



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA



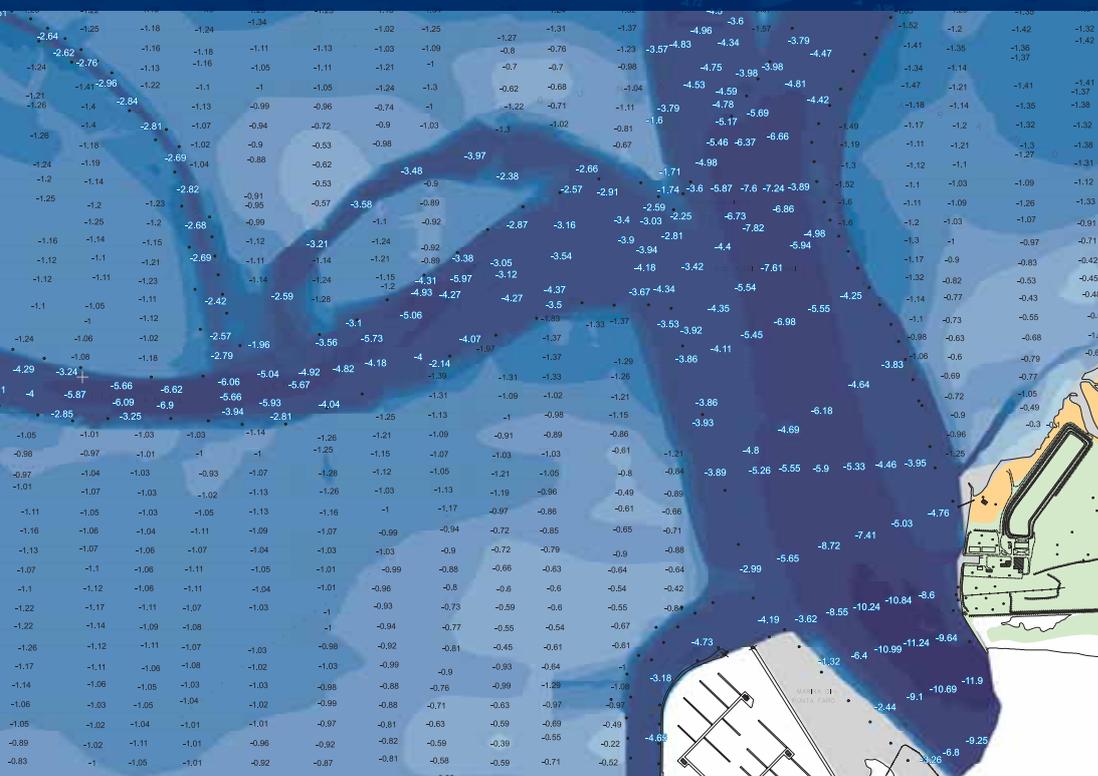
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Commissario Delegato per l'Emergenza Socio-Economica Ambientale
determinata nella Laguna di Marano Lignano e Grado
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
ver. 01/06 del 10/06/2011



OGS - ISTITUTO NAZIONALE
DI OCEANOGRAFIA
E DI GEOFISICA SPERIMENTALE

Note illustrative



Carta batimetrica della Laguna di Marano e Grado

2011

**Carta batimetrica della
Laguna di Marano e Grado**

Note illustrative



RESPONSABILI DEL PROGETTO

Renato Villalta^a, Gianni Menchini^b

RESPONSABILI SCIENTIFICI

Renato Villalta^a, Giorgio Fontolan^c, Riccardo Ramella^d

COORDINAMENTO MISURE

Marco Lipizer^a

RILIEVI EFFETTUATI DA

Marco Lipizer^a, Emiliano Gordini^d, Simone Pillon^c,
Annelore Bezzi^c, Diego Cotterle^d, Michele Deponete^d, Gianpaolo Giugovaz^a,
Giovanni Martin^a, Michele Stabile^a, Antonella Triches^a, Gianpaolo Visnovic^d

ELABORAZIONE DATI

Marco Lipizer^a, Simone Pillon^c, Emiliano Gordini^d, Antonella Triches^a,
Giovanni Martin^a, Enrico Bressan^b

VALIDAZIONE DATI E MODELLO BATIMETRICO DIGITALE

Simone Pillon^c, Marco Lipizer^a

TESTI A CURA DI

Antonella Triches^a, Simone Pillon^c, Annelore Bezzi^c, Marco Lipizer^a, Emiliano Gordini^d

PROGETTAZIONE GRAFICA

Antonella Triches^a, Arti Grafiche Friulane / Imoco spa (Ud)

FOTO

Autorità di bacino regionale del Friuli Venezia Giulia

REALIZZAZIONE

Presidenza della Regione - Ufficio Stampa

AL PRESENTE VOLUME SONO ALLEGATI LA CARTA BATIMETRICA DELLA LAGUNA DI MARANO E GRADO COROGRAFIA ALLA SCALA 1:25.000 DETTAGLI IN 4 FOGLI ALLA SCALA 1:10.000

Rilievi *singlebeam* delle piane di marea effettuati dall'Abr, dall'OGS e dal DiGe
Rilievi *multibeam* effettuati dall'OGS con la collaborazione dell'Abr
Rete mareografica dell'Autorità di bacino regionale

Quote riferite allo zero IGM42

Rilievi anni 2009-2010-2011

PER CITARE LA CARTA:

Carta batimetrica della Laguna di Marano e Grado - Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia - a cura di: Autorità di bacino regionale del Friuli Venezia Giulia, Commissario Delegato per l'emergenza socio-economico ambientale determinatasi nella Laguna di Marano Lagunare e Grado, Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste, OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Arti Grafiche Friulane / Imoco spa (Ud), 2011

PER CITARE IL VOLUME:

Triches A., Pillon S., Bezzi A., Lipizer M., Gordini E.,
Carta batimetrica della Laguna di Marano e Grado. Note illustrative
Arti Grafiche Friulane / Imoco spa (Ud), 2011

© 2011 by Autorità di bacino regionale del Friuli Venezia Giulia,
Commissario Delegato per l'emergenza socio-economico ambientale
determinatasi nella Laguna di Marano Lagunare e Grado,
Dipartimento di Geoscienze - Università degli Studi di Trieste,
OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale

ISBN: 978-88-95980-02-7

Tutti i diritti riservati

«ἐγὼ δὲ τέχνην οὐ καλῶ ὁ ἄν ἧ ἄλογον πράγμα»

Io non chiamo arte un dato che tale resti, un dato cioè senza ragione

(Platone, Gorgia, 465 a)

◀ In copertina: Particolare della tavola di dettaglio n. 1.

