti di maggiore interesse (erosione, arretramento o avanzamento del margine, cambi di pendenza, ecc.), l'operatore ha eseguito riprese fotografiche e video riconducibili al tratto di margine sulla base della sincronizzazione dell'orario del sistema fotografico e del GPS di superficie (Figura 2.2). In fase di analisi, i dati relativi al tracciato sono stati incrociati con quelli dei rilievi di precisione eseguiti con metodiche acustiche (di seguito indicati) e quelli relativi alle immagini fotografiche satellitari dell'area, utilizzati per la mappatura dell'intera bocca di porto.



Figura 2.2. Scatti fotografici relativi al margine della prateria sul bordo canale (profondità circa 3 m).

2.1.2 Rilievi di precisione mediante metodiche acustiche

Tale attività è stata inserita per la prima volta quest'anno nel piano di monitoraggio. Ha compreso una iniziale fase di desk per individuare i settori e la lunghezza dei margini delle praterie più significativi da verificare in campo. Tali settori sono stati individuati lungo 3 praterie di margine canale, potenzialmente sensibili alle variazioni morfologiche e idrodinamiche, per una lunghezza di circa 1 km ciascuno, riferibili ai canali S. Nicolò, S. Erasmo e di Treporti. I tre margini di prateria nelle figure di seguito riportate sono identificati come:

- margine S. Andrea (Canale di S. Nicolò e parte iniziale del Canale di S. Erasmo);
- margine Bacan (Canal di Treporti e Canale di S. Nicolò);
- margine S. Nicolò (Canale di S. Nicolò).

Nella figura 2.3 è riportato il tracciato lungo il quale sono stati eseguiti i controlli di dettaglio del limite delle praterie con i punti di maggiore interesse dove sono stati eseguiti anche dei profili batimetrici trasversali.

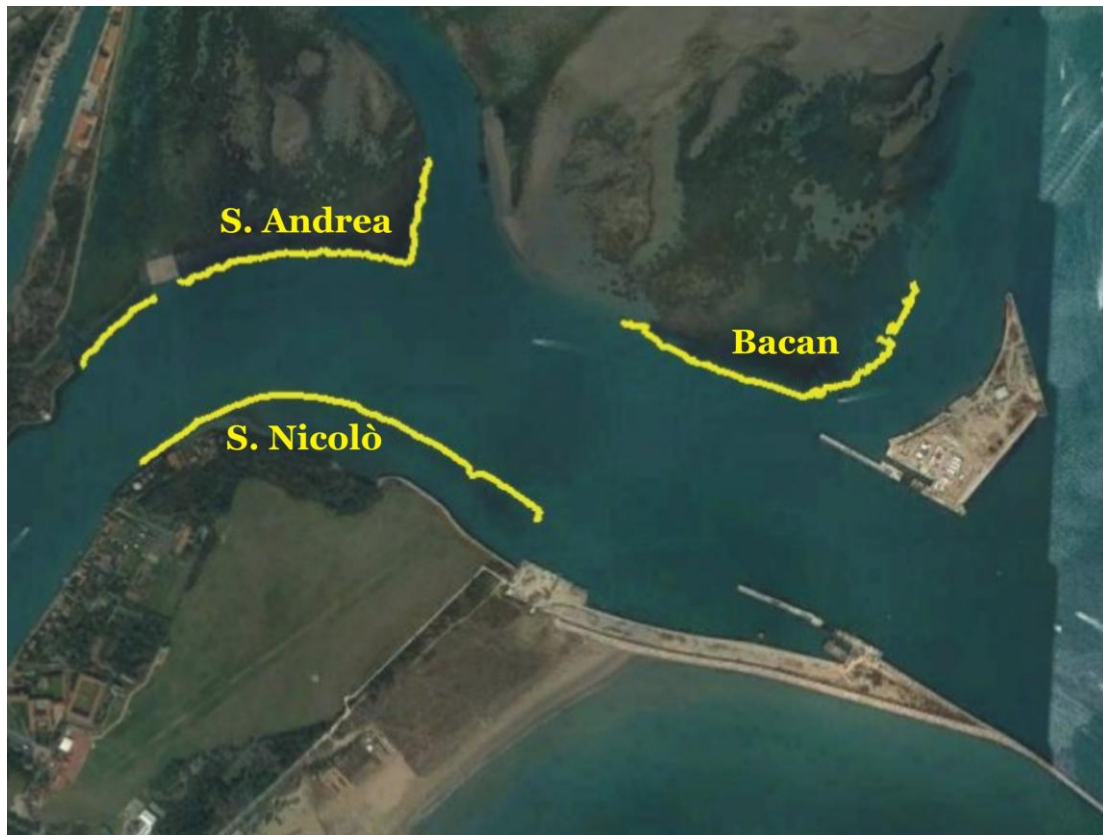


Figura 2.3. Limiti delle praterie a fanerogame sul margine di canali, verificati con metodiche acustiche.

Successivamente si è passati alla fase operativa di campo utilizzando strumentazioni acustiche di precisione, montate su un'imbarcazione predisposta. Nello specifico è stata usata una strumentazione idrografica Multibeam-Echosounder e Side Scan Sonar che ha permesso di identificare, su una fascia di larghezza di circa 10 m, la reale profondità del fondale sul bordo del canale e contemporaneamente identificare anche il limite e la quota batimetrica della prateria. Contestualmente è stato registrato anche il valore di *Backscatter* (onda riflessa dalla superficie investigata) per le successive elaborazioni.

Sistema Multibeam-Echosounder

Il sistema Multibeam-Echosounder (MBES) scelto per l'acquisizione dei dati batimetrici è Reson 8125 in grado di operare con frequenze di 455 Hz, le più alte in commercio, che garantiscono un dato ad altissima definizione. Il sistema MBES è costituito dai seguenti sotto sistemi componenti:

- Trasduttore multibeam;
- PC dedicato alla gestione del trasduttore multibeam;
- Motion sensor;
- Sonda profilatrice della velocità del suono;
- PC dedicato alla navigazione;

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

- Sistema di posizionamento satellitare.

Istallato sull'imbarcazione, il MBES scandaglia il fondale restituendo una nuvola di punti con densità di un punto ogni c.a. 10 cm², garantendo quindi una copertura totale del fondale sottostante.

Il rilievo in oggetto è stato condotto nel rispetto degli standard internazionali (IHO/S-44 5th Edition February 2008, recepiti in lingua italiana ed elaborati sotto la competenza dell'Istituto Idrografico della Marina (IIM) ed entrati a far parte della normativa dell'IMM del 2016) sia per quanto attiene alla velocità della barca, sia per l'accuratezza nella determinazione della posizione. Il rilievo è stato eseguito ad una velocità non superiore ai 2 nodi ed ha rispettato le seguenti fasi operative:

1. calibrazione sistema idrografico;
2. pianificazione rilievo;
3. acquisizione dati;
4. elaborazione e restituzione dati.

La fase di acquisizione è stata sempre preceduta dalla fase di calibrazione al fine di accertare l'efficienza della strumentazione impiegata e la rispondenza alle specifiche tecniche. Tale operazione è stata condotta con accuratezza al fine di eliminare ambiguità di fondo; in particolare:

- Ship's layout, ovvero il calcolo degli offset degli strumenti rispetto al punto (0,0) del Motion sensor;
- Accuratezza della posizione determinata su punti di coordinate note dell'area;
- MBES: calibrazione effettuata su bersagli di profondità e coordinate note;
- Misura del valore di velocità del suono in acqua, previa verifica con sonda SPV.

Il rilievo idrografico MBES è stato condotto utilizzando un'integrazione di sistema costituita da apparati per la determinazione della posizione da satelliti GPS Navstar e Glonass, da apparati e strumenti per la acquisizione di dati idrografici, da piattaforme inerziali di navigazione gestite dal software dedicato. I dati batimetrici acquisiti sono stati prima validati mediante software specifici al fine di consentire:

- la pulizia dei dati di navigazione (in particolare salti di navigazione);
- la pulizia dei dati di profondità basata sull'applicazione di filtri statistici;
- l'applicazione delle correzioni di marea per riferire i dati alla superficie di riferimento richiesta;
- la produzione del Modello Digitale del Terreno (DTM);
- l'estrazione dal DTM del file .xyz;

e successivamente elaborati con il software Hypack-Max (Figura 2.4 e Figura 2.5).

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

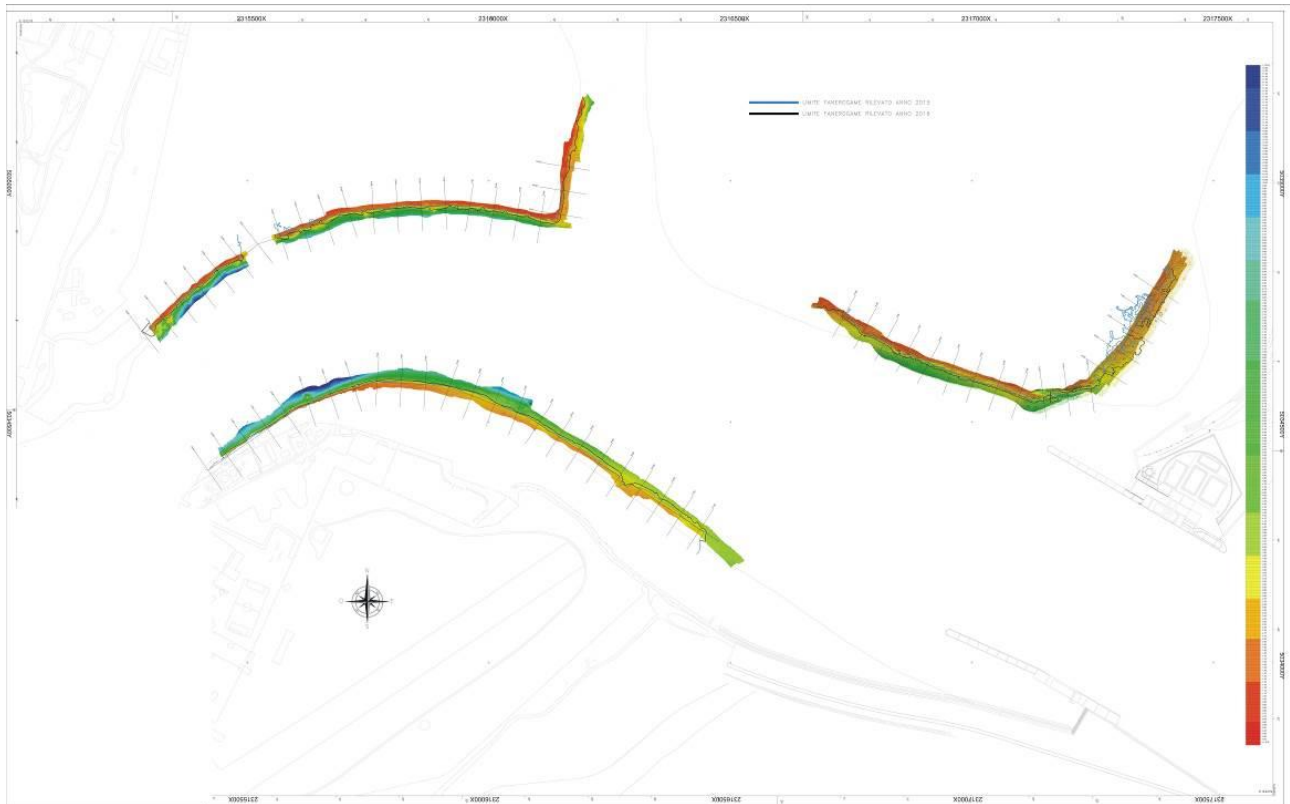


Figura 2.4. Planimetria rilievo Mbes Echosounder (scala 1:2000). I colori si riferiscono ad una scala batimetrica estesa da -12 m (colore blu) a 0 m (colore rosso) riferito allo zero I.G.M. (Genova42).

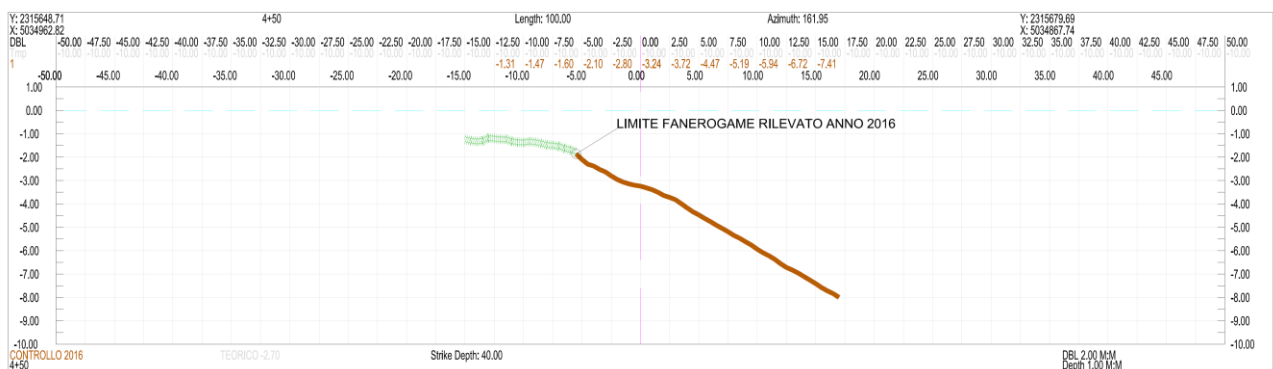


Figura 2.5. Esempio di sezione del margine di canale con prateria a fanerogame. La scala dei due assi (x e y) è relativa ai metri; la traccia verde del grafico è relativa alla prateria a fanerogame mentre quella in marrone al fondale/bordo canale.

Sistema idrografico Side Scan Sonar (SSS)

Il sistema SSS è costituito da un towfish contenente i trasduttori che, durante il rilievo, è stato trainato dall'imbarcazione. Il rilievo è stato condotto seguendo linee con interasse stabilito in funzione delle profondità dei fondali e comunque parallele alle linee batimetriche. Il rilievo ha fornito la caratterizzazione morfologica del fondale consentendo il riconoscimento e la mappatura delle fanerogame.

I dati sono stati acquisiti con il software della casa produttrice. Dopo la fase di campo i dati sono stati analizzati per essere validati e successivamente elaborati con il software Hypack Max che

consente la mosaicazione e georeferenziazione dei sonogrammi registrati in fase di acquisizione. In figura 2.6 è riportata la planimetria del rilievo Side Scan Sonar.

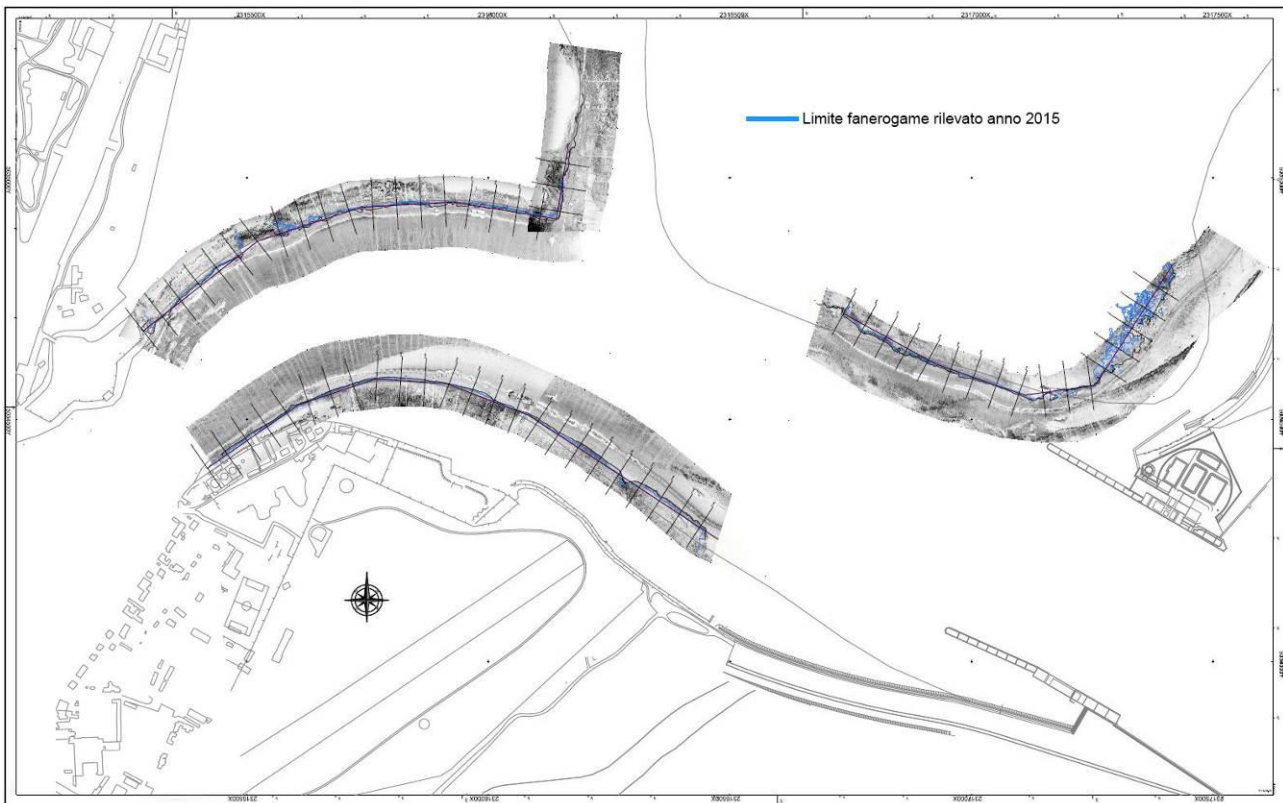


Figura 2.6. Planimetria Side Scan Sonar (SSS).

Per quanto riguarda l'elaborazione dei dati, i valori registrati in campo (Figura 2.7 e Figura 2.8), dopo una opportuna validazione ed elaborazione, hanno permesso la realizzazione di tavole in formato digitale quali:

- planimetria del piano quotato;
- planimetria con curve di livello;
- mappatura del limite della prateria sul canale;
- profilo in sezione trasversale della prateria nei punti più significativi.

Dopo un'analisi dei dati acustici, nei punti di maggiore interesse scelti sulla base della tipologia della prateria, inclinazione del fondale, stabilità/erosione, ecc., sono stati eseguiti sopralluoghi per una verifica diretta e rilevare alcuni parametri di dettaglio della prateria e del fondale in immersione (tipologia del limite, tendenze in atto, sedimento, specie presenti) con associate riprese fotografiche e video.



Figura 2.7. A sinistra è riportata una immagine del sistema Multibeam- Echosounder mentre, a destra, quella del Side Scan Sonar.

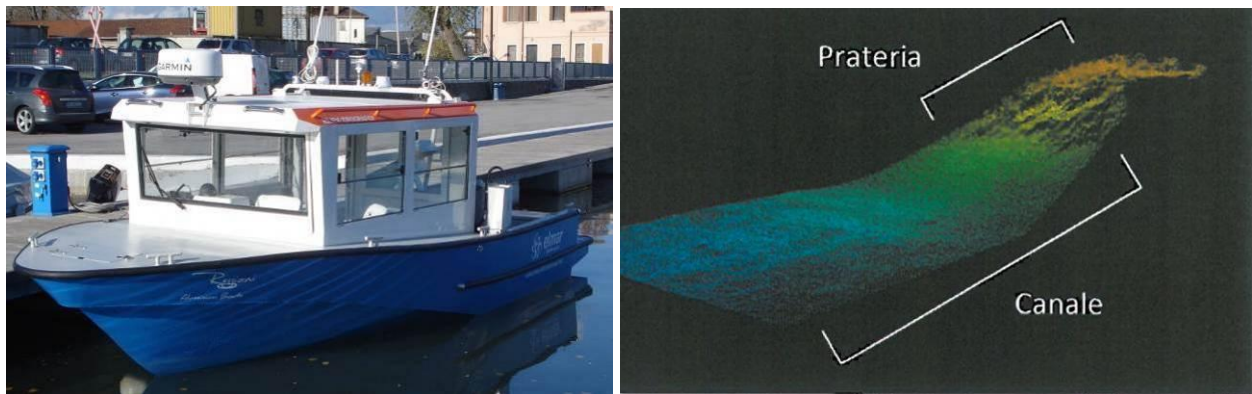


Figura 2.8. A sinistra, l'imbarcazione che ha operato per i rilievi in campo munita della strumentazione acustica mentre, a destra, esempio di immagine relativa un test eseguito sul limite di una prateria posta sul bordo canale.

2.1.3 Mappatura di precisione del bassofondo del "Bacan"

In continuità con quanto eseguito a partire dallo Studio B.6.72 B/4, nell'area più estesa del "Bacan", posta tra la nuova isola e l'isola di S. Erasmo, sono stati eseguiti rilievi di dettaglio per verificare le dinamiche delle praterie in questo settore della bocca di porto. Tale attività è stata realizzata sia con rilievi diretti da imbarcazione in media-alta marea, sia con rilievi specifici in bassa marea, percorrendo a piedi i fondali a fanerogame prossimi all'isola di S. Erasmo, in parte colonizzati della specie *Zostera noltei* (Figura 2.9).

In ambedue le modalità operative, in barca o a piedi, gli operatori erano muniti di strumentazione di localizzazione GPS collegata ad un PC da campo con cartografia, oppure di tablet cartografico anch'esso dotato di sistema di localizzazione per la registrazione di markers.

I dati di campo riconducibili a markers con coordinate, codici di identificazione della specie e del grado di copertura del sito sono stati successivamente analizzati e verificati, confrontandoli con quelli della più estesa mappatura in corso di realizzazione nell'area della bocca di Lido e con quelli di immagini satellitari.

L'attività, che si è svolta in campo principalmente tra ottobre e novembre 2016, dopo la fase di analisi dei dati, ha richiesto successive verifiche in campo per ulteriori approfondimenti o risoluzione di limitate problematiche legate alle specie presenti.

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



Figura 2.9. Immagini prese nel corso dei rilievi di dettaglio, effettuati con imbarcazione o mediante operatore a piedi, nel settore lagunare del bassofondo del "Bacan". Le foto si riferiscono ad un operatore che, dopo aver terminato i rilievi da barca, ha iniziato una fase di perlustrazione delle praterie a piedi nel settore lagunare del bassofondo del "Bacan" (area antistante l'isola di S. Erasmo).

3 RISULTATI E VALUTAZIONI

3.1 Rilievi in immersione sul limite della prateria antistante la nuova isola

3.1.1 *Quadro generale del rilievo di dettaglio e obiettivi*

A partire dallo Studio B.6.72 B/4 del 2008 nel piano di monitoraggio sono stati inseriti rilievi di dettaglio in praterie della bocca di porto di Lido potenzialmente esposte a possibili effetti degli interventi di cantiere per la realizzazione delle opere mobili e di altre opere accessorie. In particolare, sino al monitoraggio del 2013 (Studio B.6.72 B/9) oltre alla prateria situata ai margini del Bacan, nei pressi dell'isola in realizzazione (ora ultimata), era stata considerata anche quella nel tratto lagunare antistante la pista dell'aeroporto Nicelli (Figura 3.1).

La presenza di praterie a fanerogame marine nelle bocche di porto è stata citata in passato in letteratura senza riportare specifici dettagli geografici (Benacchio, 1938; Bèguinot, 1913, 1941; Vatova, 1949; Pignatti, 1953, 1966; Simonetti, 1966, 1973). I primi dati dai quali si possono desumere le aree e le estensione delle praterie derivano da immagini fotografiche degli anni 50. Negli anni seguenti le bocche di porto e le aree immediatamente retrostanti sono state oggetto di a) interventi strutturali alle bocche stesse o ai moli foranei e b) modifiche o scavo di nuovi canali che hanno variato l'assetto idrodinamico dell'area.

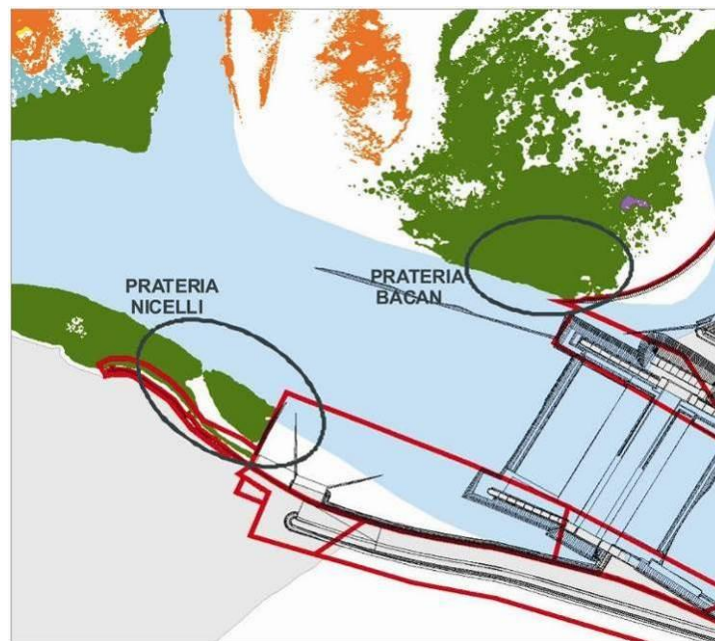


Figura 3.1. Praterie della bocca di porto di Lido oggetto di un rilievo di dettaglio nel corso dei monitoraggi B.6.72 B/4 - B/9. Il presente monitoraggio prenderà in esame solamente le praterie del Bacan.

Il ruolo di raccordo e stabilizzazione che le praterie hanno tra il bassofondo e il margine del canale, sino ad una profondità di 3-4 m, conferisce loro la fondamentale funzione di stabilizzazione del piano sedimentario e di contrasto dei processi erosivi. Ne è un esempio l'ampia area del Bacan di Lido, che rappresenta il primo fondale lagunare con fanerogame che si incontra all'interno della bocca, dove si hanno batimetrie che decrescono da circa +0,3 m a -3/4 m. Le praterie a fanerogame, e in particolare quelle a *Cymodocea nodosa*, esplicano importanti ruoli di:

- difesa fisica dei fondali dai flussi mareali in entrata dalla bocca;

- protezione e nursery per gli organismi zoobentonici che vivono nei sedimenti e per la fauna ittica che l'attraversa.

L'area oggetto di verifica è posta a nord-ovest dell'Isola Nuova, realizzata per dare supporto alle due serie di paratoie mobili, e nelle cui vicinanze sono stati eseguiti, tra il 2008 e il 2009, interventi di approfondimento e riprofilatura del canale di by-pass retrostante l'isola (Figura 3.2). Tale canale, adibito alla navigazione di imbarcazioni piccole e medie, ma anche delle motonavi del servizio di linea, in alcuni tratti lambisce il margine di una prateria sommersa a *Cymodocea nodosa*, posta ad una quota compresa tra -1,5 m e -3,5 m.

Le verifiche in oggetto sono state condotte ritenendo che la realizzazione dell'isola ed il ripristino della piena funzionalità del canale possano indurre nel tempo modifiche sulla parte più estrema del basso fondale e delle praterie poste sul fondale del Bacan, alterando nel tempo la conformazione, le quote batimetriche e i limiti della stessa prateria. L'attenzione per questa prateria è dovuta sia alla particolare esposizione ai possibili impatti, sia alla sua superficie, stimabile dalle immagini fotografiche degli anni 50, in circa 60 ha, scesi poi a 15-20 ha nell'ultimo decennio, e solo recentemente in parziale incremento.

Si tratta quindi di una prateria che nel passato ha subito una riduzione e frammentazione, per la quale è opportuna una particolare sorveglianza, dal momento che il nuovo assetto della bocca di porto potrebbe indurre variazioni idrodinamiche e dei processi di sedimentazione/erosione. Il trend degli ultimi 4-5 anni evidenzia una significativa ricolonizzazione nell'area, sia su battenti medio-elevati, sia su quelli più limitati, confermando come l'area si presti ad un'elevata dinamicità che attualmente è di tipo progressivo ma che, come avvenuto in passato, potrebbe anche evolvere in negativo.

Nel presente rapporto si rende conto delle indagini condotte sulle praterie antistanti la nuova isola artificiale, anche attraverso un'analisi storica recente delle variazioni subite. Per condurre questa attività sono stati eseguiti:

- rilievi di dettaglio in immersione con autorespiratore con assunzione di *markers*, lungo il margine della prateria nei tratti di possibile impatto;
- rilievi lungo transetti diretti dal margine della prateria nel bordo canale sino al bassofondo interno del Bacan;
- analisi di immagini fotografiche.



Figura 3.2. Rilievi fotografici della prateria a *Cymodocea nodosa* situata nel bassofondo del Bacan.

Nella figura 3.3 sono riportati i transetti lungo i quali sono state eseguite misure di densità sulle praterie.

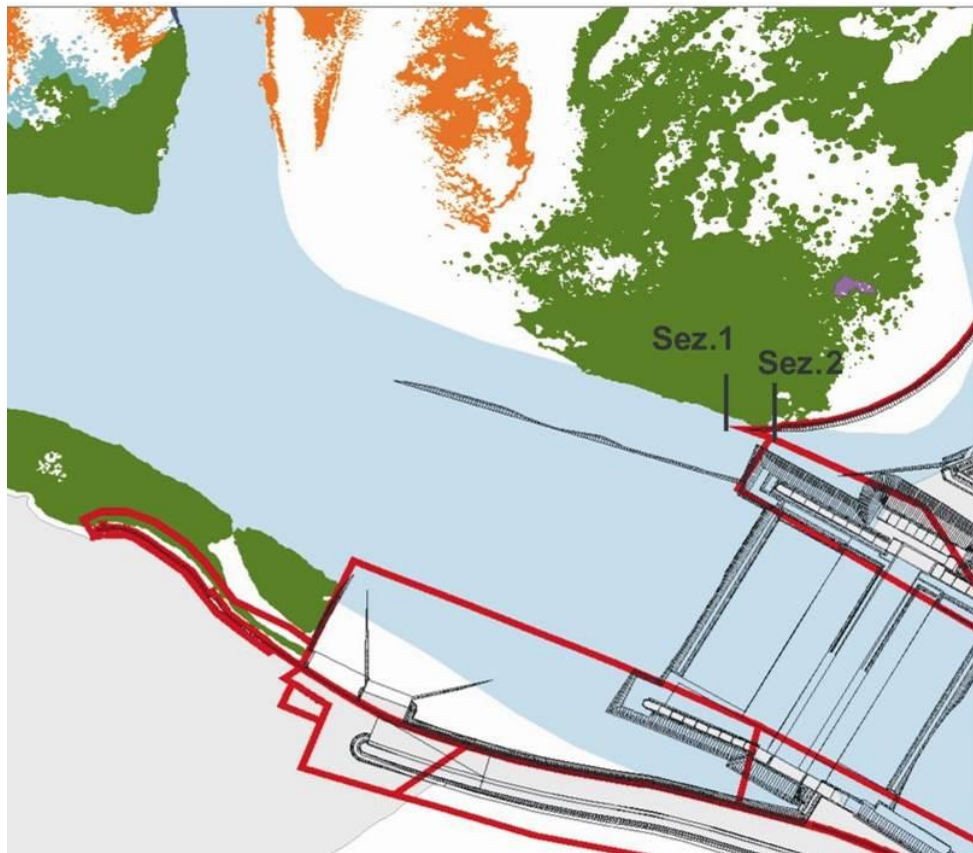


Figura 3.3. Transetti lungo i quali sono stati eseguiti, in immersione, specifici controlli delle due praterie.

3.1.2 La prateria a *Cymodocea nodosa* situata sul limite del bassofondo del Bacan

L'esame storico della prateria situata nella punta estrema del basso fondale del Bacan, basato su immagini fotografiche e più recentemente su mappature, ha evidenziato, a partire dagli anni 50, una regressione dell'estensione che sembrerebbe dovuta principalmente a dinamismi naturali presenti nella bocca di porto, poiché non è nota l'esecuzione di interventi diretti che abbiano interessato la morfologia dell'area.

L'esame delle immagini fotografiche, dagli anni 50 sino all'inizio dei controlli *ante operam* del 2003, ha rilevato una sensibile riduzione della prateria e un progressivo arretramento del margine rivolto alla bocca di porto (Figura 3.4). Dagli anni 50 al 2003, l'estensione della prateria in oggetto è variata da circa 60 ha a 15-20 ha.

Nei primi anni del monitoraggio, le immagini fotografiche ed i rilievi in campo, pur non rilevando più mutamenti a livello di macro-scala, hanno evidenziato però dinamiche di media-piccola scala nella prateria, sia nei settori più periferici verso i margini del canale, sia verso i bassofondi e nelle aree retrostanti la nuova isola in realizzazione. Negli ultimi 5-6 anni, le dinamiche di colonizzazione si sono accentuate con una progressiva espansione di *Cymodocea nodosa*, nei fondali medio alti (dalle zone a margine del canale verso il bassofondo), e di *Zostera noltei*, nei settori più interni e a minore profondità a sud dell'isola di S. Erasmo, fondali che nella mappatura del 1990 risultavano ampiamente colonizzati proprio da questa specie.

Nelle immagini di figura 3.4, è rappresentato un raffronto fotografico tra il 1955 e il 2016, mirato a caratterizzare i dinamismi delle praterie dei fondali del Bacan (area cerchiata in nero) e del

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

marginale della prateria maggiormente esposta per le modifiche morfologiche apportate alla bocca (area cerchiata in rosso).



Figura 3.4. Rilievo fotografico della prateria del Bacan tra il 1955 e 2016. La linea tratteggiata in nero racchiude l'area dove negli ultimi anni sono state evidenziate significative dinamiche colonizzative; l'area tratteggiata in rosso è quella di maggiore interesse per le modifiche morfologiche apportate alla bocca.

L'evoluzione del limite della prateria nel tratto retrostante e protetto idrodinamicamente dalla nuova isola, come nei precedenti anni, può essere descritto nella sua evoluzione, ripartendolo in tre settori (A, B e C), come riportato nella figura 3.5:

- nel settore A, il margine della prateria ha evidenziato, nei primi anni del monitoraggio, una marcata variabilità, con arretramenti e avanzamenti rispetto al riferimento del 2003 (si ricorda che i primi anni fanno riferimento ai soli rilievi fotografici). Dal 2010 sino all'attuale controllo del 2016 il limite della prateria, sul margine del canale, appare più stabile negli anni, con avanzamenti o arretramenti limitati, di pochi metri;
- nel settore B della prateria, relativo alla parte più esposta al canale e prossima all'isola, appare evidente, sin dal primo riferimento del 2006, una marcata regressione rispetto al 2003. Negli ultimi anni, come pure nel controllo attuale, il margine della prateria in questo settore si dimostra molto sinuoso e irregolare, con evidenti segnali di erosione in profondità. Il limite della prateria in profondità risulta anche frammentato, con inclinazioni del margine che variano da elevate (circa 45 gradi) a quasi piane, dove si rinvencono anche piccole isole relitte con fanerogame che suggeriscono la presenza, nei precedenti anni, di un fronte della prateria più avanzato. Gli arretramenti osservati trovano conferma nello scalzamento dell'apparato radicale e dei rizomi osservato sia in immersione, sia dalla barca (Figura 3.6);
- nel settore C, la prateria mostra, da diversi anni, una graduale e costante espansione verso est e sud-est. Gli incrementi di anno in anno, seppur limitati ad alcuni metri, continuano a mostrare una discreta dinamicità con avanzamenti che interessano sia il margine regolare che si addentra nel bassofondo verso nord, sia una serie di "patch" che si sono formate negli anni e che, allargandosi in tutte le direzioni, si sono a loro volta unite formando piccole praterie che sono oramai prossime ad integrarsi nella più estesa prateria principale. Questo consolidamento tra praterie ha spostato significativamente verso sud-est il margine dell'attuale prateria che, pur essendo costituita principalmente da *Cymodocea nodosa*, vede anche patch a *Zostera marina* e *Zostera noltei* nella forma a "foglia lunga".

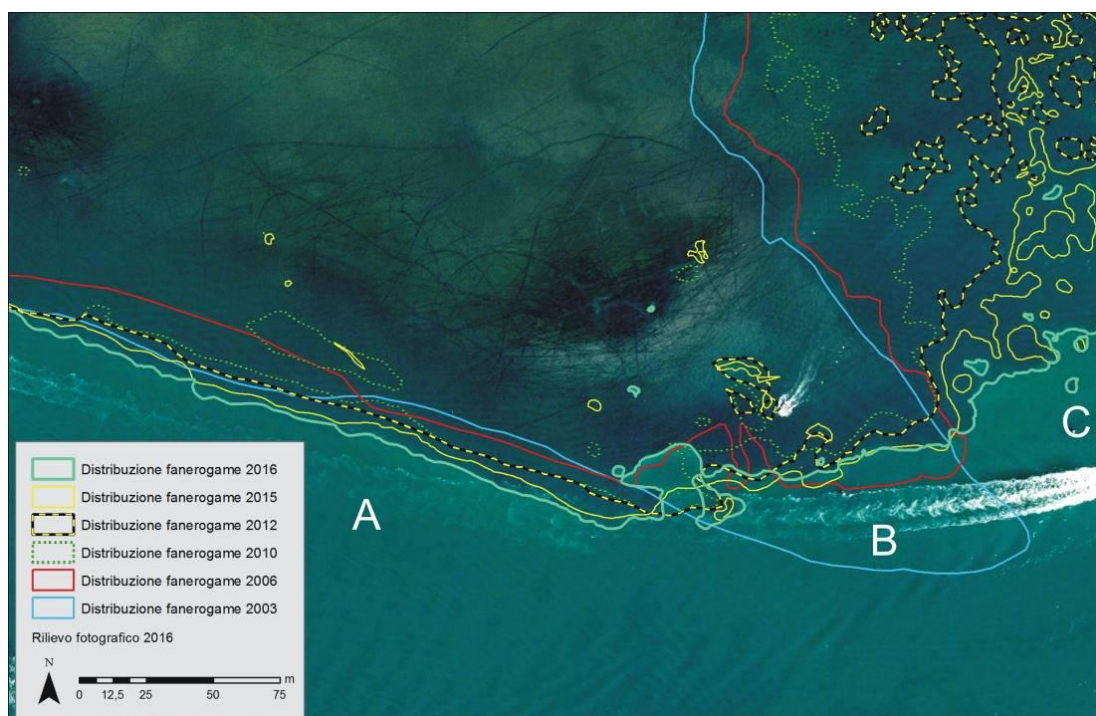


Figura 3.5. Dettaglio dei margini della prateria del Bacan tra gli anni 2003 e 2016 in un tratto ritenuto esposto ai possibili impatti delle opere. I limiti degli anni 2003-2006 fanno riferimento ad immagini fotografiche mentre quelli del 2008-2016 ad una combinazione di immagini fotografiche e di markers rilevati in immersione con attrezzatura ARA lungo il margine.

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



Figura 3.6. Immagini relative al settore B del margine: in alto e al centro, scatti fotografici relativi a situazioni di marcata erosione del fondale e sulle fanerogame marine con evidente esposizione di radici e rizomi lunghi anche 2 m; in basso scatti fotografici dalla superficie dove si possono scorgere i rizomi di *Cymodocea* scalzati dal sedimento.

Il limite della prateria situato a profondità di 1-3 m circa, è stato percorso in immersione con attrezzatura ARA (Figura 3.7) per circa 500 m, tracciando la sua posizione con un GPS, verificandone lo stato ed analizzando eventuali segnali di erosione del fondale o di scalzamento delle fanerogame. Ulteriori misure e verifiche dello stato delle praterie (copertura e densità) sono

state eseguite anche lungo due transetti che si addentrano perpendicolarmente alla prateria per un centinaio di metri (Figura 3.3 e Figura 3.8), allo scopo di valutare la densità e copertura.



Figura 3.7. Attrezzatura subacquea impiegata nei rilievi del margine della prateria: a sinistra equipaggiamento standard FIPSAS composto da una bombola, jacket, due erogatori e un manometro; al centro e a destra veicolo elettrico per il trascinamento dei subacquei.

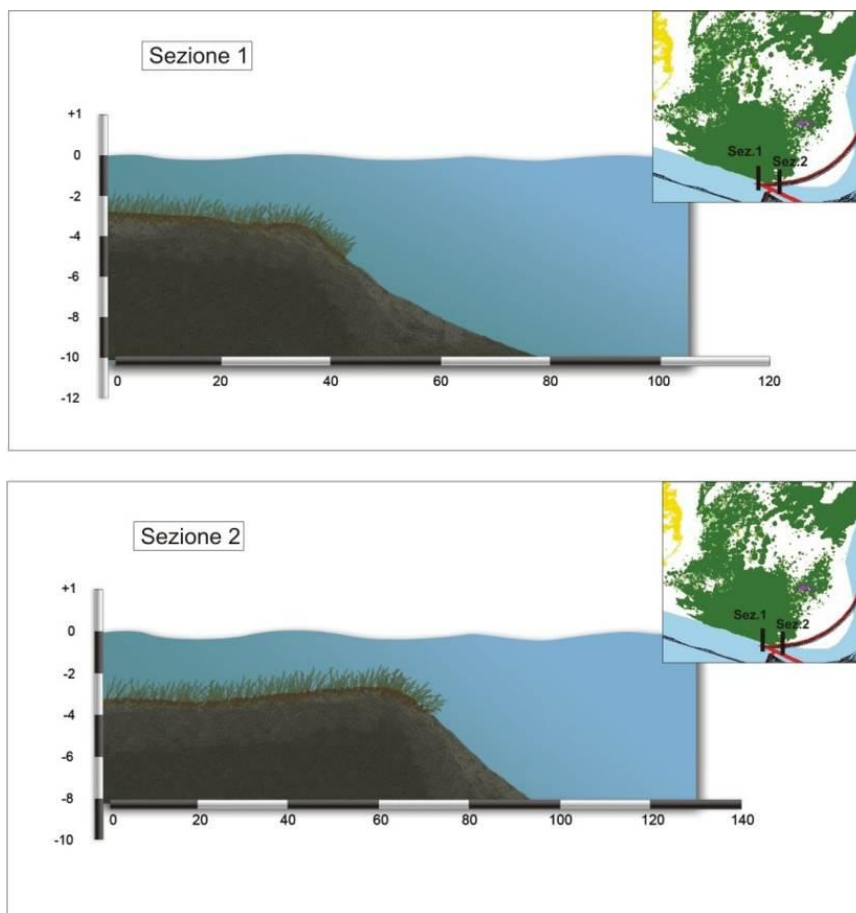


Figura 3.8. Schema semplificato della tipologia del limite delle praterie lungo i due transetti.