^a Autorità di bacino regionale del Friuli Venezia Giulia

^b Commissario Delegato per l'emergenza socio-economico ambientale determinatasi nella Laguna di Marano Lagunare e Grado

^c Dipartimento di Geoscienze - Università degli Studi di Trieste

^d OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale



Casone nei pressi della bocca di S. Andrea.

“Lo studio dei problemi che si presentano nella Laguna di Grado e Marano, equilibrio idraulico dal quale dipende la vita della laguna stessa, efficienza degli sbocchi a mare, dei canali principali e secondari, mantenimento delle zone barenose, come in ogni bacino lagunare, non può prescindere dall’esatta conoscenza dei relativi elementi topo-batimetrici ed idrografici (maree, velocità di corrente, ecc...) raccolti secondo rigide direttive scientifiche”

(dott. ing. Livio Dorigo - Ufficio Idrografico Magistrato alle Acque - 1966)

Consapevole e convinta della necessità di solide basi scientifiche per affrontare i problemi dell’ambiente lagunare, dopo 45 anni dalla pubblicazione della prima Carta Idrografica della Laguna di Marano e Grado, la Regione Friuli Venezia Giulia ha portato a termine i rilievi batimetrici della stessa Laguna e si è dotata di un nuovo ed unico strumento aggiornato per la tutela e la salvaguardia del prezioso ambiente lagunare.

Con la stampa della Carta batimetrica della Laguna di Marano e Grado e le relative Note illustrative si conclude, infatti, un impegno di vasta portata, sviluppatosi in un breve arco di tempo, che ha visto collaborare numerosi enti responsabili della ricerca scientifica e della produzione di dati ambientali relativi alla Laguna di Marano e Grado, impegnati nella diffusione di informazioni intese come “bene comune”, allo scopo di garantire la salvaguardia idraulico-ambientale, la conoscenza e la sicurezza del territorio di competenza.

Realizzata con rigore scientifico per monitorare l’ambiente lagunare ed aggiornare i dati sui quali si basano tuttora gli interventi nell’area considerata, la Carta, prodotto cartografico sviluppato con tecniche avanzate, rappresenta una fotografia della batimetria di piane e canali lagunari aggiornata al 2011.

L’impegno profuso nelle campagne di misura e nel delicato lavoro di elaborazione dati pone il progetto come un esempio prezioso di elevata professionalità, comunione d’intenti e passione per il proprio territorio.

La nuova Carta batimetrica della Laguna di Marano e Grado rappresenta la necessaria base di partenza, quindi, per giungere ad un’efficiente gestione della Laguna, sia in termini di tutela ambientale che ai fini della circolazione idrica, uno strumento per garantire la salvaguardia del prezioso ecosistema ed un riferimento primario per tutti coloro che negli anni futuri si occuperanno della Laguna di Marano e Grado.

Renzo Tondo

*Presidente della Regione Autonoma
Friuli Venezia Giulia*



Vedute delle isole di Martignano e S. Andrea.

Il rilievo batimetrico della Laguna di Marano e Grado e del suo complesso sistema fisico, che la rende uno degli habitat più preziosi ed affascinanti d'Europa, è l'ultimo frutto del grande impegno profuso dalla Regione Friuli Venezia Giulia per acquisire le conoscenze di base fondamentali per garantire la sicurezza del territorio dal punto di vista idraulico ed assicurarne altresì la salvaguardia ambientale e la sicurezza per la navigazione.

Da sempre il più diffuso supporto informativo utilizzato per far conoscere e disegnare il territorio è stata la cartografia. Le mappe, un tempo indispensabili per la navigazione ed il commercio, oltre che per gli spostamenti militari, diventano oggi, con le nuove tecnologie e grazie a tecniche avanzate per l'acquisizione dei dati batimetrici, strumento necessario e basilare per la programmazione, progettazione ed esecuzione degli interventi.

Per tali ragioni, l'aver portato a termine in soli due anni di lavoro, grazie ad un approccio sistemico che ha visto operare in sintonia gran parte degli enti coinvolti nello studio e nella conoscenza della Laguna di Marano e Grado, il rilievo batimetrico completo dell'intera laguna rappresenta un successo particolarmente importante e qualificante.

I risultati ottenuti nell'integrazione di risorse economiche, scientifiche e tecniche, confermano la validità di un sistema di gestione del territorio e di potenzialità tecnico scientifiche di alto livello presenti in regione.

La precisione dei dati rilevati e la qualità del prodotto cartografico, testuale ed informatico, rendono la Carta batimetrica della Laguna di Marano e Grado uno strumento di indubbia utilità ed evidente qualità.

Mai come negli ultimi anni si è ravvisata la necessità di un approccio corale e partecipato, che coinvolga tutti i soggetti chiamati a livello regionale a svolgere essenziali e positive funzioni in materia di tutela ambientale.

A chi ha contribuito in maniera attiva a costruire, gestire e portare a termine questo ambizioso progetto va, quindi, un plauso ed un ringraziamento particolare, in quanto dovere istituzionale e ricerca scientifica si sono affiancate affinché la conoscenza del delicato ecosistema lagunare della nostra Regione potesse divenire per tutti un patrimonio comune.

Compito della Regione Friuli Venezia Giulia sarà quello di raccogliere questa eredità e proseguire in modo attivo e concreto nel complesso lavoro di pianificazione ambientale, difesa delle acque dall'inquinamento e manutenzione dell'ambiente lagunare, anche ai fini della sicurezza della navigazione.

Luca Ciriani

*Vicepresidente della Regione
e Assessore regionale all'ambiente,
energia e politiche per la montagna*



Barene e valli da pesca lungo il canale Sinuta (Laguna di Grado).

L'esigenza di definire un quadro aggiornato della morfologia della Laguna di Marano e Grado, ai fini della conoscenza e della gestione di questo delicato ecosistema, ha portato, tra il 2009 e 2011, alla creazione di un Progetto che ha coinvolto, per quasi due anni, personale dell'Autorità di bacino regionale del Friuli Venezia Giulia, del Gruppo di Ricerca Costiera del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste, dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste e dello Staff del Commissario Delegato per l'Emergenza Socio-Economico Ambientale determinatasi nella Laguna di Marano e Grado.

Il risultato finale del lavoro è rappresentato dalla Carta batimetrica della Laguna di Marano e Grado, che, riprodotta come quadro sinottico in scala 1:25.000 e in quattro tavole particolareggiate in scala 1:10.000, descrive la batimetria dei canali lagunari e delle piane di marea, unitamente alle presenti Note illustrative.

La cura profusa nelle fasi di acquisizione, validazione ed elaborazione dei dati pone la Carta come un prodotto di rilevante spessore scientifico: un caposaldo dello stato morfologico attuale della Laguna, a quasi cinquant'anni dall'ultimo lavoro analogo. Lo stato delle conoscenze in tal senso era di fatto fermo all'unica carta idrografica della Laguna di Marano e Grado, edita nel 1966 dal Magistrato alle Acque di Venezia.

Settecento chilometri di profili batimetrici continui, acquisiti in transetti nord-sud, con passo di centocinquanta metri, per mezzo di ecoscandagli idrografici e apparecchiature GPS differenziali, hanno permesso di ottenere il rilievo delle piane di marea lagunari, dal quale è stato ricavato un modello digitale batimetrico delle piane lagunari (DBM - Digital Bathymetric Model), che descrive in modo dettagliato le caratteristiche morfologiche della Laguna. Questo dato è stato integrato dai rilievi multibeam ad alta risoluzione di tutti i principali canali navigabili.

La nuova Carta batimetrica fornisce una visione completa del territorio lagunare e rappresenta una fotografia aggiornata e precisa atto alla conoscenza di questo ambiente di transizione, oltre a costituire un efficace strumento per vivere la Laguna e garantirne la salvaguardia.

Renato Villalta

*Commissario
dell'Autorità di bacino regionale*

Gianni Menchini

*Commissario delegato
per l'emergenza determinatasi
nella Laguna di Marano e Grado*

Giorgio Fontolan

*Direttore del Dipartimento
di Geoscienze dell'Università
degli Studi di Trieste*

Riccardo Ramella

*Direttore del RIMA
dell'OGS - Istituto Nazionale
di Oceanografia e di Geofisica
Sperimentale di Trieste*



Premessa

Nell'Alto Adriatico le lagune sono uno degli habitat naturali più delicati e instabili. Esse sono frutto di lente, ma continue, trasformazioni e sono caratterizzate da complesse interazioni tra processi naturali, demografici ed economici.

L'area della Laguna di Marano e Grado, che si estende dalla bocca di Primero fino alla foce del Tagliamento, presso Lignano, è una delle più importanti a livello nazionale ed europeo.

Si tratta di un ecosistema complesso che, da un lato, riceve le acque dai fiumi del bacino scolante e, dall'altro, comunica con il mare mediante le bocche tidali. Attraverso di esse avviene il flusso e riflusso della marea all'interno della laguna, principale responsabile del continuo modellamento dei fondali e dell'equilibrio idrodinamico dell'ambiente lagunare.

L'affrontare le problematiche ambientali della Laguna di Marano e Grado per preservarne l'equilibrio ecologico e morfologico non può prescindere dall'esatta conoscenza dei relativi elementi topo-batimetrici ed idrografici che sono indispensabili per determinarne il regime idraulico.

Nell'ambito della costruzione e dell'aggiornamento del quadro conoscitivo propedeutico alla redazione del "Piano stralcio di bacino per la difesa idraulica e la tutela ecologica ed ambientale della Laguna di Marano e Grado" e a supporto dell'attività di gestione emergenziale del Commissario delegato per l'Emergenza Socio-Economica Ambientale determinatasi nella Laguna di Marano e Grado, si è ritenuto indispensabile effettuare un rilievo aggiornato della batimetria della laguna, allo scopo di conoscere l'attuale morfologia e di poterla confrontare con i dati pregressi, identificando i maggiori mutamenti avvenuti.

L'iniziativa, per la quale è stata messa in opera una collaborazione con il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste e l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste, regolata da una specifica procedura operativa, s'inquadra in una visione di rivalutazione della pianificazione territoriale volta alla tutela del territorio e dell'ambiente, atta a garantire l'individuazione di regole di gestione ambientale il più possibile legate a schemi basati sul rispetto dell'habitat lagunare.

Le campagne di rilievo hanno portato all'effettuazione di circa 700 chilometri di profili batimetrici sulle piane di marea in modalità *singlebeam* e 120 chilometri con strumentazione *multibeam* dei canali navigabili. In questo modo, si è potuto coprire l'intera superficie lagunare ed ottenere una carta aggiornata della batimetria.

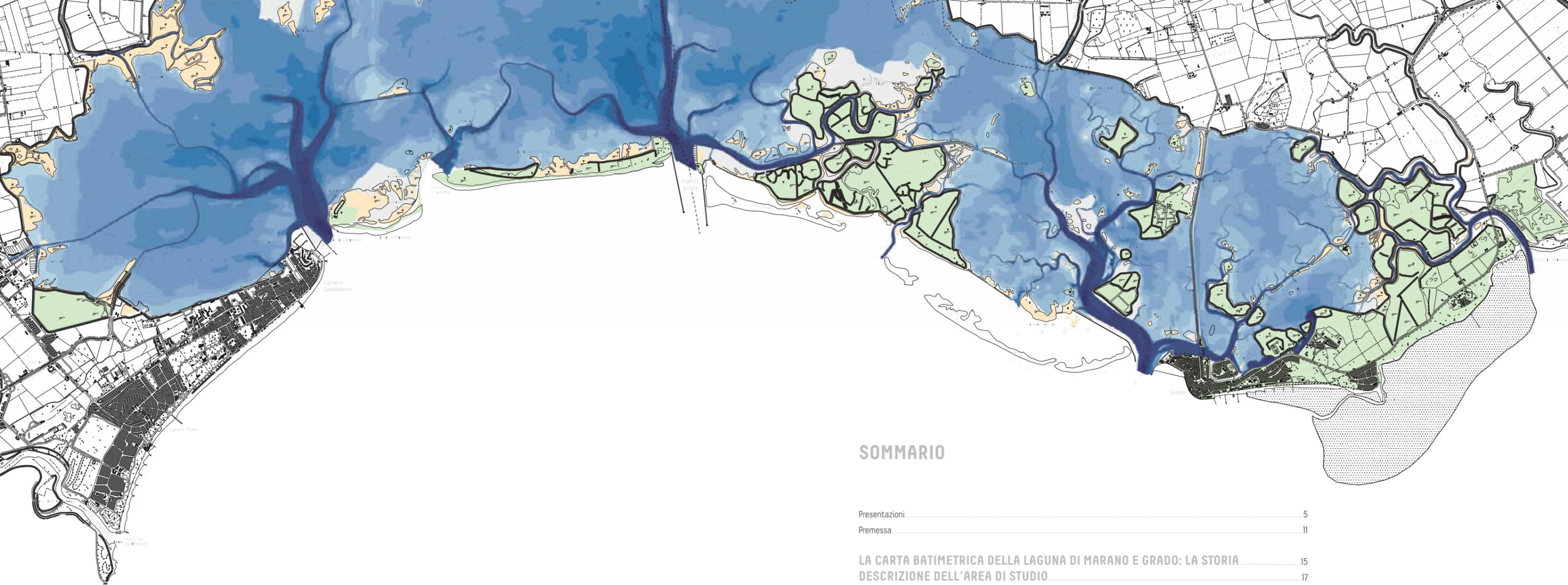
Nella seduta del 22 novembre 2010, il Comitato tecnico dell'Autorità di bacino regionale ha approvato le metodologie di acquisizione, analisi, elaborazione e restituzione dei dati batimetrici succitati.