Nei settori del margine esaminato con un operatore in immersione nel tratto antistante la nuova isola, sono state quindi osservate tre condizioni differenti che si possono riassumere in stabilità nel settore A, erosione nel settore B centrale ed avanzamento della prateria nel settore C.

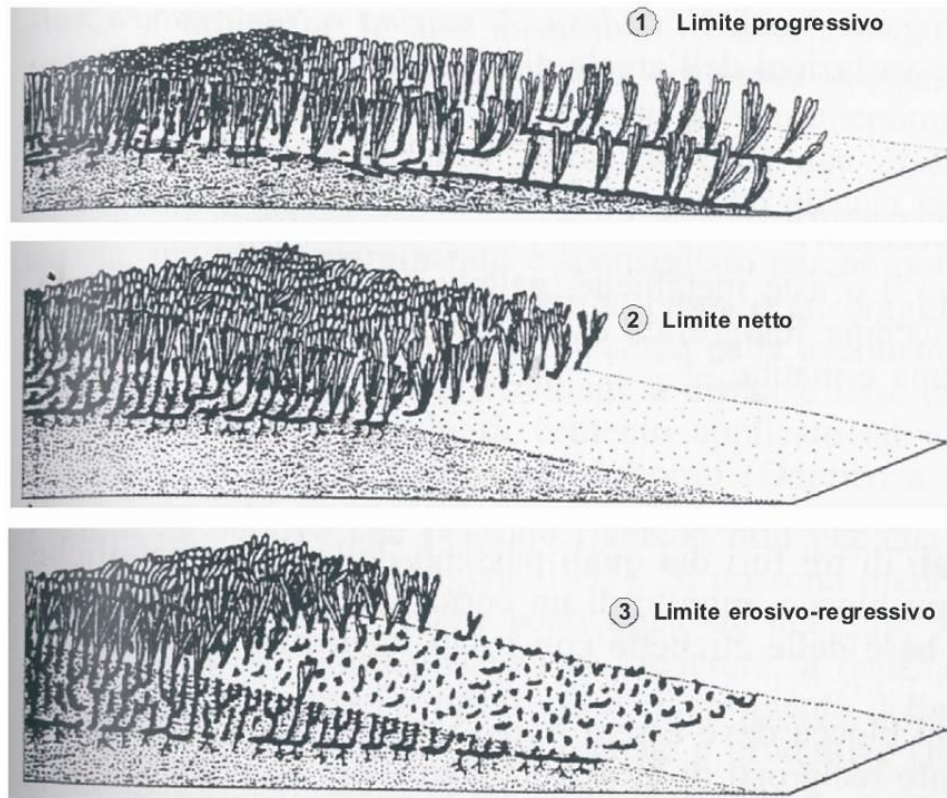


Figura 3.9. Schema semplificato delle tipologie del limite delle praterie mutuato da Pergent *et al.* (1995) per *Posidonia oceanica*.

Riferendosi allo schema semplificato di figura 3.9, quanto osservato in immersione è riconducibile fondamentalmente alla tipologia del limite progressivo (tratti A e C) e alla tipologia di tipo erosivo-regressivo (tratto B). Nei settori A e C dove le pendenze non sono eccessive, il margine della prateria spesso non si interrompe in modo netto, ma con una serie di rizomi che si allungano isolati per 1-2 m verso il margine del canale (Figura 3.10). Quando la prateria è vicina al canale o la pendenza del fondale aumenta ($>30\%$), la progressione dei rizomi viene contrastata o fermata dalla forza della corrente. In accordo con precedenti anni, nel settore A e nel tratto B più a ovest, dove la prateria si avvicina molto al canale o coincide, il margine della vegetazione spesso collima con il cambio di pendenza che, da profondità di 2-3 m e inclinazione di $10-20^\circ$, si approfondisce rapidamente inclinandosi oltre i 30° .

Nel settore B del margine, soprattutto quest'anno, sono state osservate delle chiare situazioni di erosione-regressione, che per questa tipologia di pianta con lunghi rizomi (anche 2 m) e radici (anche 30-40 cm), si manifesta con il loro disseppellimento e parziale emersione nei punti più critici (Figura 3.11). Nei tratti dove la pendenza è elevata (da $40-45^\circ$ a quasi verticale) e l'erosione molto marcata, la frazione sabbiosa scompare e viene a nudo la parte del margine del canale più coesiva (Figura 3.11). Come osservato in questi anni di monitoraggio, nella bocca di Lido, quando le pendenze del fondale sono quasi nulle, il margine della prateria si interrompe a profondità di circa 3,5 m, mentre, quando si approssima al bordo del canale e la pendenza aumenta, la prateria si interrompe rapidamente, indipendentemente dalla quota batimetrica. I fattori principali che regolano la presenza di *Cymodocea nodosa* sul margine del canale sembrano essere la profondità (che incide sulla radiazione luminosa), l'inclinazione del pendio e la velocità della corrente (che incidono sulla capacità di ancorarsi al suolo con i rizomi).

Come nei precedenti anni, nelle zone di margine della prateria e più internamente è stato più volte rilevato il mollusco *Pinna nobilis*, specie iscritta nell'elenco delle specie protette (allegato IV dir.

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

92/43 CEE, 1992; Convenzione Barcellona, protocollo SPA/BIO, 1995; Red List IUCN). La specie è particolarmente diffusa nel bassofondo ad est del Forte di S. Andrea dove, in bassa marea, si possono osservare numerosi esemplari giovani ed adulti.

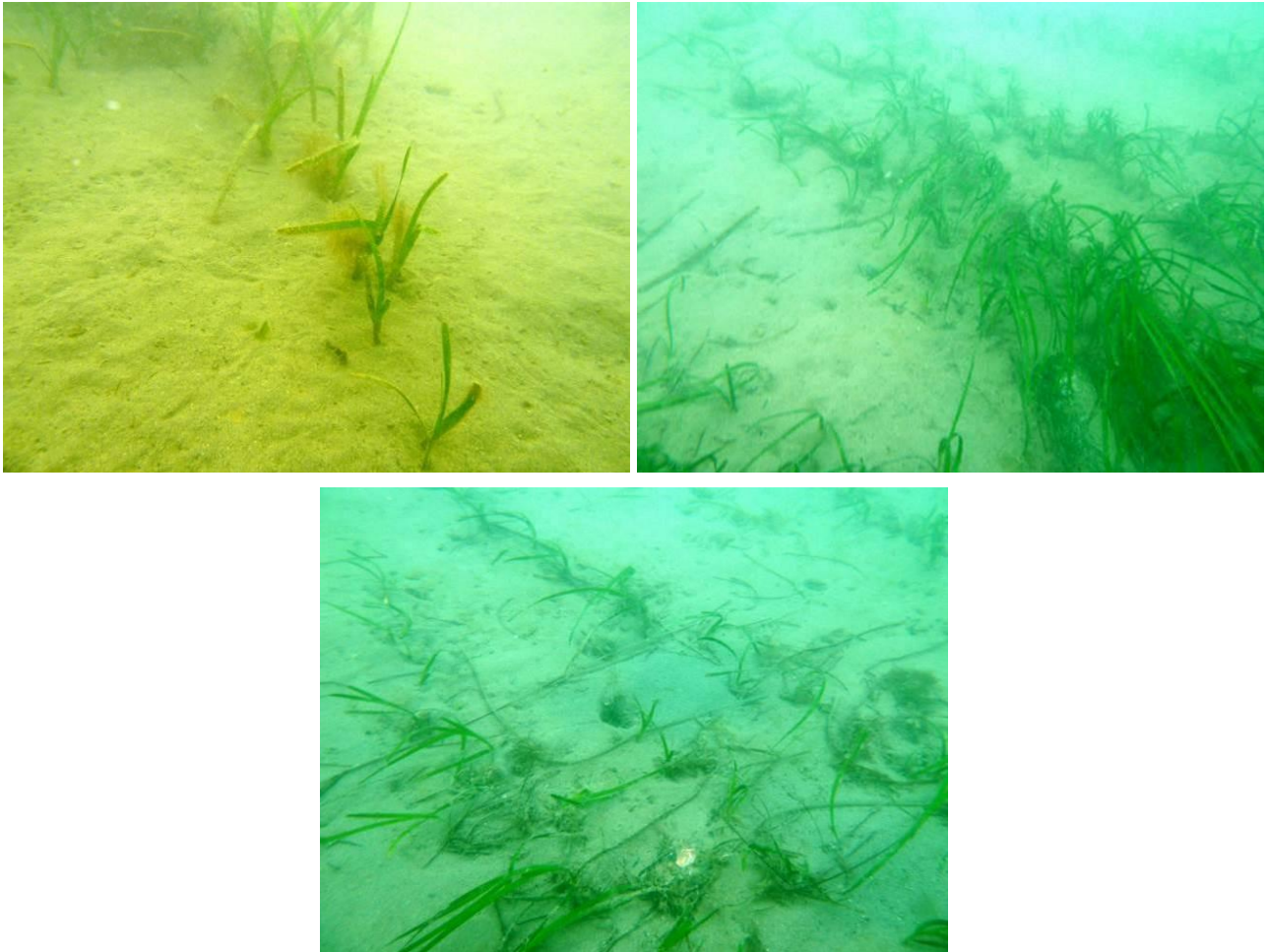


Figura 3.10. Esempio di rizomi che si allungano verso il margine del canale; al centro, l'allungamento dei rizomi è relativo a tratti di margine meno inclinati.



Figura 3.11. Margine della prateria nel settore B: la vicinanza al canale e l'elevata velocità della corrente determina l'allontanamento della frazione sabbiosa e la messa a nudo della frazione del margine del canale più coesiva (limoso-argilloso).

Le verifiche in immersione lungo i due transetti che dal margine della prateria si addentrano all'interno hanno confermato coperture monospecifiche a *Cymodocea nodosa*, di grado elevato (classe 4, 100%) e con densità variabili in relazione alla profondità del fondale. Le maggiori densità si osservano sempre nei siti superficiali (per compensare la minore dimensione della foglia), mentre quelle minori si evidenziano verso il margine della prateria, dove le foglie possono raggiungere maggiori lunghezze. La differenza di densità e lunghezza dei ciuffi lungo il profilo batimetrico è documentato in letteratura (Thom *et al.*, 2011) come un adattamento naturale correlato alla differente radiazione luminosa di cui le piante possono disporre.

3.2 Rilievi di precisione mediante metodiche acustiche

3.2.1 Presentazione dei dati

Inserita quest'anno per la prima volta nel piano di monitoraggio della bocca di porto di Lido, l'attività ha permesso di analizzare con tecniche acustiche tre margini di prateria a fanerogame a *Cymodocea nodosa*, di lunghezza pari a circa 1 km, situati sul bordo di canali. Il tratto di prateria che dal bassofondo scende verso il margine del canale è di particolare interesse e, allo stesso tempo, critico, considerando che in pochi metri si passa da una morfologia e condizioni ambientali del bassofondale relativamente stabili, a condizioni che in pochi metri mutano in batimetria, inclinazione del fondale, intensità della corrente, tipologia del sedimento. I tre margini delle praterie sono stati scelti sui canali S. Nicolò, S. Erasmo e di Treporti (Figura 2.4):

- margine S. Andrea (Canale S. Nicolò e parte iniziale del Canale di S. Erasmo);
- margine Bacan (Canal di Treporti e Canale di S. Nicolò);
- margine S. Nicolò (Canale di S. Nicolò).

I rilievi, eseguiti mediante metodiche acustiche, hanno permesso una restituzione dettagliata delle batimetrie per una estensione di circa 15 m in ambedue i lati del margine (dal bassofondo alla parte più profonda del canale) ed una interpretazione del margine della prateria sulla base delle risposte acustiche.

Di seguito sono riportati e discussi separatamente i risultati dei rilievi eseguiti per ciascuno dei tre settori di margine canale investigato. Per la discussione dei dati, si farà anche riferimento ad alcuni parametri ambientali (Tabella 3.1) estrapolati dal database del Modello Predittivo messo a punto negli Studi B6.72 B/10-B/11 (PROVV.OO.PP. – CORILA, 2015, 2016; Tabella 3.2).

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

Variabili più significative rilevate dalla presente indagine e quelle del Modello Predittivo rilevate in alcune stazioni di controllo lungo i tre margini; le sigle "1+00", "1+50", ecc., fanno riferimento alle stazioni (transesti) e alla distanza di 50 metri esistente tra loro (si vedano le figure 3.12, 3.19 e 3.26).

Siti di indagine		Presente		Dati Modello Predittivo			
Stazione		Batimetria margine (m)	Pendenza (°)	Batimetria margine (m)	Sabbia (%)	Torbidità media (FTU)	Sforzo Tangenziale
MARGINE S. ANDREA	1+50	-3,3	31	-2,3	68,8	9,9	3,5
	4+50	-4,3	17	-7,2	74,2	10,2	1,9
	7+00	-4,6	15	-10,2	77,7	10,4	1,0
	10+00	-2,0	6	-1,4	82,1	10,6	1,4
MARGINE BACAN	1+00	-3,1	14	-1,7	85,2	10,8	0,7
	3+00	-3,8	6	-4,8	84,3	11,0	1,5
	4+00	-3,0	9	-4,7	83,8	11,0	1,2
	4+50	-3,9	16	-4,0	83,9	11,1	1,6
	5+00	-3,6	21	-2,0	84,8	11,1	2,3
	5+50	-3,4	19	-2,9	84,7	11,1	2,3
	6+00	-3,1	0	-2,8	85,5	11,1	1,7
MARGINE S. NICOLÒ	2+00	-3,6	32	-3,5	67,0	10,0	7,5
	5+00	-4,4	24	-2,0	71,8	10,3	1,7
	8+00	-3,9	9	-5,0	73,5	10,5	1,4
	11+00	-3,7	7	-3,1	72,7	10,8	1,4

Tabella 3.2. Tabella riassuntiva delle variabili ambientali e periodo di riferimento del Modello Predittivo (per i riferimenti bibliografici citati si rimanda ai rapporti PROV.VO.PP. – CORILA, 2015, 2016).

Variabile	Descrizione	Periodo	Fonte
Batimetria [m]	Profondità degli elementi della griglia	2003 + modifiche alle bocche	ICEA – B.6.72 – B/7, B/8 e B/9; MAG. ACQUE – CORILA, 2012, 2013; PROV.VO.PP. – CORILA, 2014b
Granulometria del fondale	%sabbia	2002-2003 e 2011	MAG. ACQUE - Thetis, 2005; MAG. ACQUE - Selc, 2005; ARPAV, 2012
Velocità delle corrente [modulo - m/s e direzione - °] e sforzo tangenziale al fondo [intensità - Pa e direzione - °]	Variabili valutate per ciascun elemento considerando diversi fasi di marea e diverse momenti del ciclo mareale.		ICEA – B.6.72 – B/7, B/8 e B/9; MAG. ACQUE – CORILA, 2012, 2013; PROV.VO.PP. – CORILA, 2014b
Torbidità [FTU]	Valore medio annuale	2004 e 2010	MAG. ACQUE Sezione Anti Inquinamento - Monitoraggio continuo rete SAMANET; MAG. ACQUE - CVN Progetto MELa 1; MELa 3; MELa 4

3.2.2 Limite praterie Forte S. Andrea (Canale di S. Nicolò-S. Erasmo)

Il margine della prateria a fanerogame che si sviluppa sul bassofondo ad est del Forte di S. Andrea è stato investigato per circa 900 m sul Canale di S. Nicolò e per circa 150 m lungo il Canale di S. Erasmo. Nel Canale S. Nicolò, le misure si sono interrotte per circa 100 m nel tratto corrispondente ai lavori eseguiti per l'ex isola della teleguidata, al momento privo di fanerogame perché scavato in fase di lavori per permettere l'attracco delle imbarcazioni di carico e scarico dei sedimenti.

Nella figura 3.12 è riportato il profilo del margine della prateria derivato dall'interpretazione acustica con associate le relative quote batimetriche per una fascia di circa 30 m. Perpendicolarmente al tracciato del margine l'analisi dei dati ha permesso la ricostruzione del profilo batimetrico di 20 transetti dei quali, dopo un'analisi complessiva, sono stati estrapolati i 4 più rappresentativi (sezioni in rosso).

L'esame delle **pendenze** nella zona di margine della prateria nei tratti considerati evidenzia che, da ovest verso est, l'angolo del bordo canale si attenua, variando da circa 31° (transetto 1+50) a circa 6° (transetto 10+00). Quanto evidenziato nei punti dei transetti è in accordo con l'esame delle pendenze lungo tutto il margine dei due canali esaminati (Figura 3.13) dal quale però si nota come, lungo il canale di S. Nicolò, le pendenze appaiano comunque significativamente più elevate rispetto al tratto iniziale del canale di S. Erasmo.

Questo esposto sulle pendenze è in accordo con i parametri estrapolati dal Modello Predittivo che, in prossimità del Forte di S. Andrea, segnala come la velocità della corrente (qui espressa come Sforzo Tangenziale in modulo Pascal) sul margine della prateria (sezione 1+50, profondità 2,6 m) risulti da 1,9 a 3,5 volte superiore rispetto a quello delle altre sezioni considerate (Tabella 3.1).

La **profondità** raggiunta dal margine nelle quattro sezioni tipo della prateria è variata da quote minime di 2,6 m a massime di 4,6 m (Tabella 3.1). Come si rileva dalla figura 3.14 che riporta le profondità raggiunte del margine della prateria, da ovest verso est si ha un progressivo innalzamento della quota del margine a cui si associa anche una progressiva perdita di pendenza del bordo canale (Tabella 3.1). Nel tratto riferibile al canale S. Nicolò, la profondità media del margine è di -3,4 m e il 95 percentile di -2,0 m mentre, nel tratto iniziale del canale S. Erasmo, le profondità del margine sono minori, pari a -2,4 m per la media e -1,6 m per il 95 percentile. Il grafico evidenzia profondità massime prossime ai 5 m ma un'analisi in campo fa ritenere che si tratti di una errata interpretazione del margine della prateria causato dalla combinazioni di più fattori:

- difficoltà di interpretare il margine della prateria in presenza di limiti non netti (es. rizomi isolati che si protraggono);
- una non corretta interpretazione del margine della prateria nei punti maggiormente inclinati (il segnale acustico tra sedimento e prateria si confonde);
- nei tratti più pendenti del canale un limitato errore in senso orizzontale (asse x) può determinare un forte errore verticale (stima della profondità).

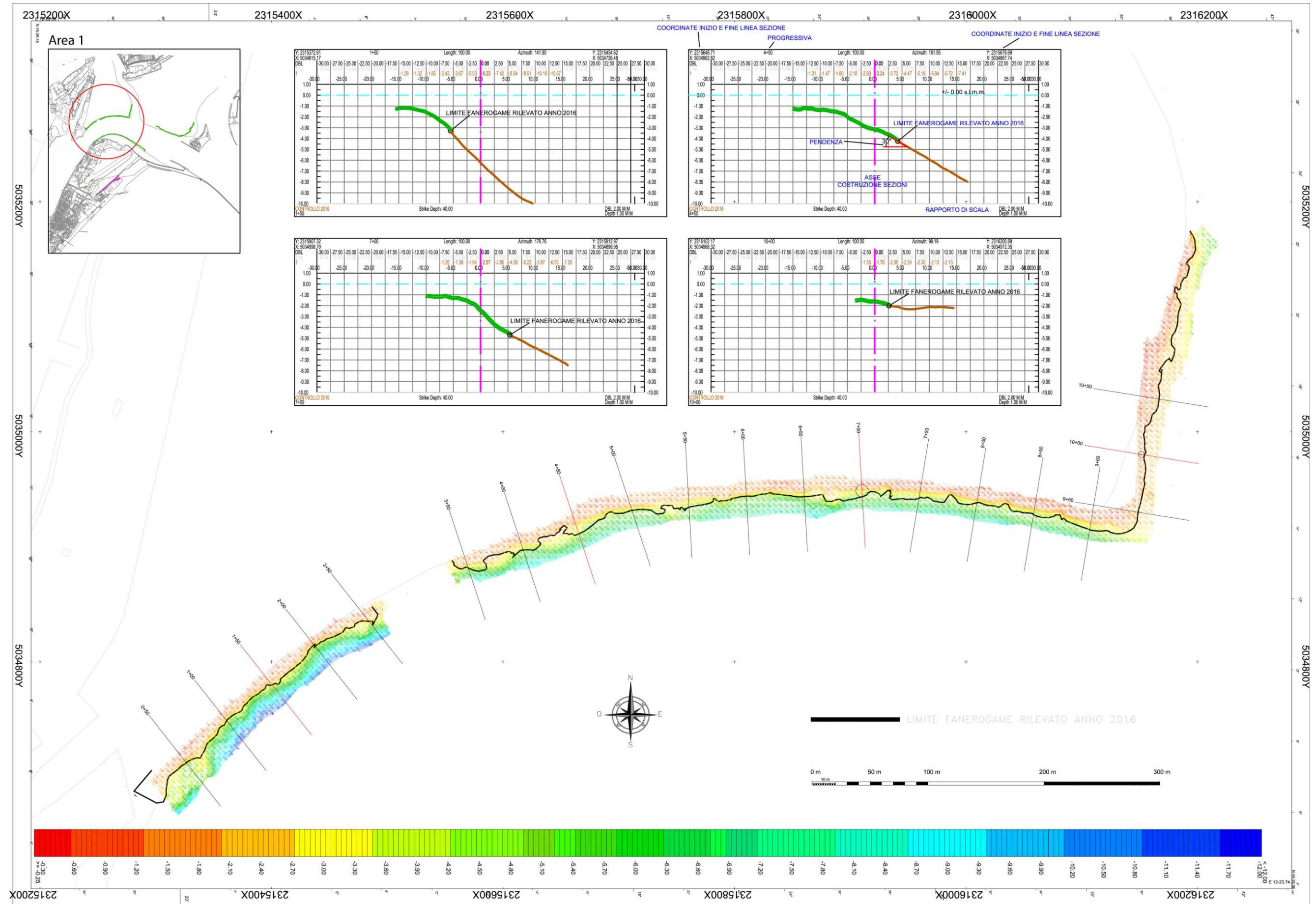


Figura 3.12. Rappresentazione del margine della prateria S. Andrea posta sul bordo dei canali S. Nicolo e S. Erasmo. Oltre al limite sono riportate anche le quote batimetriche per una fascia di circa 30 m. In rosso le 4 sezioni più rappresentative.