Il Comitato istituzionale dell'Autorità di bacino regionale, con delibera n. 17/2010 del 25 novembre 2010, ha, quindi, preso atto della Carta batimetrica aggiornata della Laguna di Marano e Grado.

Le presenti *Note* hanno la funzione di illustrare le caratteristiche tecnico-strumentali e metodologiche utilizzate nello svolgimento delle campagne di misure, oltre che le metodiche utilizzate per l'elaborazione dei dati.

I contenuti prettamente tecnici sono preceduti da alcuni paragrafi di descrizione del territorio e delle caratteristiche morfologiche che lo contraddistinguono.

Barene nell' isola della Marinetta.



SOMMARIO

Presentazioni	5
Premessa	11
LA CARTA BATIMETRICA DELLA LAGUNA DI MARANO E GRADO: LA STORIA	15
DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO	17
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DELLA LAGUNA	17
L'IDROGRAFIA LAGUNARE	18
NOTE SULLA MAREA NELLA LAGUNA DI MARANO E GRADO	19
L'ATTIVITÀ DI RILIEVO: STRUMENTI E METODI	21
DESCRIZIONE DELLA CAMPAGNA DI RILIEVI SULLE PIANE DI MAREA	21
Caratteristiche dell'apparato strumentale e performance (ecoscandaglio e gps)	23
La rete mareografica dell'Autorità di bacino regionale	23
Elaborazione e filtraggio dei dati	25
Fase di validazione	27
RILIEVI MULTIBEAM DEI CANALI NAVIGABILI	28
Generalità sui sistemi multibeam	28
Il sistema multibeam Reson SeaBat 8125	28
Parametri geodetici	28
Strumentazione utilizzata per il rilievo multibeam	29
Software di navigazione, acquisizione ed elaborazione	29
Calibrazione	31
Sensore di movimento	31
Sistema di posizionamento	32
Sonde di velocità	32
Processing dei dati multibeam	32
Restituzione dei dati morfobatimetrici	33
ELABORAZIONE DEL MODELLO BATIMETRICO DIGITALE	34
DESCRIZIONE DEL PRODOTTO "CARTA"	35
CONCLUSIONI	36
Bibliografia	38



Bocca e bacino di Lignano.

LA CARTA BATIMETRICA DELLA LAGUNA DI MARANO E GRADO: LA STORIA

La Carta batimetrica della Laguna di Marano e Grado, rappresentante la batimetria delle piane di marea e dei canali lagunari, e il suo sviluppo in formato digitale sono nati in seguito alle Convenzioni stipulate, nel 2009, tra l'Autorità di bacino regionale del Friuli Venezia Giulia, il Commissario delegato per l'Emergenza Socio-Economica Ambientale determinatasi nella Laguna di Marano e Grado, il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste e l'OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste.

L'esigenza di disporre delle batimetrie aggiornate della Laguna era quanto mai prioritaria, sia per poter affrontare scelte di pianificazione e strategie di conservazione sull'area, che per poter effettuare, in fase emergenziale, scelte di gestione e progettazione di interventi.

Dal punto di vista morfologico ed evolutivo i dati e gli studi effettuati in precedenza sulla Laguna risultavano, infatti, oltremodo superati. Per questo delicato ambiente di transizione mancava un assetto batimetrico/topografico dettagliato effettuato in tempi recenti.

Un breve accenno va fatto, in tal senso, alle fonti cartografiche più antiche e ottocentesche, utili a livello conoscitivo, ma non dettagliate dal punto di vista quantitativo.

Si tratta delle carte redatte dal Governo austriaco, attraverso le quali è possibile effettuare uno studio evolutivo, ma non un confronto sui dati batimetrici.

Dopo la firma del trattato di Campoformido (1797) che sancì la cessione dei domini veneziani all'impero asburgico, lo stato maggiore dell'esercito decise di affidare alla direzione del generale Anton von Zach la realizzazione di un'operazione di rilevamento topografico su vasta scala a scopi militari.

Il lavoro di rilievo venne svolto tra il 1798 e il 1805 e il risultato finale fu la redazione di una minuziosa e vasta carta topografica,



1. Marano Lagunare: accesso dal Canale di Marano.

la "Kriegskarte" ("Topographisch-geometrische Kriegskarte von dem Herzogthum Venedig") ovvero la carta militare topografico-geometrica del ducato di Venezia.

La "Kriegskarte" riproduce la Laguna di Marano e Grado nelle carte XVI 13 - XVII 13 - XVIII 13 e XVII 14 che coprono l'intera zona dalla "Valle Pantani fino al canal de Premero e le paludi del Averto e della Fossalonga".

Questo documento permette, però, di effettuare solamente una valutazione qualitativa, ma non quantitativa, in quanto non presenta alcun dato batimetrico.