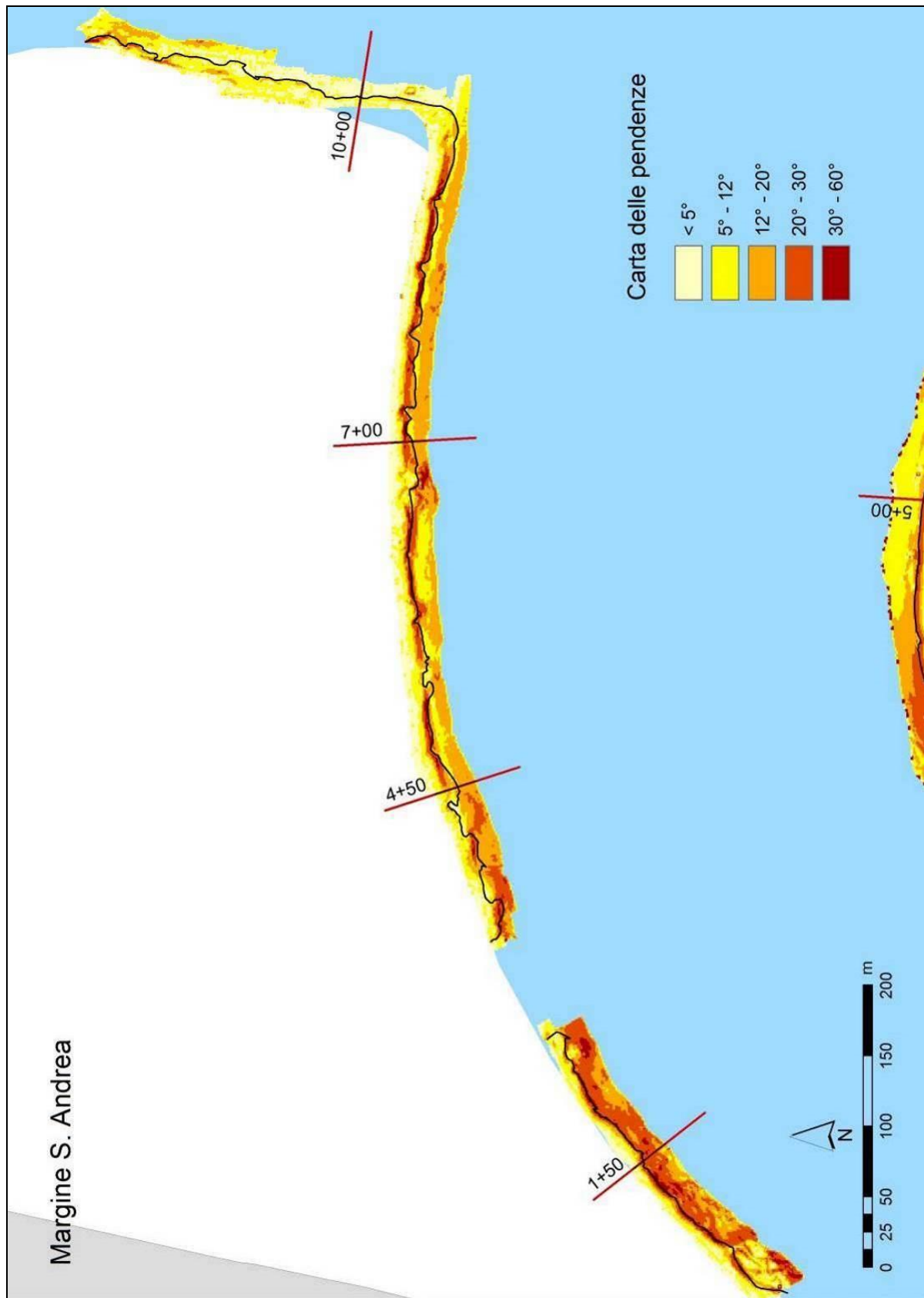


Figura 3.13. Rappresentazione delle pendenze del margine della prateria S. Andrea posta sul bordo del canale di S. Nicolo. Oltre al limite sono riportate anche le quote batimetriche per una fascia di circa 30 m ed il profilo dei 4 transetti più significativi.

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

Margine S. Andrea

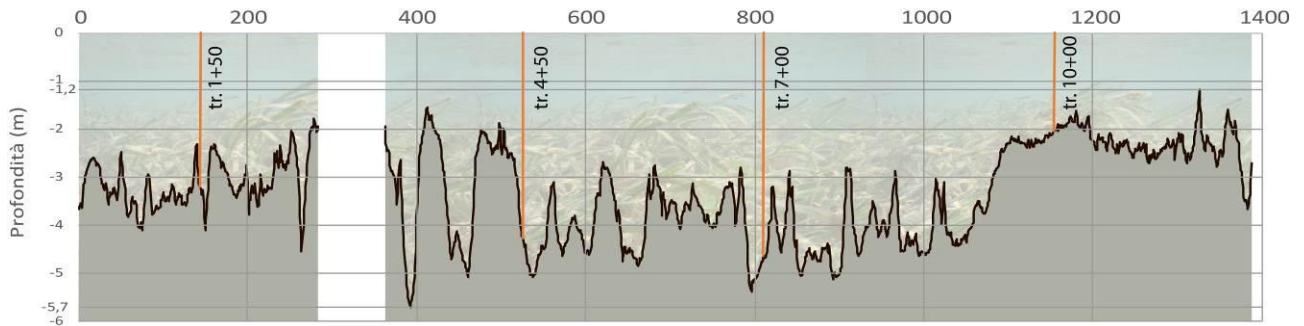


Figura 3.14. Profilo della batimetria del margine della prateria lungo il Canale S. Nicolo-S. Erasmo.

Riguardo agli altri parametri estratti dal Modello Predittivo nei punti di interruzione della prateria nei quattro transetti, non si colgono significative differenze. I valori della torbidità media e quelli della percentuale di sabbia appaiono confrontabili, mentre differenze di alcuni metri si notano in relazione alle quote batimetriche (es. transetti 4+50 e transetto 7+00). Questo scostamento va valutato considerando come lo stesso Studio B6.72 B/11 (che ha implementato il Modello Predittivo) abbia segnalato un'incertezza dei dati batimetrici sul margine canale e una buona rappresentazione della morfologia nei bassifondi. Si ricorda che per il Modello Predittivo, la griglia dei dati per questo parametro sia stata aggiornata solamente in corrispondenza delle aree di cantiere sulla base delle profondità previste dal piano dell'Opera e che quelle relative alle restanti parti della bocca di Lido, canali e bassifondi, si riferiscano al 2003.

In relazione ai 4 transetti, nelle figure 3.15-3.18 sono riportati i profili come ricostruzioni acustiche 3D e rendering oltre ad immagini scattate in immersione in corrispondenza del margine della prateria.

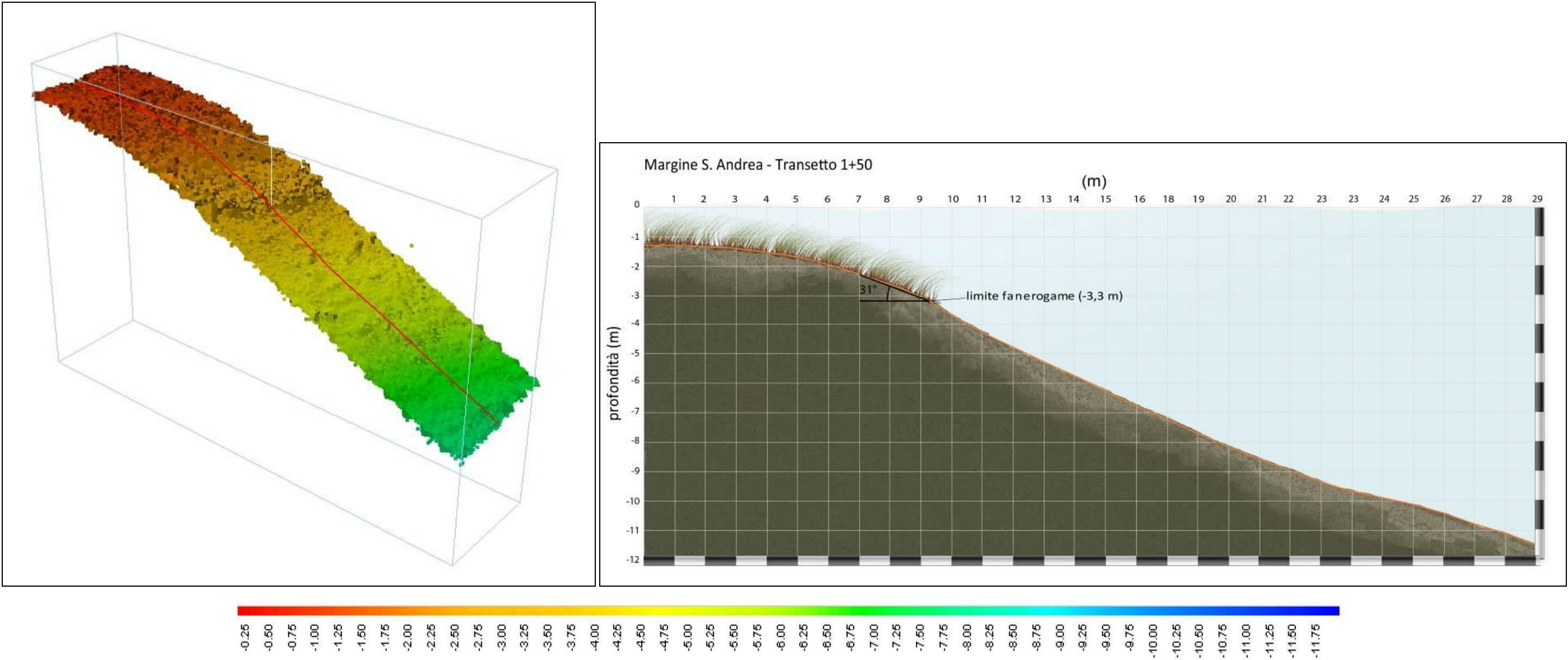


Figura 3.15. Margine S. Andrea - transetto 1+50.

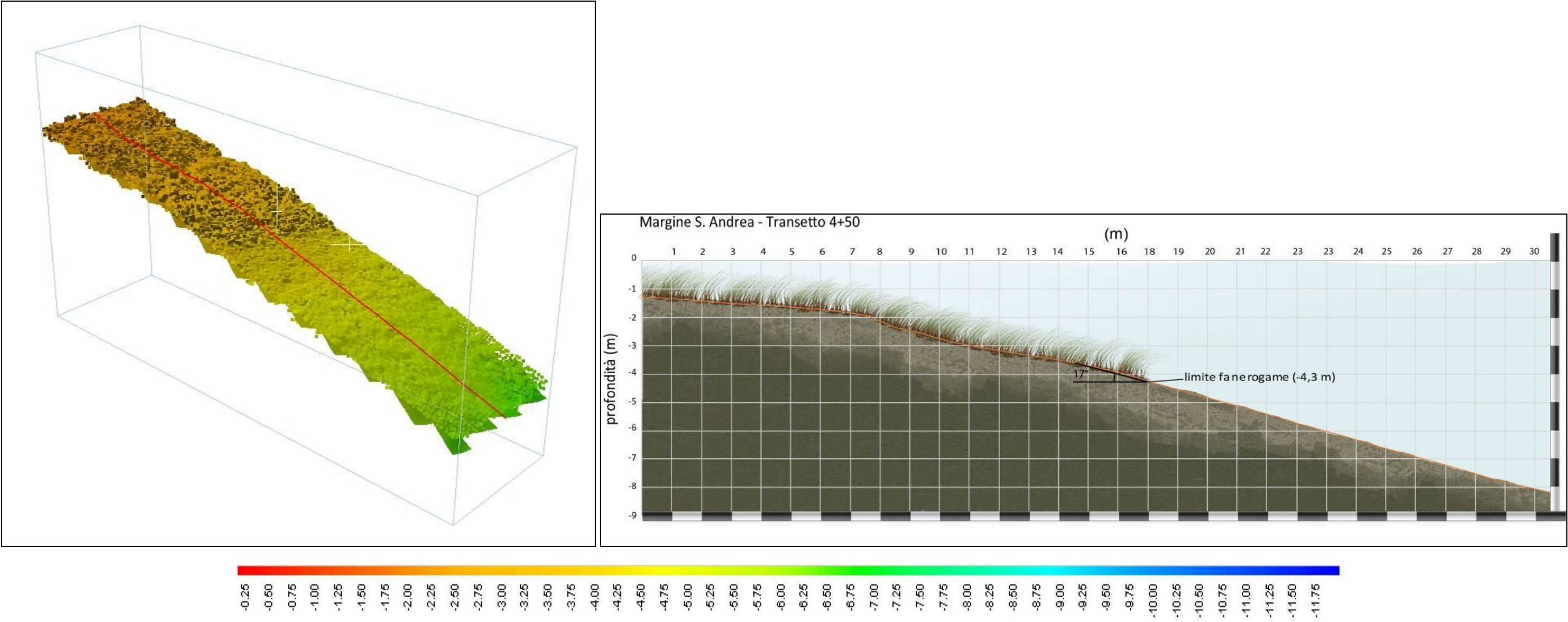


Figura 3.16. Margine S. Andrea - transetto 4+50.

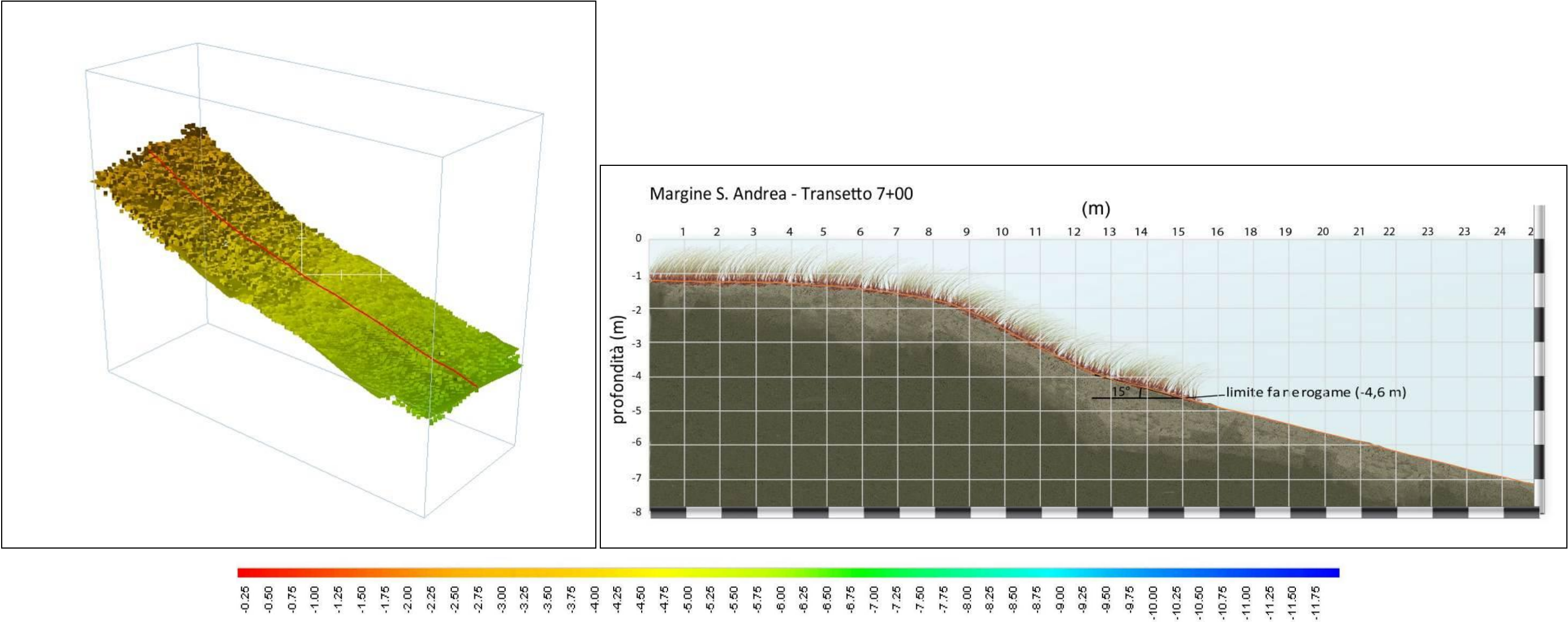


Figura 3.17. Margine S. Andrea - transetto 7+00.

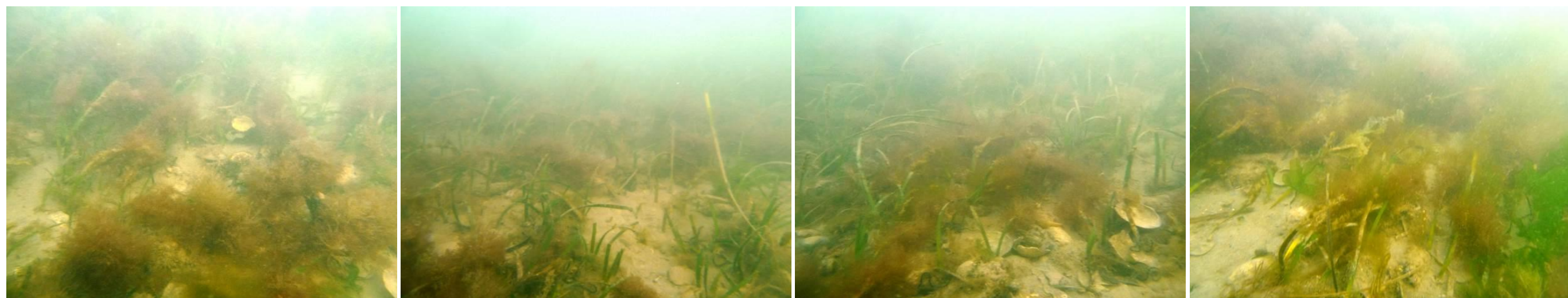
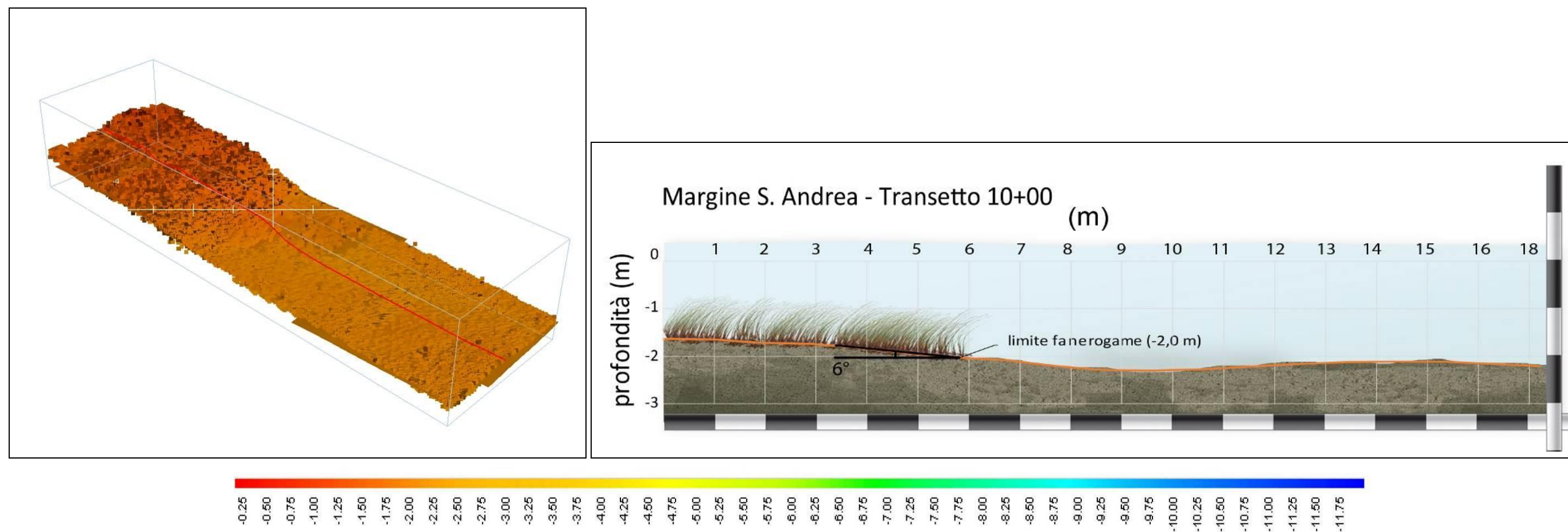


Figura 3.18. Margine S. Andrea - transetto 10+00.