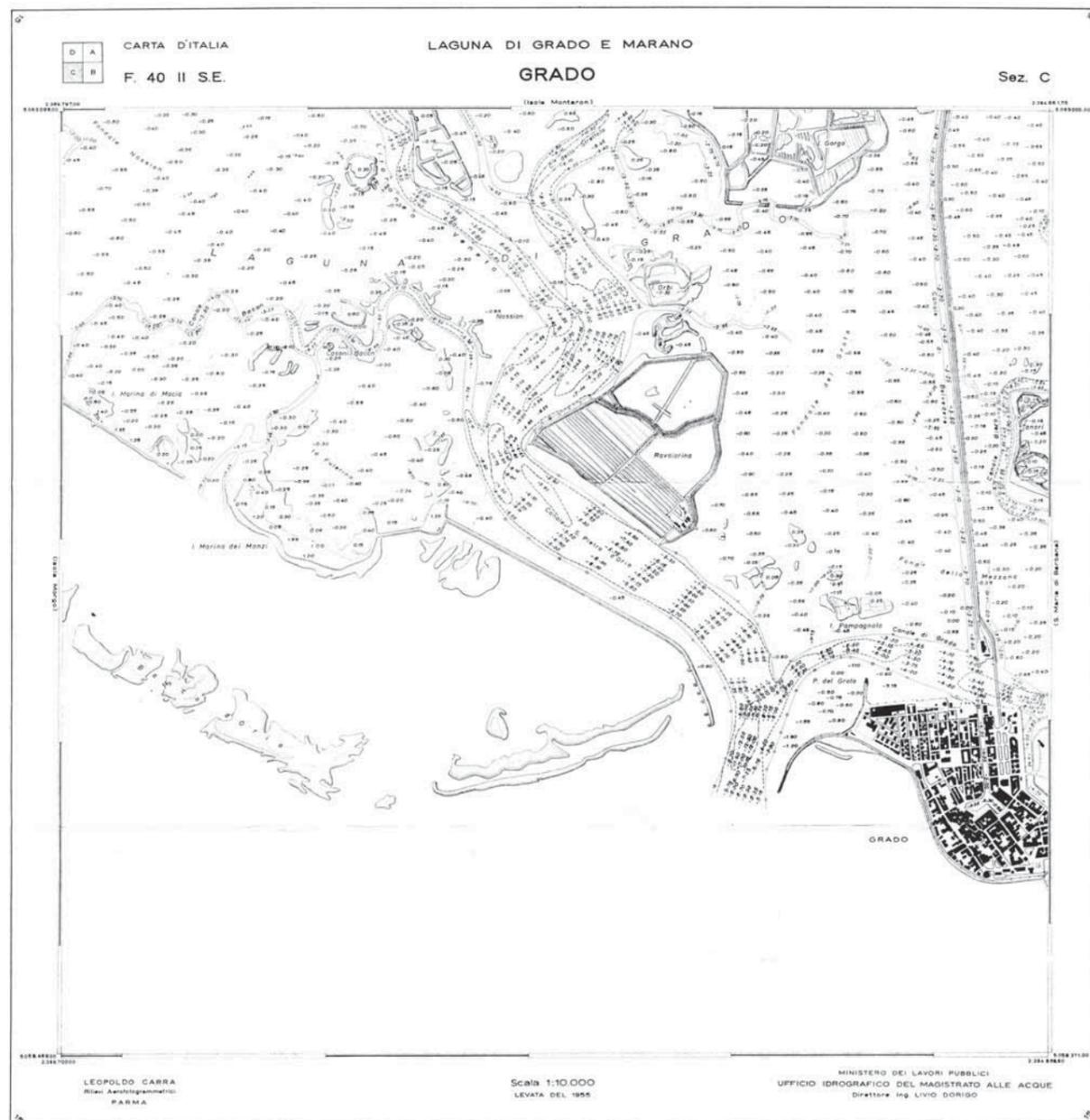
Di grande importanza sono anche le carte topografiche d'Italia dell'Istituto Geografico Militare, che coprono in modo sistematico l'intero territorio italiano, e quelle batimetriche prodotte dall'Istituto Idrografico della Marina.

Delle prime esistono copie storiche, che rappresentano la zona della Laguna, stampate in scala 1:25.000 negli anni 1891, 1910, 1927, 1932 e 1951.

Queste, derivate da una rielaborazione dei rilevamenti catastali, laddove disponibile, e integrate da ricognizioni di campagna, ci mostrano un'immagine molto dettagliata del territorio in cui si riportano con estrema precisione le componenti fisiche, ma forniscono poche informazioni sulle batimetrie, presentando, per quanto riguarda la rete idrografica, alcuni dati solo in corrispondenza dei canali maggiori. Le carte batimetri-

2. L'isola di Grado.





3. Carta del Magistrato alle acque di Venezia Ufficio Idrografico - 1966 (Foglio 40 II SE Grado).

che dell'Istituto Idrografico della Marina, invece, edite negli anni 1928, 1939, 1949 e 1984 in scala 1:12.000, rappresentano i dati batimetrici solamente dei canali principali e della zona costiera, ma non contengono dati di misura relativi ai canali lagunari minori o alle piane.

Il primo documento che presenta un completo assetto topobatimetrico della Laguna è rappresentato dalla carta idrografica, edita nel 1966 dal Magistrato alle Acque di Venezia.

Questo documento, che costituisce una fonte storica di importanza fondamentale, è composto da 17 tavole alla scala 1:10.000, raffiguranti i valori delle batimetrie riferibili ad una serie di campagne idrografiche condotte tra il 1938 e il 1964 dall'Ufficio idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia sotto la direzione dell'ing. Livio Dorigo.

Le metodologie di rilievo allora utilizzate ed i dati delle piane e dei canali riportati su queste carte non possono che rappresentare un documento storico e scientifico indispensabile per lo studio della Laguna (fig. 3).

Da ultimo, va evidenziato il valore, dal punto di vista cartografico, delle Carte Tecniche della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

Per tali carte, però, le quote dei fondali che vengono rappresentate sono ottenute da aereofotogrammetria e risultano perciò non affidabili in acqua.

Il confronto di queste fonti cartografiche con i dati attuali darà modo di definire un bilancio sedimentario delle varie aree e determinare gli effetti dell'evoluzione naturale e della pressione antropica sull'habitat lagunare.

DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DELLA LAGUNA

Ambiente di transizione tra terra e mare, la Laguna di Marano e Grado rappresenta un ecosistema in persistente stato d'instabilità, continuamente sottoposto all'azione di forzanti naturali ed antropiche spesso tra loro contrastanti.

Compresa da Est ad Ovest tra gli apparati deltizi rispettivamente dei fiumi Isonzo e Tagliamento, la Laguna è delimitata verso mare da un cordone litoraneo formato da isole, ed in parte anche da ulteriori banchi sabbiosi, che si allungano parallelamente alla costa da Lignano a Grado per circa 20 km; verso la terraferma la delimitazione è costituita dall'argine di conterminazione lagunare. L'intera area lagunare copre complessivamente una superficie di circa 16000 ha per una lunghezza di 32 km ed un'ampiezza di circa 5 km.