3.2.3 Limite praterie San Nicolò (Canale di S. Nicolò)

Il margine della prateria a fanerogame che si sviluppa sul canale di S. Nicolò antistante l'aeroporto Nicelli è stato investigato per una lunghezza di circa 1100 m, dall'altezza della piarda nel settore ad est, sino all'entrata nella laguna vera e propria (zona militare-forte S. Andrea).

Nella figura 3.19 è riportato il profilo del margine della prateria derivato dall'interpretazione acustica con associate le relative quote batimetriche per una fascia di circa 15 metri su ambedue i lati del margine investigato. Perpendicolarmente al tracciato del margine, l'analisi dei dati ha permesso la ricostruzione del profilo batimetrico di 23 transetti dei quali, dopo un'analisi complessiva, sono stati estrapolati i 4 più rappresentativi (sezioni in rosso).

L'esame delle **pendenze** lungo le quattro sezioni considerate evidenzia che, da ovest verso est, l'angolo del bordo canale si attenua progressivamente, variando da circa 32° (transetto 2+00) a circa 6° (transetto 11+00). La figura 3.20, che riporta l'andamento delle pendenze per una fascia di circa 30 m tra il bassofondo e il canale, conferma questo andamento indicando bordi molto pendenti verso l'interno della laguna, dove la prateria termina sul canale, e pendenze contenute verso la bocca di porto, dove la prateria non giunge sino al margine del canale ma si interrompe sul bassofondo su profondità di 3,5 m. L'andamento delle pendenze osservato nei 4 transetti corrisponde a quello generale. Come osservato per il margine di S. Nicolò, sono confermate anche le maggiori velocità della corrente estrapolate dal Modello Predittivo in prossimità del Forte di S. Andrea, dove il canale si restringe. Infatti, in corrispondenza del transetto 2+00 (profondità -3,6 m), lo Sforzo Tangenziale è 4-5 volte superiore a quello delle altre tre sezioni dello stesso margine (Tabella 3.1).

La **profondità** raggiunta dal margine della prateria nelle quattro sezioni tipo è relativamente costante, variando da 4,4 m nel transetto 5+00 a 3,4 m nel transetto 11+00 (Tabella 3.1). Come si rileva dalla figura 3.21 che riporta le profondità raggiunte dalla prateria lungo tutto il margine, da ovest verso est si ha un progressivo innalzamento della quota a cui si associa anche una progressiva perdita di pendenza del bordo canale (Tabella 3.1). La profondità del margine della prateria varia da una media di -3,9 m ad un 95 percentile di -3,1 m, con punte massime di -4,8 m che, a fronte di controlli diretti in campo, appaiono più ragionevolmente da ricondurre attorno ai 4,0 m per quanto riguarda la parte più significativa del margine (si vedano i commenti riportati per il margine di S. Andrea).

Riferendosi ai dati estratti dal Modello Predittivo, nelle 4 sezioni esaminate non si colgono significative differenze: i valori della torbidità media e quelli della percentuale di sabbia appaiono confrontabili, e le differenze per le quote batimetriche, rispetto a quelle del presente studio, appaiono più contenute e giustificate da quanto già precedentemente espresso.

In relazione ai 4 transetti tipo, nelle figure 3.22-3.25 sono riportati per ognuno i profili batimetrici come immagini 3D realizzate sulla base dell'elaborazione dei dati acustici e come ricostruzione rendering. A queste si aggiungono alcune immagini scattate in immersione in corrispondenza del margine della prateria.

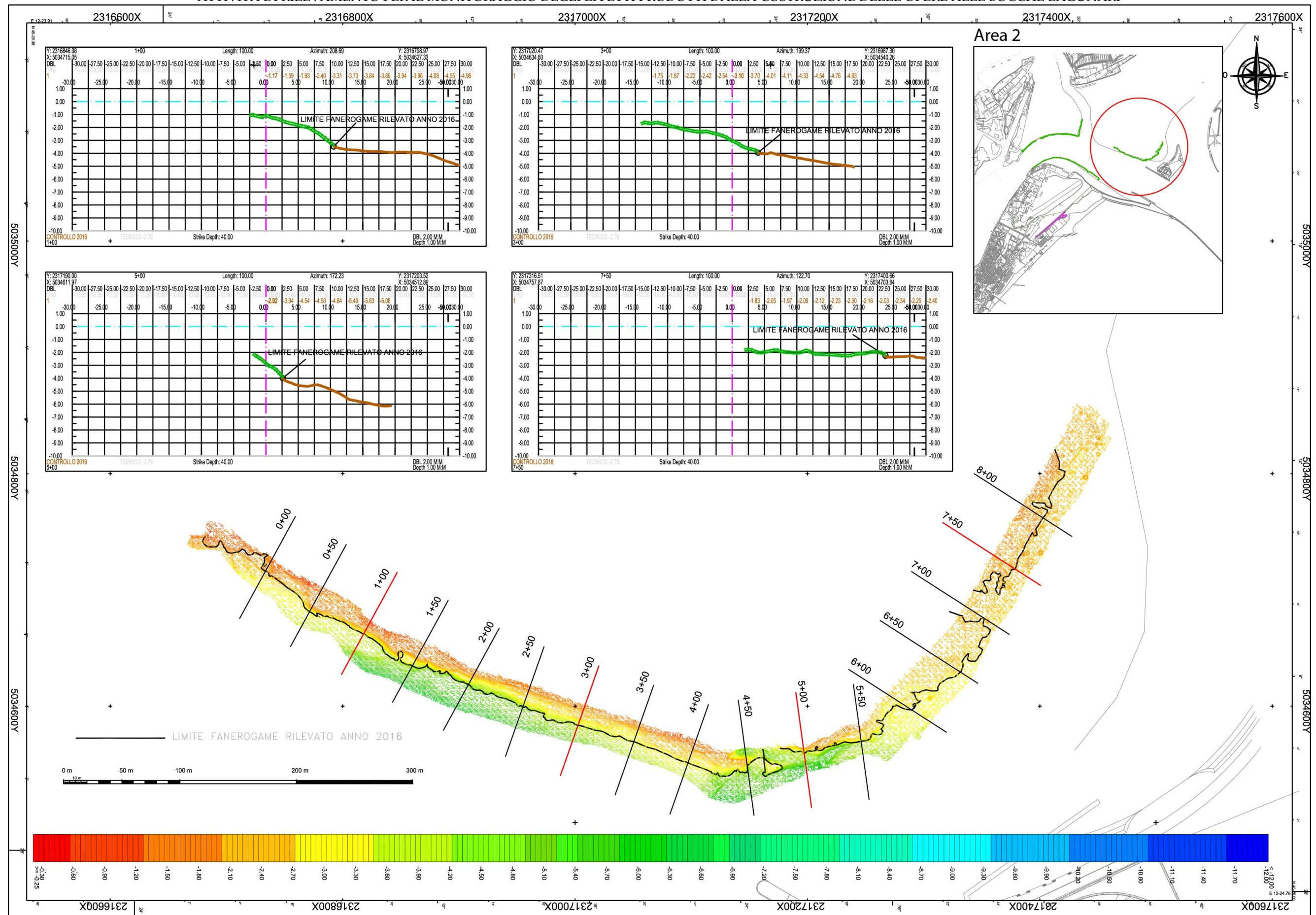


Figura 3.19. Rappresentazione del margine della prateria S. Nicolò posta sul bordo del canale di S. Nicolò. Oltre al limite sono riportate anche le quote batimetriche per una fascia di circa 30 m.

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



Figura 3.20. Rappresentazione delle pendenze del margine della prateria S. Nicolò posta sul bordo del canale di S. Nicolo. Oltre al limite sono riportate anche le quote batimetriche per una fascia di circa 30 m ed il profilo dei 4 transetti più significativi.

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

Margine S. Nicolò

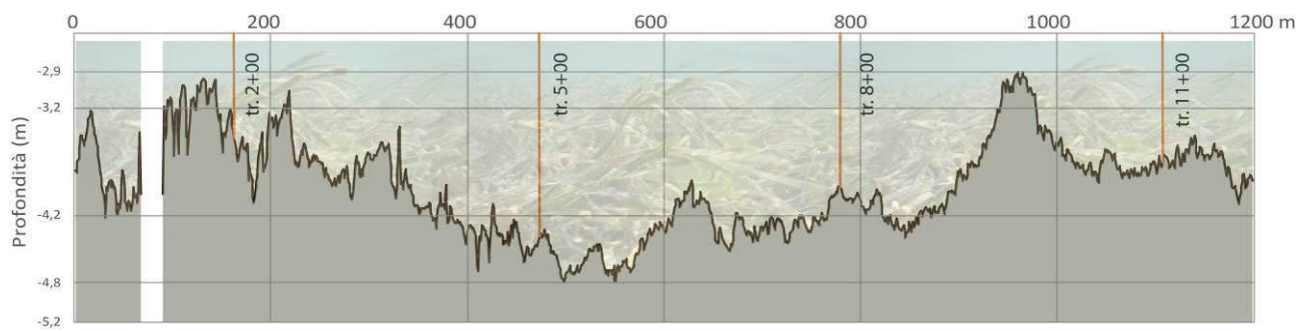


Figura 3.21. Profilo della batimetria del margine S. Nicolò

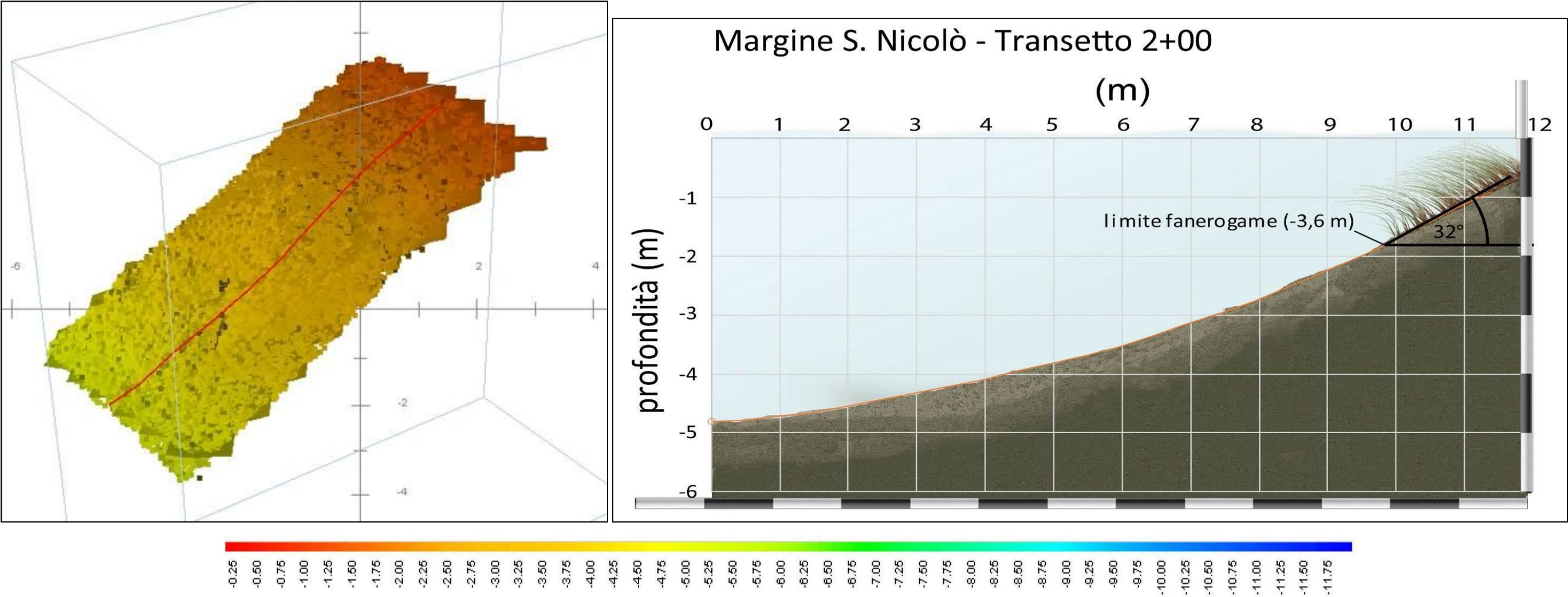


Figura 3.22. Margine S. Nicolò - transetto 2+00.

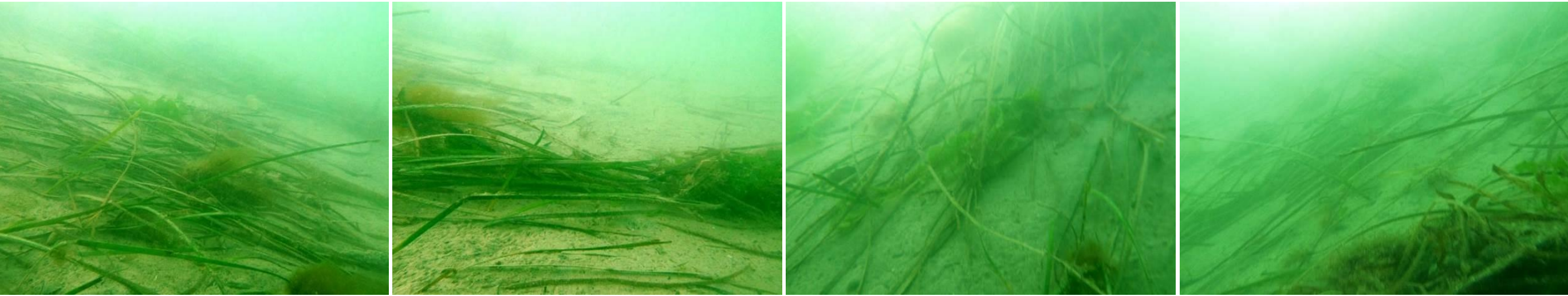
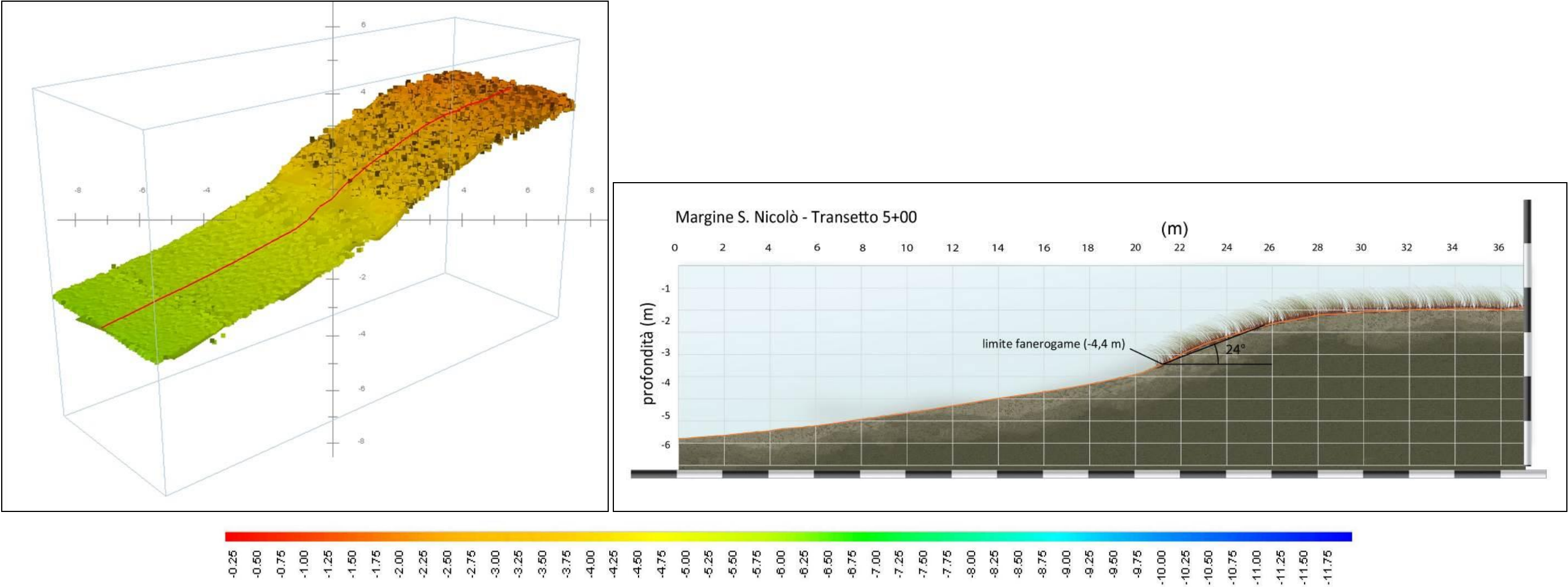


Figura 3.23. Margine S. Nicolò - transetto 5+00.

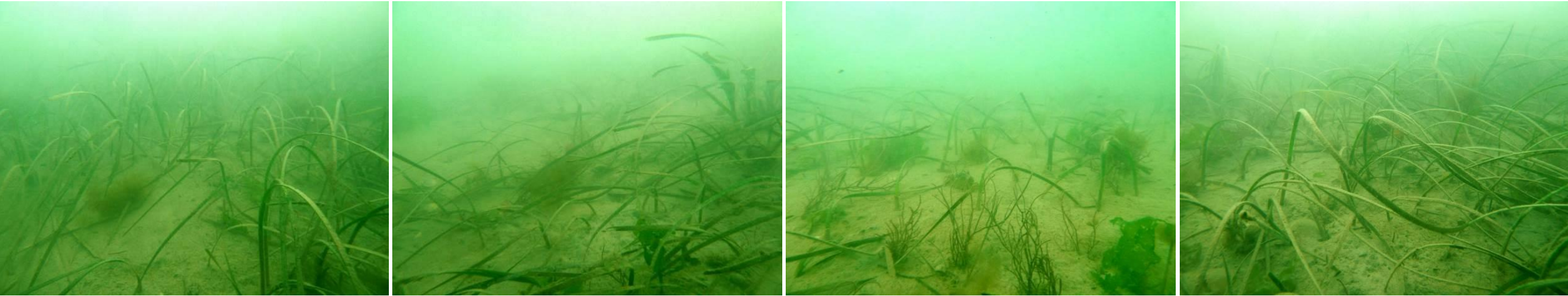
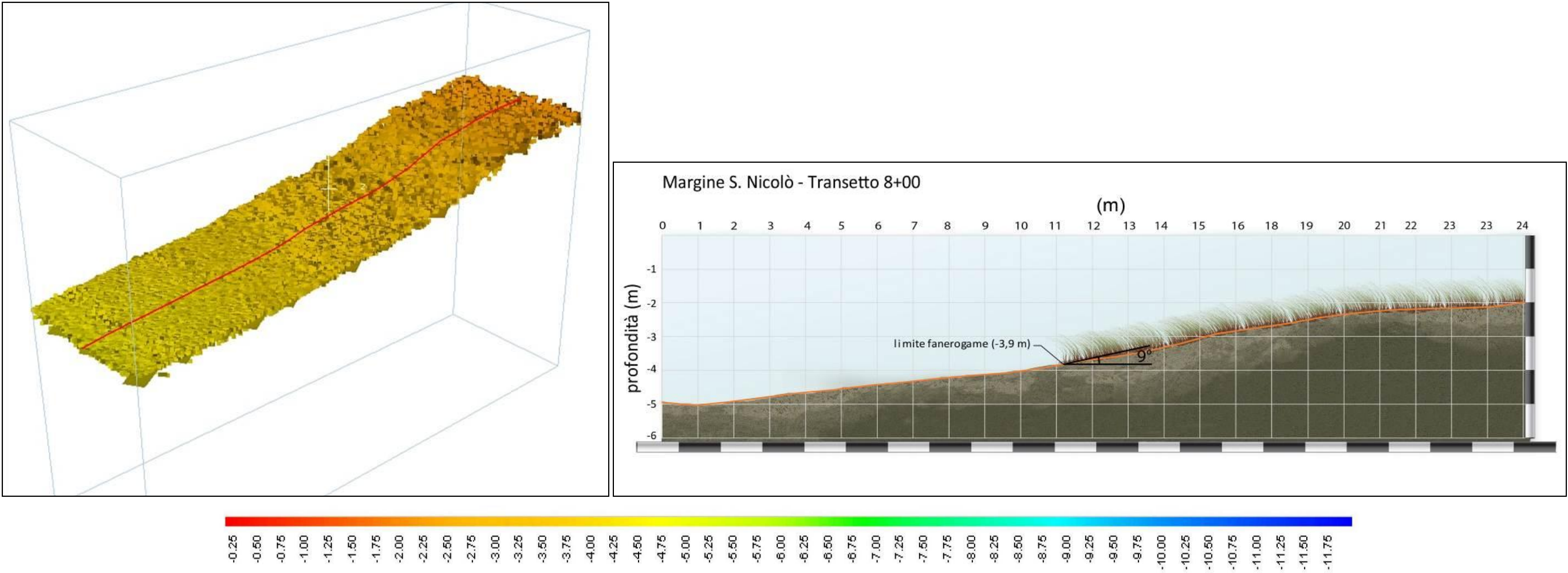


Figura 3.24. Margine S. Nicolò - transetto 8+00.