Dal punto di vista geografico, pur formando un unico complesso, la Laguna viene divisa amministrativamente in due diverse zone: la Laguna di Grado (7000 ha), ad est, e la Laguna di Marano (9000 ha), ad ovest. Le due aree sono idealmente divise dalla linea di demarcazione posta lungo il confine amministrativo tra le Province di Udine e Gorizia, suddivisione riconducibile al periodo compreso tra il 1866 ed il 1917, quando la Laguna di Marano apparteneva all'Italia, mentre quella di Grado all'Austria.

Molteplici sono gli studi che si sono occupati dell'origine della Laguna, basati sia su dati provenienti da sondaggi effettuati all'interno del bacino lagunare e nell'area circostante (Marocco et al. 1984; Marocco 1988, 1989, 1991), sia su dati archeologici (Fontana, 2006).

L'origine lagunare deriva dai complessi fenomeni legati alla recente sommersione (in seguito alla trasgressione post-glaciale) di una zona costiera di delta, separata dal mare da un sistema di cordoni litorali e dune, costruiti grazie all'interazione tra apporti fluviali, correnti marine e moto ondoso.

La Laguna di Marano sembra essersi originata a partire da circa 5000 anni fa; almeno questa è l'età dei primi sedimenti riscontrati nel sottosuolo dell'attuale area lagunare. La Laguna di Grado invece risulta più recente (epoca post-romana) legata alle diversioni subite dall'ultima parte del corso dell'Isonzo (Marocco, 1989, 1991; Fontana, 2006).

Le entità morfologiche che caratterizzano una laguna sono il frutto dell'azione modellatrice esercitata dalle correnti di marea combinate agli effetti del moto ondoso. Per la loro individuazione viene di norma utilizzata una distinzione "classica" delle diverse zone morfologiche in relazione alla loro posizione rispetto al livello del mare.

Prendendo a modello principalmente la laguna di Venezia e quella di Marano e Grado si riconoscono in questo modo tre zone, ognuna contraddistinta da apparati morfologici caratteristici (Brambati, 1969):

- aree poste al di sopra del livello medio delle alte maree, ossia gli alti morfologici rappresentati dai cordoni litorali che delimitano la laguna, dalla costa interna, dalle isole e dalle barene;
- aree intertidali, rappresentate prevalentemente dalle piane di marea;
- aree poste al di sotto del livello medio delle basse maree, come le bocche ed i canali lagunari.

Si riporta di seguito una descrizione di queste zone morfologiche.

La Laguna è delimitata verso mare da un cordone di isole barriera (Grado, Marina di Macia e dei Manzi, Buso, S. Andrea, Martignano), la maggior parte delle quali sono state profondamente modificate dagli interventi antropici. Soprattutto per la Laguna di Grado esse sono fronteggiate verso mare da un ulteriore sistema complesso di banchi sabbiosi in rapida evoluzione (Brambati et al. 1998) con quote spesso prossime al livello del mare e, solo talvolta, irrobustito da dune (Gatto e Marocco, 1992).

All'interno della laguna, le isole sono costituite da terreni mai sommersi dalle alte maree e generalmente sono luoghi adatti alla pratica della coltivazione agricola e all'insediamento umano.

4. Casoni alle foci del fiume Stella.





5. Ghebi nelle barene a nord dell'isola di S. Andrea.



6. Esempio di canali secondari e piane tidali nei pressi dell'isola di Barbana.

La principale morfologia emersa della laguna è la *barena*.

Con tale termine si indicano generalmente, le aree topograficamente elevate (al di sopra del livello medio di marea), con associazioni vegetali alofite tipiche, tra le quali le più frequenti sono *Salicornietum* e *Spartinetum* (Gatto e Marocco, 1992).

Possono essere formate da sedimenti lagunari o di origine fluviale ridistribuiti dalle correnti interne della laguna.

Le barene si localizzano nella fascia che borda la costa interna lagunare, dove formano anche ampie aree di delta endo-lagunare in corrispondenza dello sbocco dei fiumi in laguna. Sono presenti, inoltre, lungo i contorni delle isole, nel retro-barriera, cioè nella parte lagunare dei lidi, ed, infine, sul bordo di numerosi canali lagunari (Fachin, 2008; Fontolan et al. 2010).

La loro morfologia "classica" è costituita da un rilievo dai bordi leggermente rialzati e concavo al centro, solcato da piccoli canali meandreggianti detti *ghebi* (fig. 5).

Dalle barene, spostandosi al di sotto del livello medio di marea, si passa ad un'altra tipica morfologia lagunare rappresentata dalle *piane di marea* o *piane tidali*.

Il passaggio generalmente è graduale. Solo nel caso specifico delle barene poste ai margini dei canali avviene attraverso un gradino di erosione, determinato dall'azione erosiva, appunto, delle acque incanalate e del moto ondoso naturale o indotto dai natanti nei canali (Gatto e Marocco, 1992; Albani et al., 1984) (fig. 6).

In Laguna di Grado, le piane di marea costituiscono la quasi totalità del fondale lagunare pianeggiante o leggermente pendente che si raccorda alle barene (Gatto e Marocco, 1992).

Indicate con il toponimo locale di *velme*, a sottolineare come sia il fango il loro carattere distintivo, le piane di marea

contraddistinguono l'area intertidale emergendo periodicamente solo durante le fasi di bassa marea di sizigie (fig. 7).

Le piane tidali sono solcate da un sistema di canali secondari che affluiscono ai canali principali lagunari. Sono dei canali meandreggianti e profondi, il cui livello di base coincide con quello medio di bassa marea (Brambati et. al., 1988), ed il cui compito è quello di drenare e disperdere le acque all'interno del bacino lagunare.

In entrambe le lagune, ma soprattutto in quella di Marano, esistono estese aree di fondale subtidale, ossia posto al di sotto del livello della bassa marea, con battente d'acqua compreso tra 1 e 2 m, chiamate a volte *paludi* (Gatto e Marocco, 1992).

In laguna si possono distinguere altre morfologie che si ritengono "ereditate" dall'antica piana alluvionale-deltizia allagata (Gatto e Marocco, 1992).

In questo caso si riscontrano dei depositi la cui quota ed il tipo di sedimento (sabbie a volte cementate con incluso ghiaietto) appaiono incompatibili con l'azione mareale e lagunare, ma rivelano invece una probabile origine fluviale.