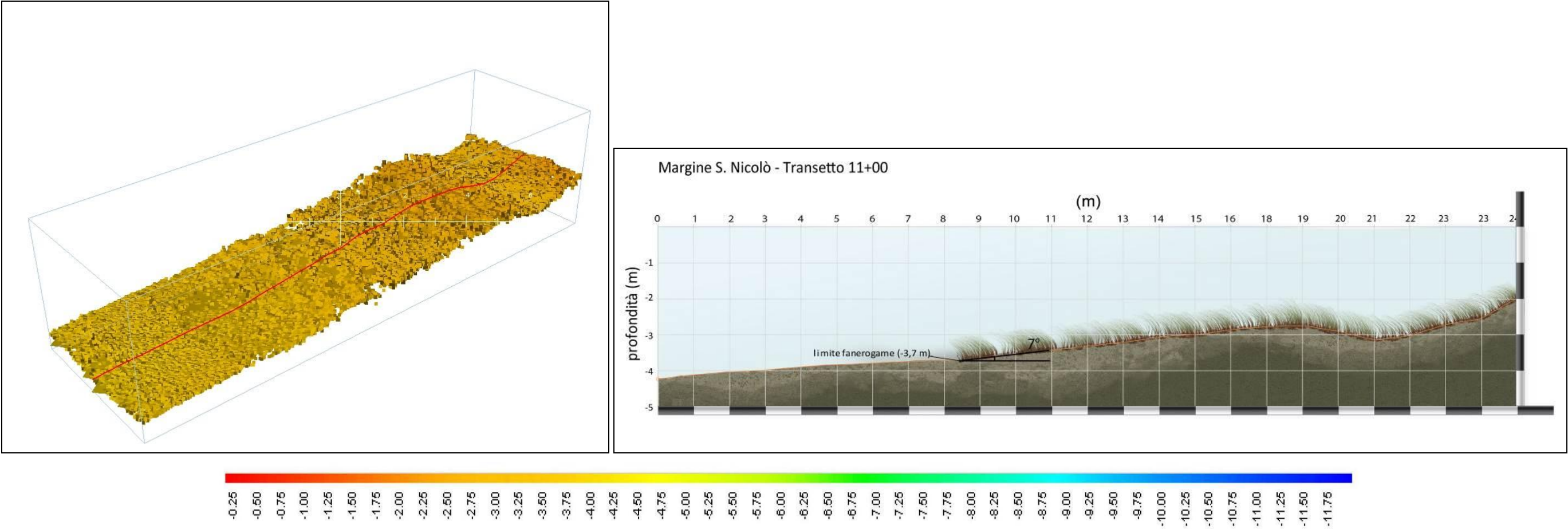


Figura 3.25. Margine S. Nicolò - transetto 11+00.

3.2.4 Limite praterie Bacan (Canale di S. Nicolò-Canale di Treporti)

Il margine della prateria a fanerogame che si sviluppa lungo i Canali di S. Nicolò e di Treporti e, in parte, nel retrostante bassofondo, è stato investigato per un lunghezza di circa 1000 m. Rispetto ai margini delle praterie di S. Andrea e S. Nicolò ha la caratteristica di avere solo il tratto centrale posto direttamente sul margine del canale (tratto antistante la nuova isola), in quanto i settori ad est e ad ovest sfumano verso il bassofondo su quote di circa 2 m e su pendenze limitate. La criticità di questo margine, oggetto da alcuni anni di specifici controlli, deriva dalla realizzazione della nuova isola in posizione centrale nella bocca di porto che ha modificato, in alcuni tratti, l'idrodinamica in intensità e direzione della corrente; a questo si è poi aggiunta la riprofilatura del retrostante canale, per permetterne la navigazione a ridosso della nuova isola.

Nella figura 3.26 è riportato il margine della prateria derivato dall'interpretazione acustica con associate le relative quote batimetriche per una fascia di circa 15 metri su entrambi i lati. Perpendicolarmente al tracciato del margine della prateria, l'analisi dei dati ha permesso la ricostruzione del profilo batimetrico di 17 transetti dei quali, dopo un'analisi complessiva, ne sono stati estrapolati 8 perché ritenuti più rappresentativi (sezioni in rosso).

L'esame delle **pendenze** (Figura 3.27) nei transetti evidenzia che l'interruzione della prateria si verifica su angoli del fondale di 6°-14° (sezioni 1+00 e 3+00) nel tratto ad ovest, e di 0°-7° (sezioni 6+00 e 7+50) nel tratto ad est; nel settore centrale, in corrispondenza del tratto in curva a ridosso della nuova isola, l'interruzione della prateria si verifica su angoli maggiori, 9°-21° (sezioni 4+00 e 5+00). Le maggiori pendenze del margine canale di questo tratto sono in accordo con i valori della velocità della corrente stimati dal Modello Predittivo, che risultano 1-2 volte superiori a quelle dei tratti ad est e ad ovest, dove la prateria sfuma sul bassofondo (Tabella 3.1).

La rappresentazione grafica delle pendenze (Figura 3.27) evidenzia una generale uniformità nei tratti ad est e ad ovest e una accentuata disomogeneità nel tratto centrale (da sezione 4+00 a sezione 5+50), dove peraltro la conformazione del margine risulta complessa. L'analisi delle immagini 3D e dei rendering che ricostruiscono graficamente il profilo del transetto, evidenziano come in questo settore centrale del tracciato il fondale si caratterizzi per un'alternanza di tratti pendenti e di tratti ondulati (da Figura 3.32-3.34). Un disomogeneo trend delle pendenze si rileva anche tra le sezioni 1+00 e 3+00 (Figure 3.29-3.30), corrispondente ad un settore del margine che tende a non risentire della protezione fisica dell'isola e dove già nei precedenti anni erano stati evidenziati segnali di erosione e arretramento del margine.

La **profondità** raggiunta dal margine della prateria nelle 8 sezioni tipo risulta più accentuata nel tratto centrale in curva, a ridosso della nuova isola (-3,4/-3,9 m), e minore ai due estremi del tracciato esaminato (-2,0/-3,1 m) (Tabella 3.1). Come si rileva dal grafico che riporta l'andamento delle profondità per l'intero tracciato (Figura 3.28), il valore medio del margine della prateria è di 3,0 m mentre il 95 percentile è di 1,8 m. Le profondità massime, dell'ordine di 4,8-4,9 m si hanno nei tratti dove maggiori sono le pendenze, tra le sezioni 1+00-3+00 e la sezioni 4+50; l'andamento del grafico seghettato indica un trend disomogeneo del margine, con valori di profondità che ragionevolmente sono da ricondurre ad una sovrastima dell'interpretazione acustica o a delle propaggini di rizomi che si allungano per 1-2 m in profondità.

Rispetto ai margini di S. Andrea e di S. Nicolò, la complessità e la disomogeneità del profilo di questa prateria di bordo canale ha reso necessario la scelta di più transetti trasversali al margine (8) del canale, per una buona descrizione della morfologia del fondale e delle dinamiche colonizzative.

Il tratto di margine riconducibile alla curva del canale prossimo alla nuova isola si caratterizza per una marcata disomogeneità, sia della morfologia del fondale, sia del margine della prateria. Le osservazioni dei precedenti anni, anche in immersione, avevano evidenziato marcati segnali di erosione, con alternanza di tratti sub-orizzontali a tratti marcatamente pendenti e con sedimenti

argillosi-coesi esposti all'acqua e privi di copertura sabbiosa. In questo settore, la prateria risulta anche frammentata in piccole praterie isolate su tratti sub-pianeggianti, a volte con patch a fanerogame. In questo settore, anche i rilievi in immersione appaiono più complessi per la disomogeneità del margine della prateria e la presenza di patch isolate a fanerogame. Le sezioni da 4+50 a 5+50 sono un esempio di questa complessa morfologia del bordo canale e della prateria (da Figura 3.32-3.34).

Riferendosi ai dati estratti dal Modello Predittivo, non si colgono significative differenze lungo il margine della prateria per la torbidità media e per la percentuale di sabbia. Come per i margini S. Andrea e S. Nicolò, differenze anche se contenute permangono sempre per le quote batimetriche per i motivi già esplicitati.

In relazione agli 8 transetti selezionati, nelle figure 3.29-3.36 sono riportati per ognuno di essi i profili batimetrici come ricostruzione 3D realizzate sulla base dell'elaborazione dei dati acustici e come ricostruzione rendering. A queste si aggiungono alcune immagini scattate in immersione in corrispondenza del margine della prateria.

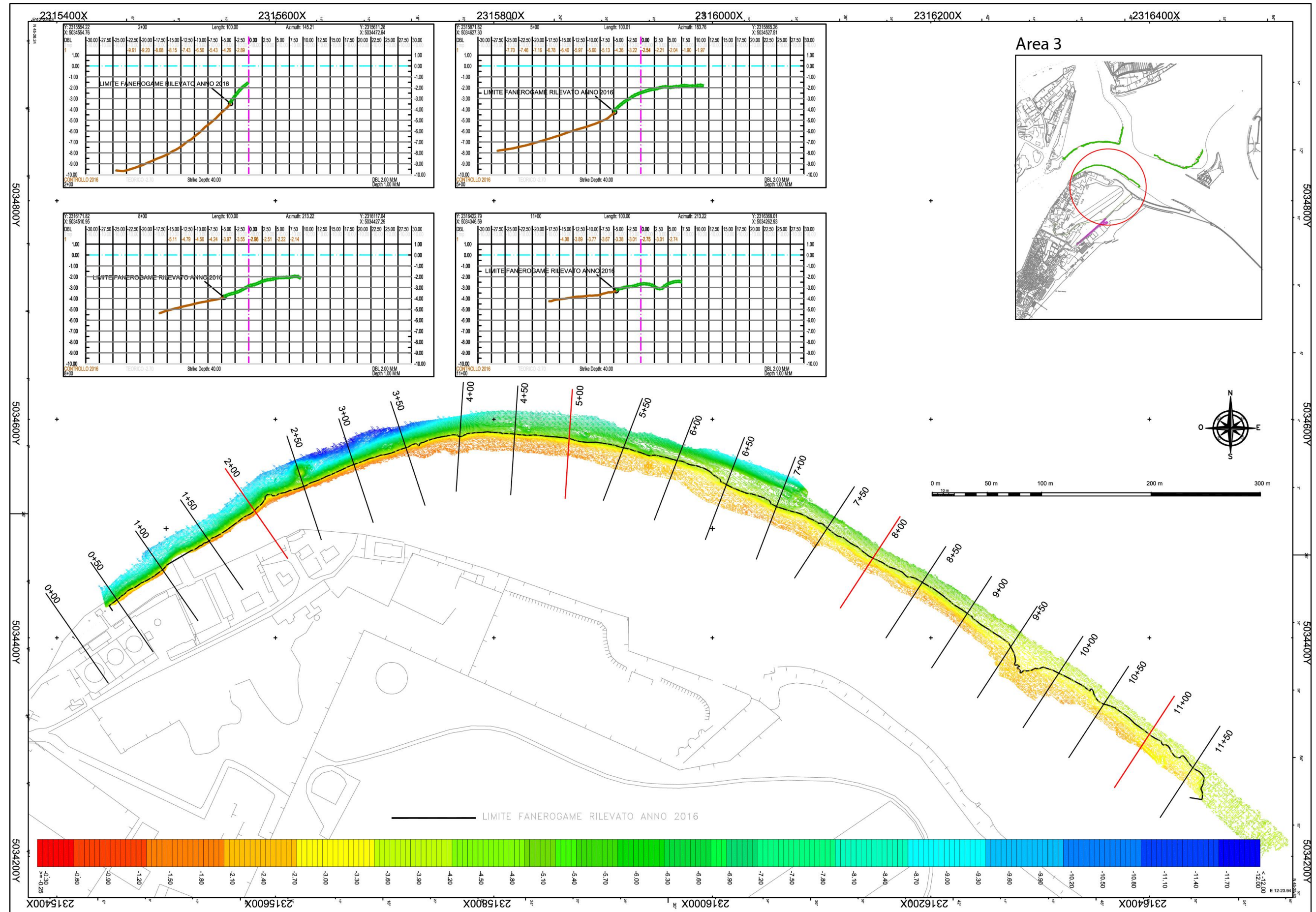


Figura 3.26. Rappresentazione del margine della prateria S. Nicolò posta sul bordo del canale di S. Nicolò. Oltre al limite sono riportate anche le quote batimetriche per una fascia di circa 30 m.

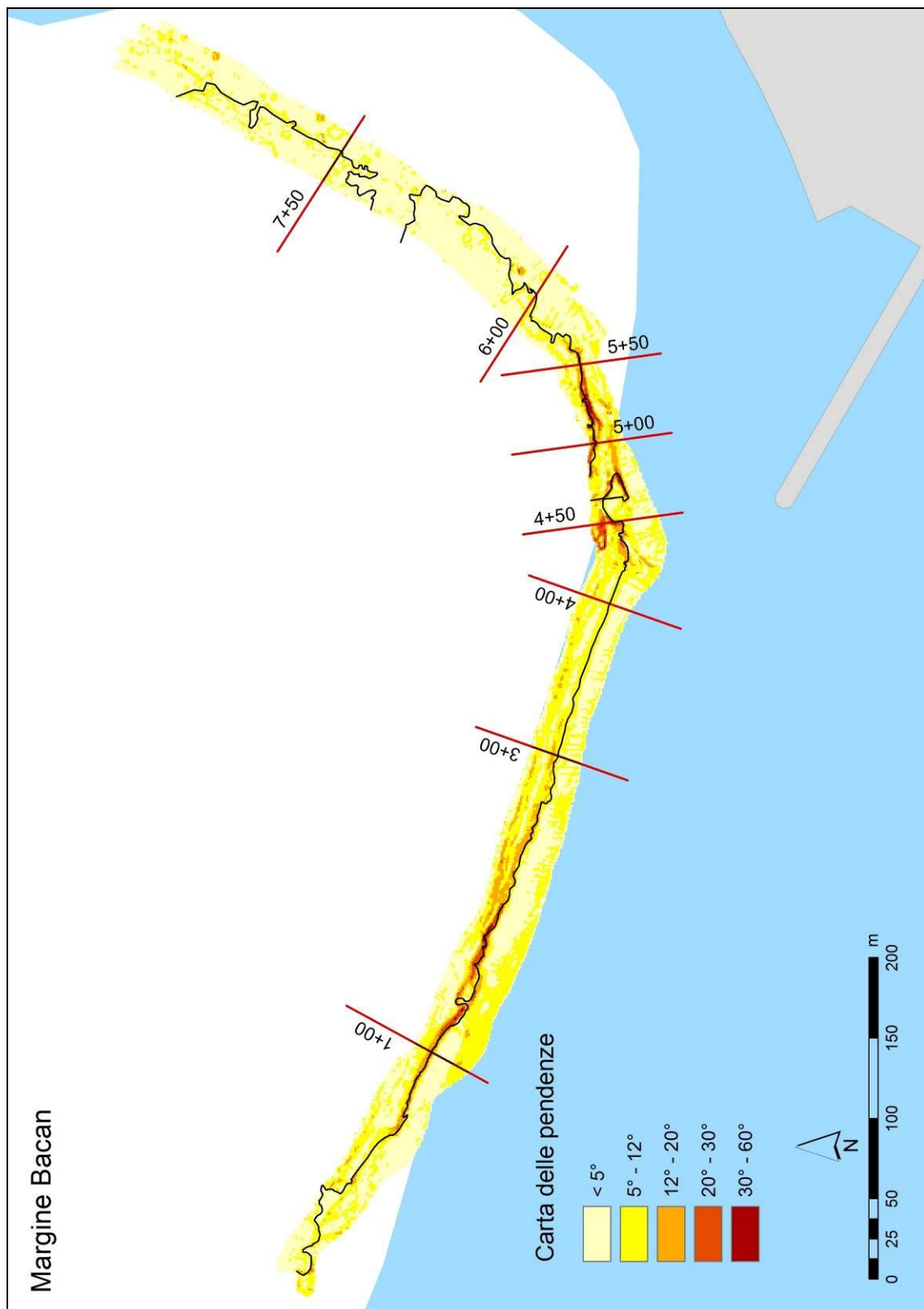


Figura 3.27. Rappresentazione delle pendenze del margine della prateria S. Nicolò posta sul bordo del canale di S. Nicolò. Oltre al limite sono riportate anche le quote batimetriche per una fascia di circa 30 m ed il profilo degli 8 transetti più significativi.

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

Margine Bacan

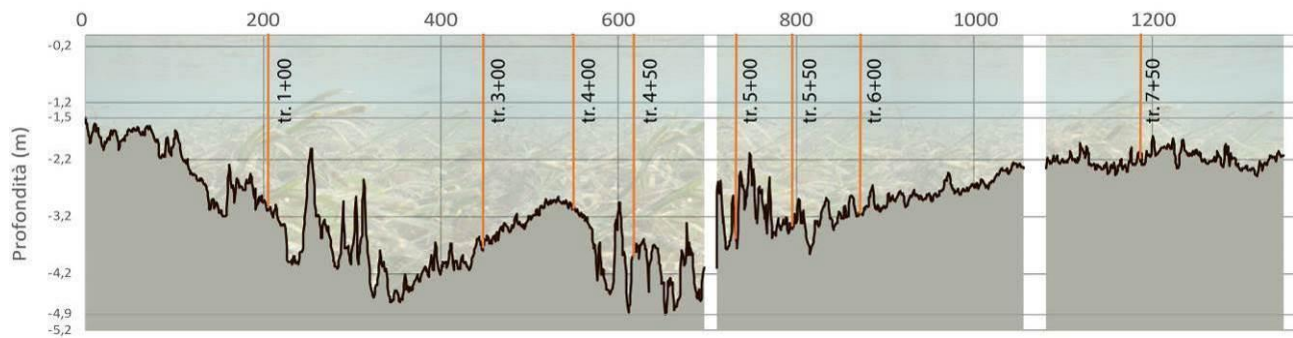


Figura 3.28. Profilo della batimetria del margine Bacan

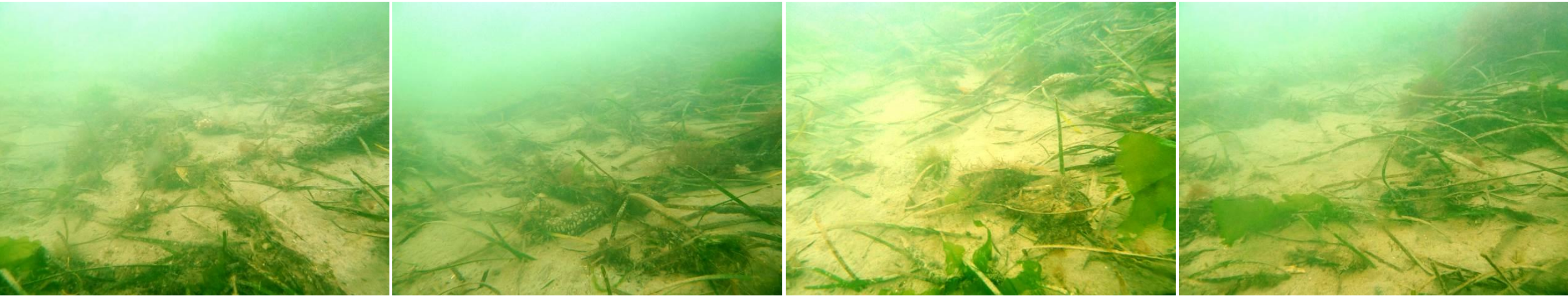
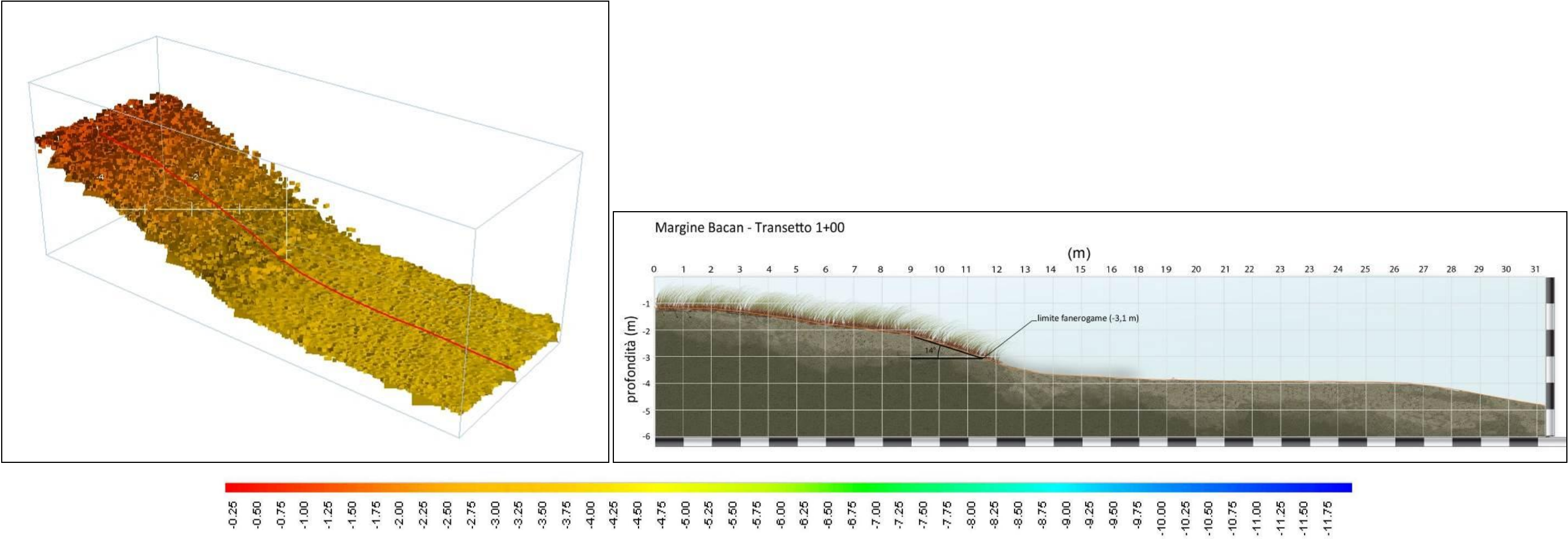


Figura 3.29. Margine Bacan - transetto 1+00.