L'IDROGRAFIA LAGUNARE

L'equilibrio dinamico di ogni laguna si basa sullo scambio dei flussi che avviene tra terra e mare attraverso le bocche e la rete dei canali lagunari.

La Laguna di Marano e Grado è caratterizzata da un delicato equilibrio idraulico nel quale assumono una funzione rilevante sia gli apporti idrici provenienti dai corsi d'acqua che sfociano

in laguna, sia il ricambio delle masse liquide attraverso la rete di canali naturali ed artificiali che costituiscono il reticolo idrografico lagunare.

- I punti principali di interscambio con l'ambiente esterno sono:
- i principali corsi di risorgiva Stella, Turignano, Zellina, Aussa-Corno, Natissa, Tiel;
 - afflussi derivanti dai bacini pedemontani (Cormor);
 - i numerosi impianti idrovori della bassa pianura friulana che drenano la rete delle acque basse (sotto il livello del mare) (fig. 8);
 - le bocche lagunari che mettono in collegamento la laguna con il Mare Adriatico (Lignano, S. Andrea, Porto Buso, Mergo, Grado e Primero);
 - l'Idrovia Litoranea Veneta, sistema di canali che sin dall'antichità permette la navigazione e il trasporto di merci dalla Laguna di Venezia al Golfo di Trieste e che, dopo aver avuto momenti di grande sviluppo soprattutto dall'età medioevale in poi, fu ripristinata come via di comunicazione durante la Prima Guerra Mondiale¹.

Con riferimento al reticolo di pertinenza di ciascuna bocca tidale, la laguna risulta idrograficamente divisa in sei distinti

bacini: Lignano, S. Andrea, Mergo, Porto Buso, Grado, Primero (Dorigo, 1965).

Tali bacini hanno subito sensibili variazioni della loro estensione nel tempo (Brambati, 1996), a causa delle forti modificazioni indotte dall'uomo sul reticolo idrografico e sull'assetto morfologico interno.

Dal punto di vista idraulico essi sono parzialmente isolati tra loro e ognuno accoglie e scarica le acque provenienti dalla propria bocca lagunare e, ove presenti, dai corsi d'acqua tributari. Ogni bacino è separato da quello attiguo da un "partiacque", che rappresenta la linea di separazione tra le masse di acqua entranti da due bocche attigue. Lungo la linea di partiacque tra due bacini adiacenti il movimento di traslazione orizzontale è teoricamente nullo tranne in caso di particolari situazioni meteorologiche (Dorigo, 1965).

Per quanto riguarda invece il reticolo idrografico naturale, come già accennato, va effettuata una distinzione tra canali principali, che hanno la funzione di trasporto delle masse d'acqua fluviali o lagunari verso il mare o dalle bocche tidali verso l'interno, e canali secondari, che affluiscono ai canali principali, con la funzione di drenare o disperdere le acque all'interno del bacino lagunare. Da questi ultimi si diramano poi canali meandriformi di più piccole dimensioni (*ghebi*) che si esauriscono sulle piane di marea o sulle aree a barena.

In condizione di sizigia l'acqua che fluisce attraverso le bocche lagunari può raggiungere anche velocità superiori a 1 m/s ed è rapidamente veicolata attraverso i canali fino a raggiungere le piane di marea. Durante la fase di riflusso il processo si ripete in senso inverso.

¹ L'Idrovia Litoranea Veneta è una via navigabile che si snoda lungo un percorso di circa 109 chilometri e si diparte dalla Conca del Cavallino per terminare presso l'Isonzo. È costituita da un complesso sistema di canali artificiali che connette fra loro i fiumi Sile, Piave, Livenza, Lemene, Tagliamento, Stella e Isonzo e gli specchi d'acqua delle Lagune di Venezia, Caorle e Bibione, Marano e Grado.



7. Isole della Gran Chiusa.

NOTE SULLA MAREA NELLA LAGUNA DI MARANO E GRADO

Nell'Alto Adriatico le escursioni di marea assumono variazioni molto più ampie rispetto al resto del Mediterraneo e risultano vitali per il rinnovo ed il mantenimento delle lagune.

La distribuzione delle masse d'acqua durante la fase di flusso avviene dalle bocche fino alle zone più confinate dell'entroterra lagunare. L'ampiezza media della marea (differenza fra la media delle alte e quella delle basse maree) corrisponde in mare aperto a circa 65 cm. Considerando invece soltanto i periodi di sizigia l'ampiezza può raggiungere i 105 cm (Dorigo, 1965).

La marea è semidiurna (con due punte di massima e di minima nel corso della giornata) o diurna in quadratura (una sola punta di massima e minima). Due volte al mese circa, in sizigia, assume una semiampiezza di 55 cm, mentre in quadratura (7 giorni dopo la sizigia) presenta un livello minimo rispetto ai valori del medio mare di circa 15 - 20 cm (fig. 10).

Durante la fase di flusso (marea montante) l'acqua del mare fluisce attraverso le bocche per raggiungere le parti più interne

della laguna, mentre nella fase di riflusso (marea calante) l'acqua viene richiamata dalla laguna verso il mare aperto.

Poiché si tratta di un'onda a lungo periodo, la propagazione della marea all'interno di un bacino lagunare è un fenomeno piuttosto complesso, che, oltre a comportare ritardi e conseguenti sfasamenti di livello da punto a punto, induce modificazioni nell'escursione, dovute alla maggiore o minore resistenza che la marea incontra nella rete dei canali attraverso cui si espande.

I maggiori livelli che si rilevano lungo i canali lagunari ed ai margini della laguna, durante la fase di flusso, sono dovuti principalmente a fenomeni idrodinamici, ossia alla graduale trasformazione in energia potenziale dell'energia cinetica delle masse d'acqua provenienti dal mare che, costrette a propagarsi attraverso i canali stessi e ad arrestarsi ai bordi della laguna, aumentano di livello (Dorigo, 1965).

Il buon regime idraulico della laguna è dato dal breve ritardo con cui si verificano le alte e le basse maree in tutti i margini lagunari, rispetto al verificarsi delle stesse alle bocche portuali. Tale ritardo risulta fra Grado e Belvedere di circa 45 minuti, fra Lignano e Marano Lagunare di circa un'ora (Dorigo, 1965; Ferla et al., 2008).