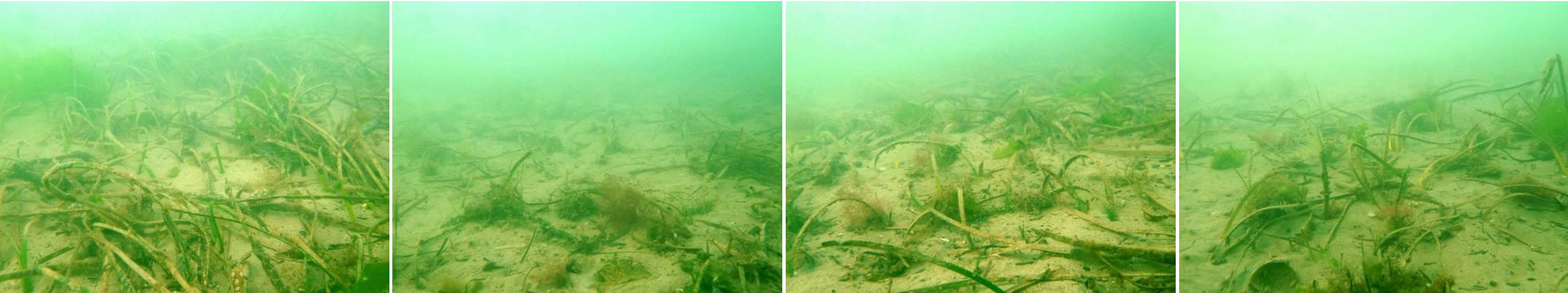
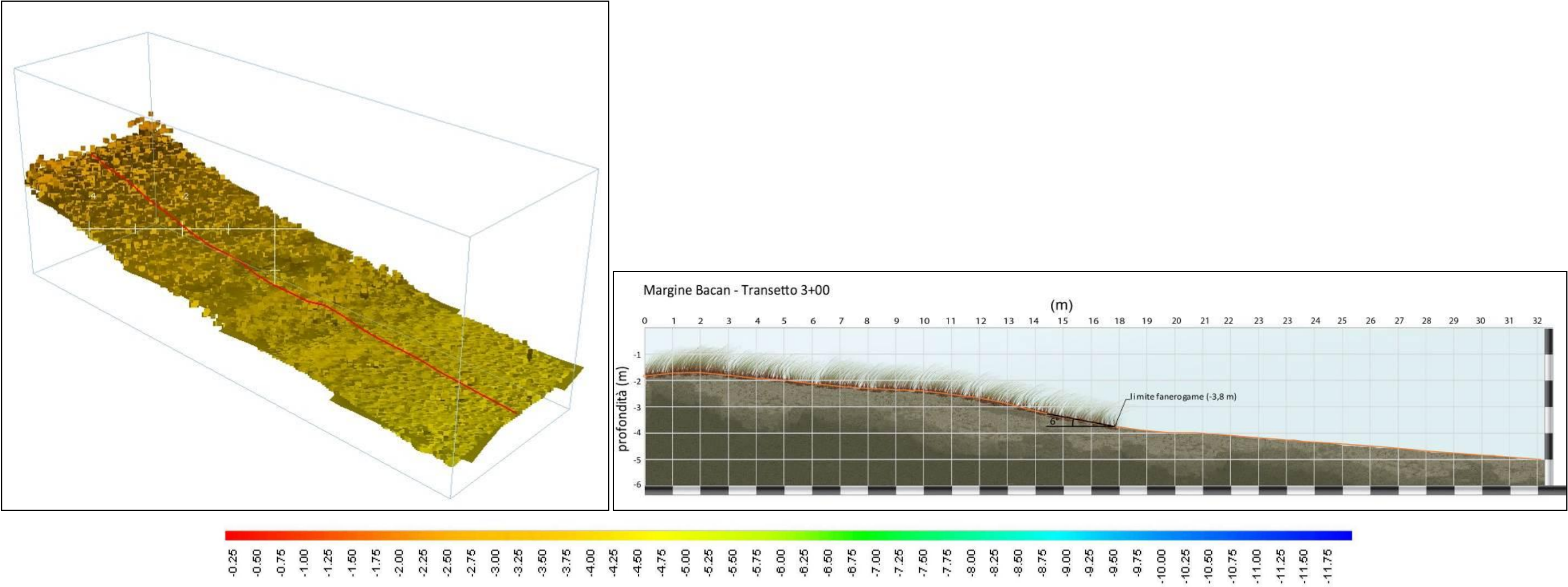


Figura 3.30. Margine Bacan - transetto 3+00.

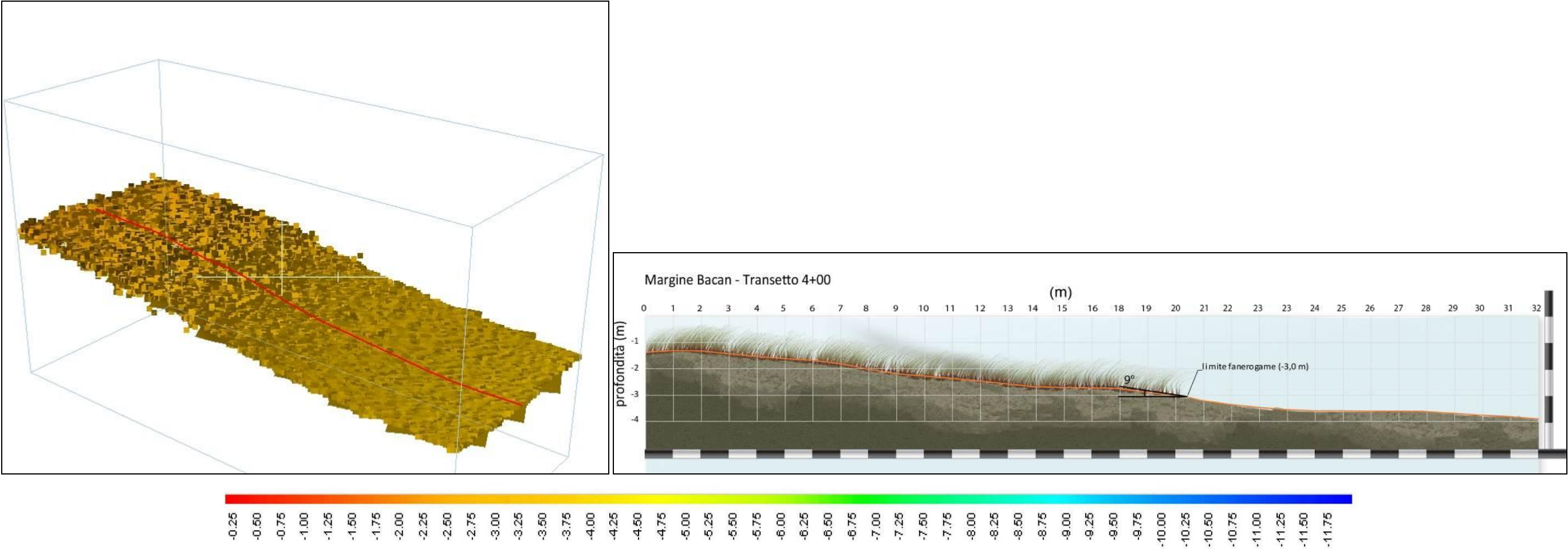


Figura 3.31. Margine Bacan - transetto 4+00.

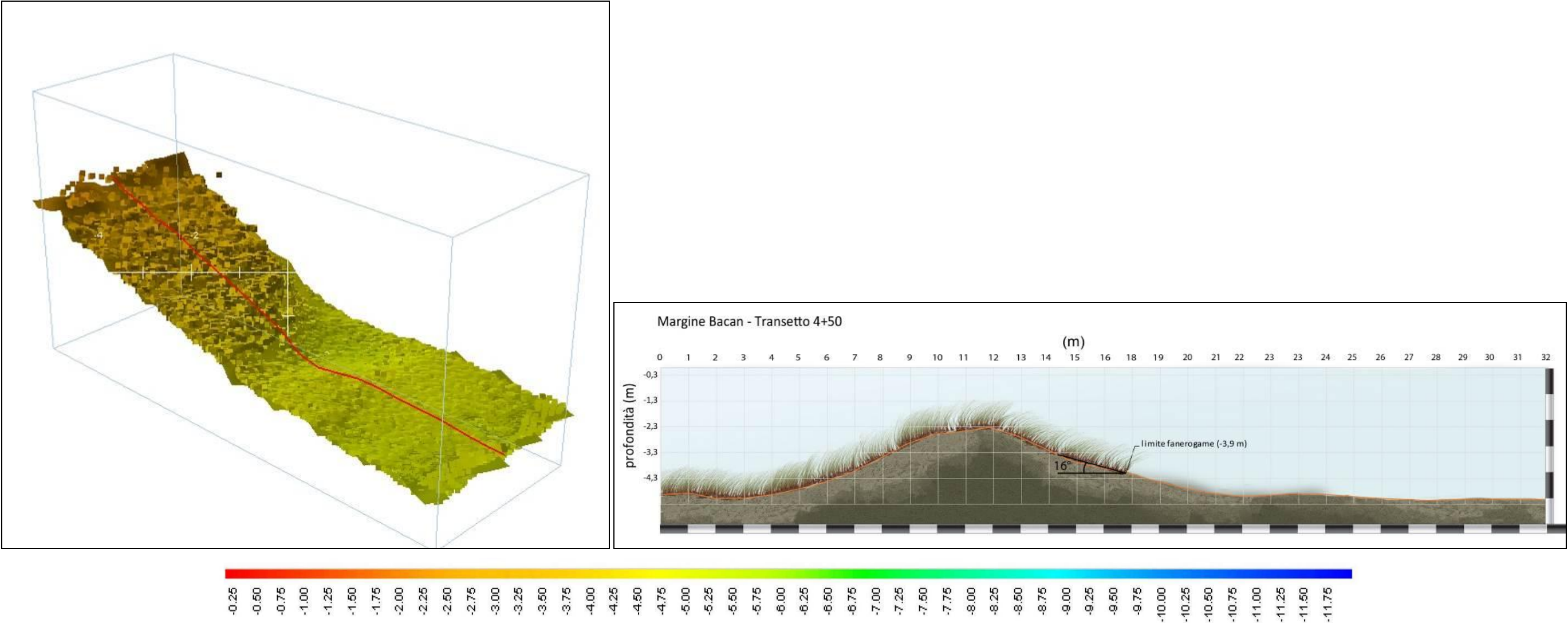


Figura 3.32. Margine Bacan - transetto 4+50.

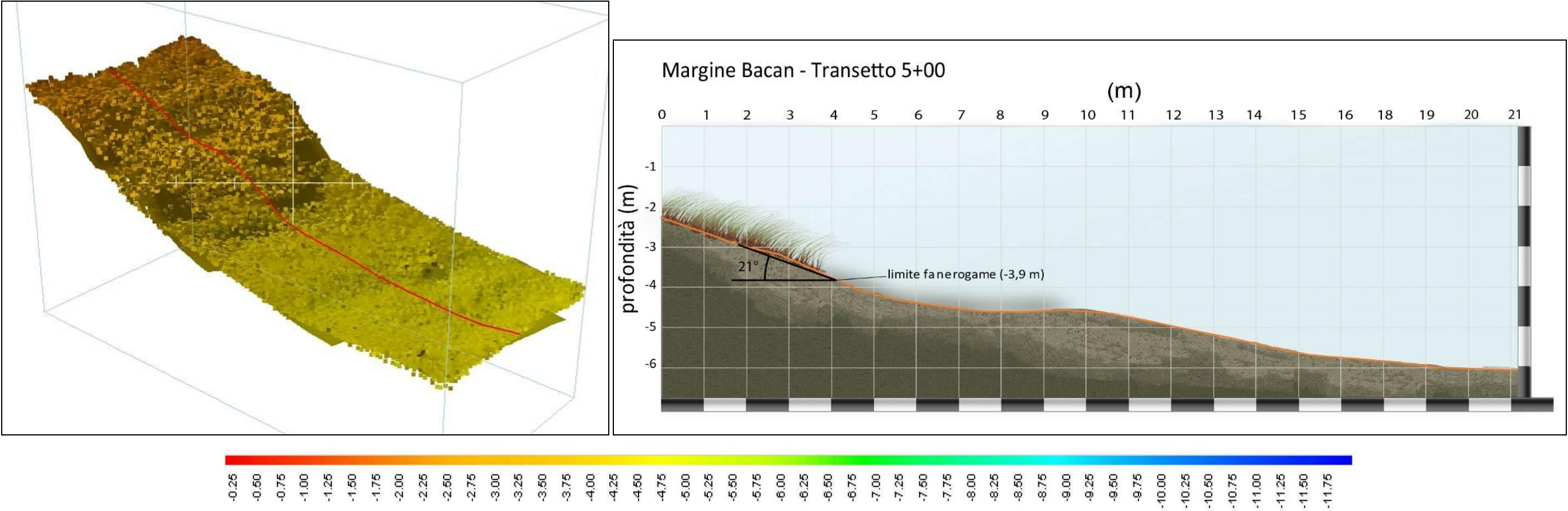


Figura 3.33. Margine Bacan - transetto 5+00.

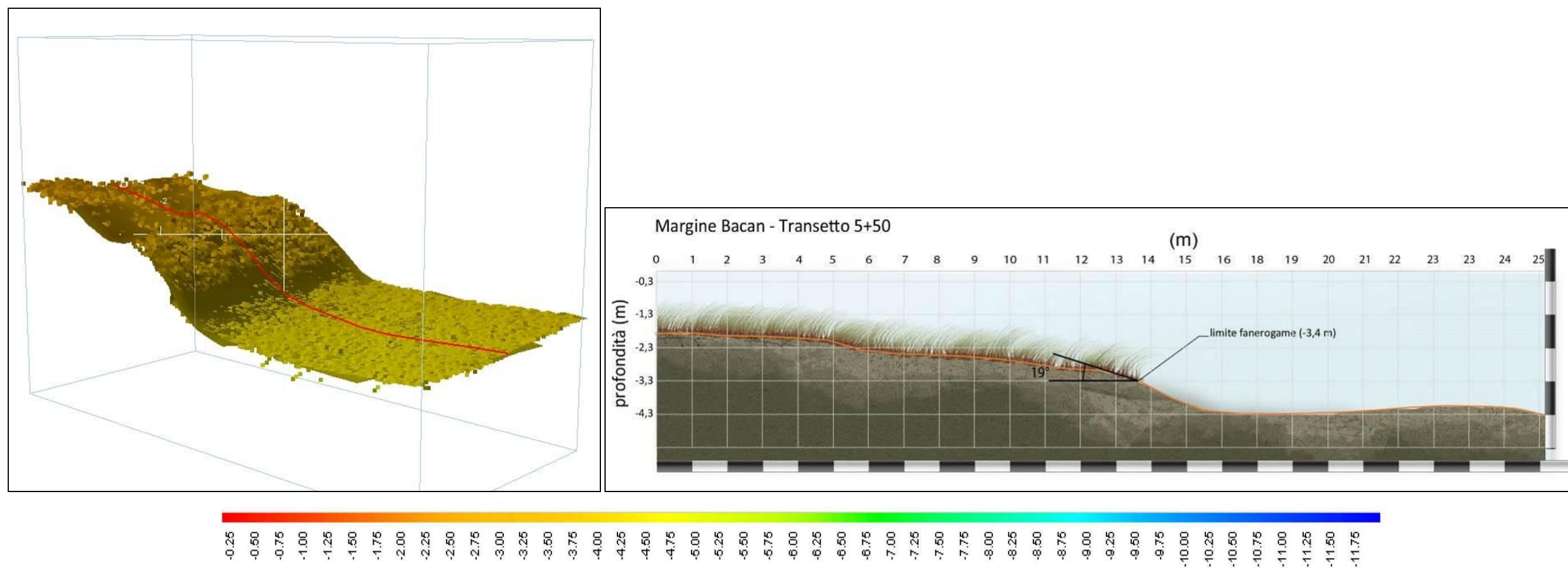


Figura 3.34. Margine Bacan - transetto 5+50.

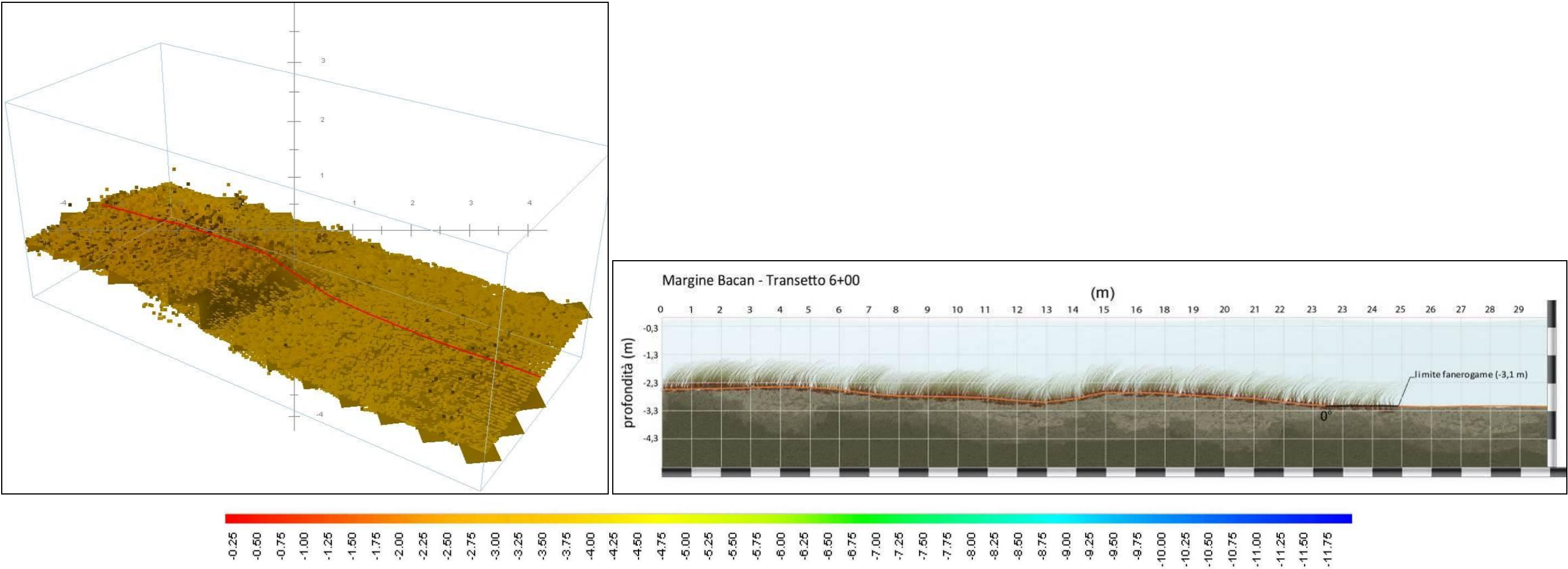


Figura 3.35. Margine Bacan – transetto 6+00.

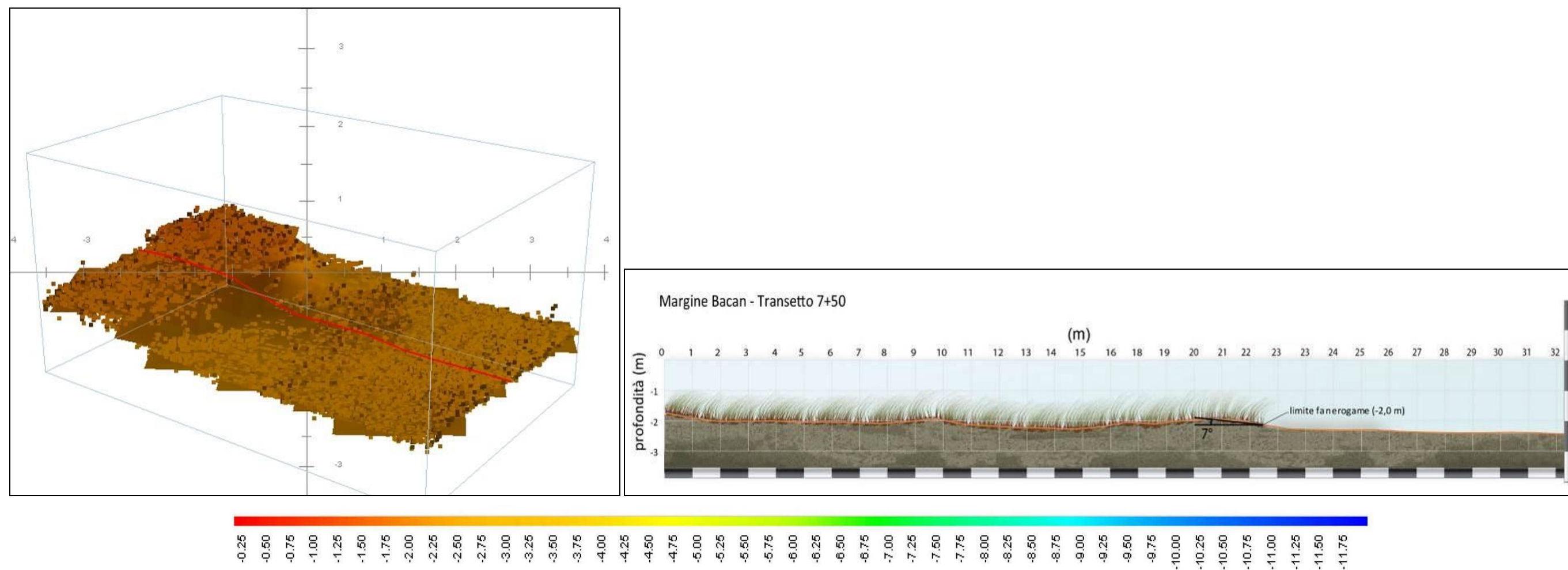


Figura 3.36. Margine Bacan – transetto 7+50.

3.3 Mappatura di precisione del bassofondo del “Bacan”

Come già richiamato in premessa, negli ultimi anni del monitoraggio è stata rivolta particolare attenzione alle praterie del bassofondo del Bacan, comprese tra il canale di S. Erasmo e il Canale di Treporti. Le immagini storiche degli anni 50 indicano la presenza di una estesa prateria a fanerogame, stimabile in circa 60 ha che, rispetto all’attuale stato, appare più pronunciata verso la bocca di porto; nel tempo questa prateria si è progressivamente ridotta assestandosi, nel periodo del monitoraggio *ante operam*, ad un areale frammentato di 15-20 ha complessivi. Nei primi anni del monitoraggio, le dinamiche di questo settore della bocca di porto hanno evidenziato limitate variazioni, mentre negli ultimi 5-6 anni si è assistito sia ad un parziale arretramento sul lato ovest che suggerisce fenomeni erosivi, sia ad una progressiva e costante espansione nel settore centrale ed est, sul fronte marino con *Cymodocea nodosa* e in quello interno a fondale emergente con le basse maree ad opera di *Zostera noltei*.

I rilievi eseguiti nel presente monitoraggio confermano il trend espansivo osservato negli ultimi anni, sia per le praterie a *C. nodosa* nei fondali a maggiore profondità, sia per quelle più interne costituite soprattutto dal *Zostera noltei*, raramente sostituita o affiancata da spot a *Zostera marina* quando la morfologia del fondale presenta piccoli avvallamenti o depressioni (piccole pozze d’acqua).

Il settore ovest della prateria del Bacan, che in parte esce dal cono di protezione della nuova isola, continua a mostrare dinamiche contraddittorie. Dopo un marcato arretramento del margine della prateria prossima al canale (Figura 3.30 freccia A e immagine a lato), evidenziato a partire dal 2012, i controlli più recenti indicano ora stabilità sul limite del canale e segnali di espansione nella retrostante area ad opera soprattutto di *Cymodocea nodosa* (freccia B). Anche nel settore più ad ovest (freccia C) i rilievi del 2016 hanno evidenziato delle progressioni all’estremità sud di 2 praterie; quella più interna a *Zostera noltei* si trova nella fascia intertidale mentre quella sul lato canale è formata da più specie in relazione alla batimetria (*Zostera noltei* su quote minori e *Cymodocea nodosa* e *Zostera marina* su quote maggiori). Si tratta di praterie poste su fondali prettamente sabbiosi, a cavallo di uno scanno (sabbioso), caratterizzate da un’elevata mobilità dei sedimenti, anche in relazione alle condizioni meteo marine e dei venti dominati.

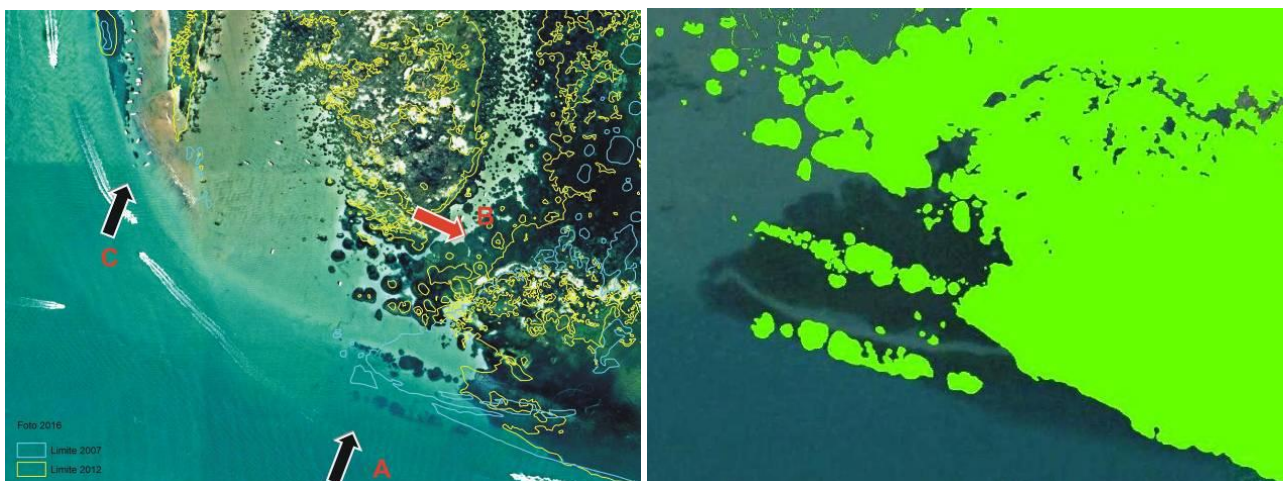


Figura 3.30. Esempi di variazioni delle fanerogame marine nel settore ovest della prateria del Bacan. A sinistra, sulla base fotografica 2016 sono riportati i margini del 2007 e del 2012; a destra un dettaglio della zona A con un confronto tra la distribuzione del 2004 (foto) con quella attuale del 2016 (in verde).

Il settore centrale ad est del Bacan, come negli ultimi 4-5 anni, denota ancora segnali di espansione della praterie esistenti, sia a *Cymodocea nodosa* che a *Zostera noltei*, e di colonizzazione di nuovi

areali soprattutto ad opera di *Zostera noltei*. In particolare, per quest'ultima specie, rispetto al 2015 si segnalano nuove colonizzazioni, stimabili in circa 29 ha, nei fondali emergenti in bassa marea lungo la fascia parallela a ridosso dell'isola di S. Erasmo e nel bassofondo che si estende sino al Canale di Treporti, a volte frammista a piccole patch a *Zostera marina* (qualche ciuffo), in presenza di avvallamenti con pozze con acqua.

In relazione alla distribuzione di quest'ultima specie, i rilievi nell'intera area del Bacan hanno evidenziato una diffusione capillare ma limitata a isolati ciuffi o gruppi di ciuffi (diametro massimo di 1 m) soprattutto in associazione con *Zostera noltei* sui fondali in parte emergenti, mentre raggiunge estensioni di 3,0-5,0 m in diametro sui fondali più profondi (circa 2,0 m), spesso in associazione con la varietà a foglia lunga di *Zostera noltei* (Figura 3.31).

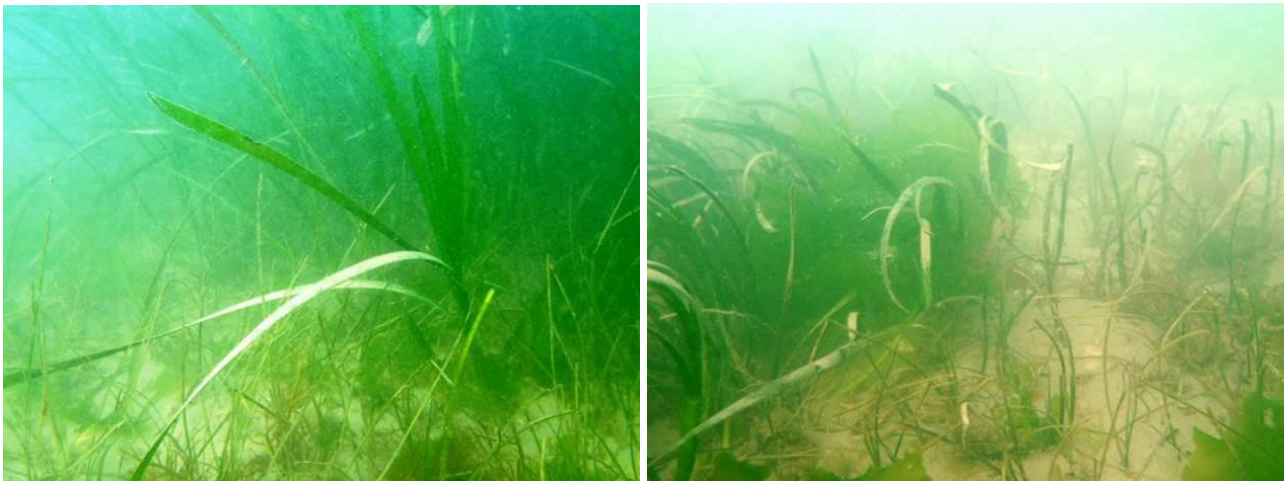


Figura 3.31. Nelle immagini sono visibili ciuffi di *Zostera marina* con foglie di maggiore dimensioni e ciuffi di *Zostera noltei* con foglie di minore altezza e larghezza.

Nella figura 3.32 sono riportate in sintesi, per l'intera area del Bacan, le variazioni delle coperture come confronto tra 2015-2016 e 2003-2016.

Le dinamiche di quest'area retrostante la nuova isola indicano che, dal 2003, l'incremento delle praterie a *Cymodocea nodosa* è stato di circa 30 ha e per quelle a *Zostera noltei* di circa 60 ha. Il 2016 ha segnato un ulteriore forte incremento di areale e grado di copertura di *Zostera noltei* nei fondali a minore battente, in particola su quelli immediatamente adiacenti all'isola di S. Erasmo.

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

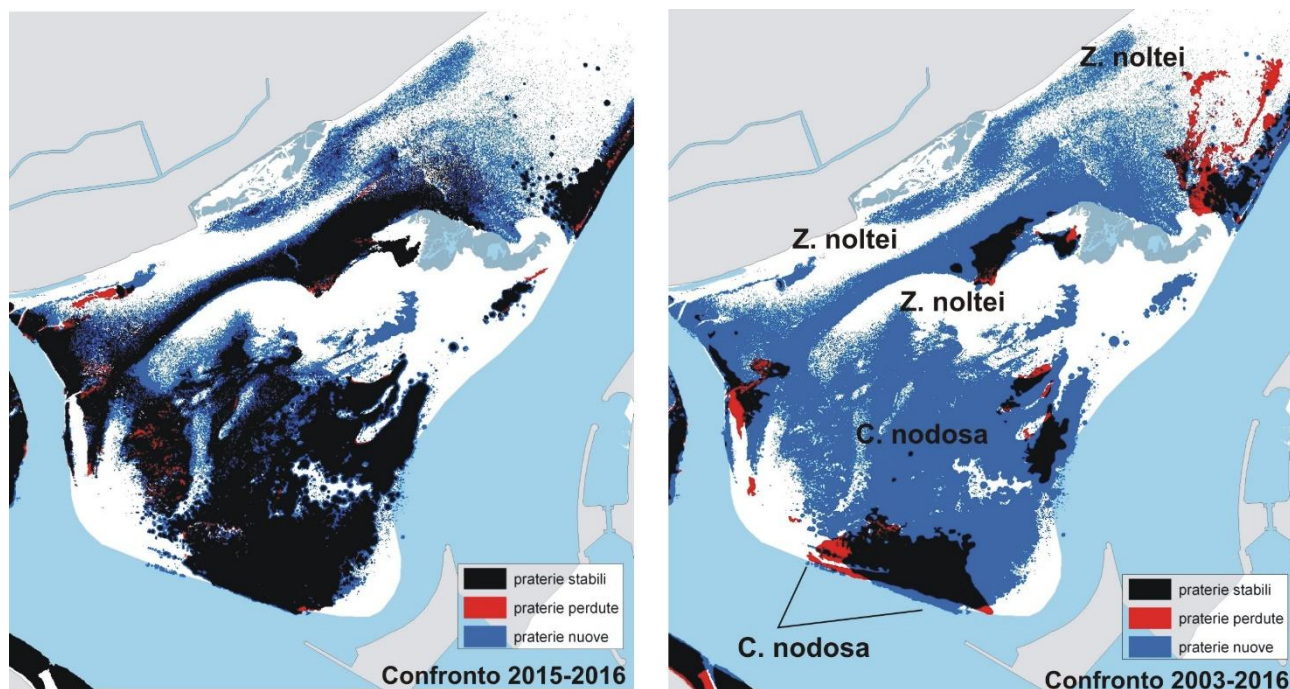


Figura 3.32. Variazioni delle coperture a fanerogame marine avvenute tra il 2015-2016 e tra il 2003-2016.

4 CONCLUSIONI

Le indagini condotte nel presente monitoraggio confermano come le praterie a fanerogame marine dell'area del Bacan siano caratterizzate da una elevata dinamicità.

I rilievi evidenziano come, a fronte di un limitato e ben definito areale di prateria soggetto ad erosione, ragionevolmente riconducibile a modifiche del regime idrodinamico a seguito delle variazioni morfologiche apportate alla sezione dei canali della bocca, negli ultimi anni sia, però, in atto anche una significativa espansione delle praterie; quest'ultima è volta a colonizzare fondali risultati avegetati nella mappatura di *ante operam* (2003) e solo in parte colonizzati nella mappatura del 1990.

I fenomeni erosivi sono ben documentabili in due settori. Un primo settore è riferibile al canale antistante la nuova isola artificiale, dove le dinamiche delle correnti in marea entrante ed uscente sono divenute complesse, mettendo a nudo, sul margine della prateria, parte dei rizomi e delle radici di *Cymodocea nodosa*. Indagini eseguite con metodiche acustiche hanno evidenziato come questo settore del canale, nel tratto di curva, presenti una morfologia disomogenea con tratti in pendenza e successivi rialzi-dossi, prima di approfondirsi definitivamente, riconducibili probabilmente alle dinamiche idrodinamiche che si determinano tra marea entrante e marea uscente.

Un secondo settore in arretramento è segnalato a partire dal 2012 è riferibile al tratto di canale-bassofondo non protetto idrodinamicamente dalla nuova isola artificiale. Negli ultimi 2 anni, i fenomeni di arretramento sembrano essersi esauriti o quantomeno limitati, considerando come nel retrostante bassofondo siano evidenti processi colonizzativi ad opera soprattutto di *Cymodocea nodosa* e *Zostera noltei*, nei fondali più emergenti in bassa marea.

In particolare, appare significativo l'incremento di areale di *Zostera noltei* nel bassofondo emergente antistante l'isola di S. Erasmo, dovuto sia ad un incremento del grado di copertura già esistente, sia nella forestazione di nuovi fondali, soprattutto verso est. Tale incremento, se rapportato al 2015, è dell'ordine di circa 29 ha mentre rispetto al 2003 di circa 60 ha.

I rilievi acustici inseriti nel piano di monitoraggio di quest'anno ed eseguiti lungo il limite delle praterie poste sul bordo dei canali hanno permesso di esaminare con accuratezza la conformazione dei margini e le profondità raggiunte dalla fanerogama *Cymodocea nodosa*. L'analisi ha permesso di investigare le dinamiche colonizzative della fanerogama in settori particolarmente critici per profondità, pendenza e idrodinamica di bordo canale, che in alcuni punti sono tali da generare erosione.

L'indagine acustica, inoltre, ha lo scopo di definire, quasi al termine della realizzazione dell'opera o di quelle più significative, il reale limite delle attuali praterie su profondità di 3-4 m, le batimetrie alle quali giungono e la morfologia del fondale in lunghi tratti di bordo canale. Quanto investigato è raffigurabile come uno stato zero di riferimento per valutare, nel tempo, le eventuali variazioni della posizione e della morfologia di lunghi tratti del margine di tre principali canali della bocca di porto di Lido e del limite delle praterie a fanerogame che su essi termina.

5 BIBLIOGRAFIA

- Béguinot A., 1913. La vita delle piante superiori nella laguna di Venezia e nei territori ad essa circostanti. Studio biologico e fitogeografico. Pubbl. n. 54 dell'Uff. Idrigr. del R. Magistr. delle Acque Ferrari, Venezia: pp.348.
- Béguinot A., 1941. La vita delle piante vascolari. In: La laguna di Venezia, 3, p. 5, t. 9, (2): pp. 369.
- Benacchio N., 1938. Osservazioni sistematiche e biologiche sulle Zosteraceae dell'Alto Adriatico. *Thalassia*, 3: 1-41.
- Magistrato alle Acque di Venezia (ora Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia) - CORILA, anni 2006-13. Studi B.6.72 B/1-B/8. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Praterie a fanerogame. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée* 54: 3-29.
- Pignatti S., 1953. Introduzione allo studio fitosociologico della pianura veneta orientale, con particolare riguardo alla vegetazione litoranea. *Arch. Bot.*, 29 (1): 1-25, (2): 65-98, (3): 129-175.
- Pignatti S., 1966. La vegetazione alofita della Laguna Veneta. *Mem. Is. Ven. Sc. Lett. Arti.*, 33: 1-74.
- Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (ex-Magistrato alle Acque di Venezia) - CORILA, anni 2014-16. Studi B.6.72 B/9-B/11. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Praterie a fanerogame. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto- Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia - CORILA, anni 2015-16. Studi B.6.72 B/10-B/11 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Ecosistemi di pregio. Macroattività: Praterie a fanerogame - Macroattività: modelli di distribuzione dell'habitat per le praterie di fanerogame marine. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.
- Simonetti G., 1966. Variazioni dei popolamenti a Zosteracee nel Golfo di Trieste durante gli ultimi decenni. *Arch. Ocean. Limnol.*, suppl. al Vol. 15: 107-114.
- Simonetti G., 1973. I consorzi a fanerogame nel Golfo di Trieste. *Atti Ist. Ven. Sc. Lett. Arti.*, 131: 459-502.
- Thom R.M., Diefenderfer H.L., Vavrinec J., Borde A.B., 2011. Restoring Resiliency: Case Studies from Pacific Northwest Estuarine Eelgrass (*Zostera marina* L.) Ecosystems. *Estuaries and Coasts*, Published online 20 July 2011.
- Vatova A., 1949. Caratteri di alcune facies bentoniche della Laguna veneta. *Nova Thalassia*, 1, (4): 3-14.