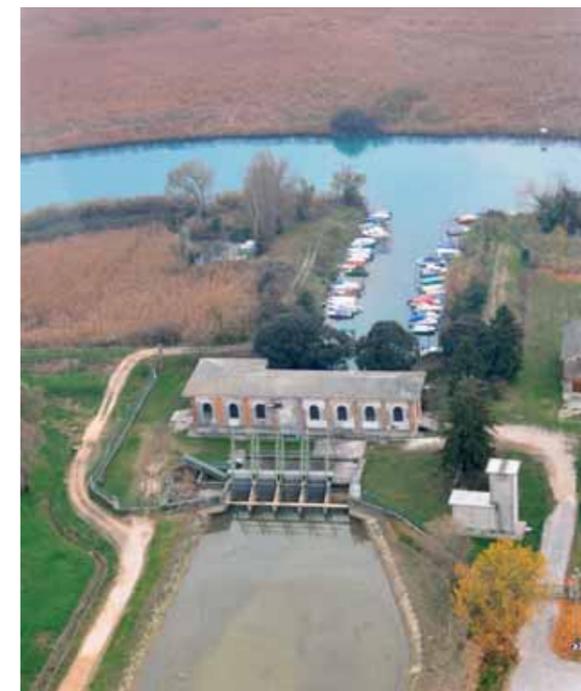
L'ATTIVITÀ DI RILIEVO: STRUMENTI E METODI

La campagna di misure ha portato alla realizzazione di un rilievo aggiornato della batimetria della Laguna di Marano e Grado, comprendente i canali principali, i canali minori e le piane di marea.

La laguna, dal punto di vista morfologico, risulta distinta in due ambienti che debbono essere analizzati con tecniche di rilevamento molto diverse. Da un lato le piane tidali caratterizzate da basse profondità (fino al metro generalmente) e variazioni di pendenza progressive; dall'altro i canali con profondità anche molto elevate e gradienti repentini.

Le piane tidali possono essere rilevate con profitto con il metodo classico dei profili equidistanziati, descrivendo la morfologia del fondale con un dettaglio sufficiente alla riproduzione in scala al 10.000.

I canali invece, per loro natura, richiedono un rilievo con la tecnologia del *multibeam*, che è in grado di catturare in maniera continua l'andamento del fondale.



8. Idrovora Fraida.

DESCRIZIONE DELLA CAMPAGNA DI RILIEVI SULLE PIANE DI MAREA

Al fine della creazione della Carta, per i rilievi *singlebeam* sulle piane tidali è stata definita una specifica procedura operativa, condivisa tra gli enti coinvolti nel progetto, riguardante le caratteristiche strumentali, il metodo di misura, di

elaborazione dei dati batimetrici, di validazione delle misure e di elaborazione finale.

L'attività di rilievo è stata svolta realizzando circa settecento chilometri di profili batimetrici continui, lungo transetti nord-sud, a distanza di centocinquanta metri uno dall'altro, al fine di ottenere una copertura del territorio lagunare conforme

10. Secca Muzzana in fase di bassa marea.





11. Schema di lavoro dei rilievi batimetrici sulle piane di marea.

alla carta batimetrica dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia del 1966 (fig. 11).

Per misurare il battente d'acqua è stato utilizzato un ecoscandaglio idrografico, associato ad un ricevitore GPS differenziale, per ottenere la posizione planimetrica.

Il sistema di acquisizione è stato installato su un natante dal basso pescaggio, idoneo alla navigazione nelle acque del bacino lagunare (fig. 12).

Il sensore dell'ecoscandaglio è installato in maniera solida con l'antenna GPS, in asse con l'antenna stessa, al fine di evitare errori di *offset*. La rotta viene mantenuta utilizzando i software di navigazione. La misura viene acquisita ad un *rate* di almeno un dato al secondo, sia per quanto riguarda il dato di posizione ottenuto dal GPS, che di batimetria dall'ecoscandaglio. Tali dati sono relazionati in funzione dell'istante di acquisizione.

In simultanea alle misure acustiche sono stati effettuati controlli delle profondità per mezzo di un'asta graduata per verificare il corretto funzionamento della strumentazione e per discriminare tra fondale libero e fondale ricoperto da vegetazione.

Nel caso di presenza di fanerogame marine, che potessero disturbare il segnale dell'ecoscandaglio, si è provveduto ad eseguire, in corso d'opera, numerosi scandagliamenti manuali, con un punto ogni 200 metri. L'operazione è stata comunque reiterata ogni qualvolta l'operatore lo ritenesse necessario, per ottenere una precisa verifica del segnale rispetto alla tipologia del fondale.

Nelle aree interessate da una totale copertura vegetale, dove le misure acustiche non sono risultate affidabili, sono state predisposte campagne mirate di misure batimetriche

puntuali, mediante asta graduata, ripercorrendo i profili batimetrici precedentemente determinati (fig. 13).

Il risultato finale di questo processo è costituito da un *dataset* di 900.000 punti batimetrici, spazati di 1-2 metri lungo profili batimetrici nord-sud, equidistanziati di 150 metri.

In alcune zone, per migliorare la descrizione dell'interfaccia piana-canale, sono stati eseguiti alcuni profili lungo i lati dei canali.

12. Strumentazione utilizzata per i rilievi sulle piane di marea: ecoscandaglio oceanografico e sistema di posizionamento GPS differenziale.



13. Fase di acquisizione mediante asta graduata.

CARATTERISTICHE DELL'APPARATO STRUMENTALE E PERFORMANCE (ECOSCADAGLIO E GPS)

In considerazione del limitato battente d'acqua investigata e del grado di precisione richiesta, la frequenza del trasduttore dell'ecoscandaglio utilizzato è sempre stata di almeno 200 KHz, corrispondente ad una risoluzione strumentale di circa 1 cm con un cono di apertura del trasduttore inferio-

re ai 12°, corrispondenti ad una larghezza del fascio di 23 cm ad un metro di profondità.

Tenendo conto della natura dei fondali, costituiti per la maggior parte da terreni fangosi poco compatti, e delle caratteristiche strumentali, si stima una precisione strumentale verticale dei rilievi batimetrici pari a 5 centimetri.

Per il posizionamento planimetrico è stato utilizzato il metodo di correzione post-processing dei dati di fase GPS, utilizzando i file in formato *rinex* della rete di stazioni permanenti della Regione Friuli Venezia Giulia "A. Marussi".

Il rilievo è stato effettuato in un unico sistema di riferimento planimetrico, datum ETRF_89 (WGS84), con restituzione dei dati in coordinate Gauss-Boaga, Fuso Est, sistema di riferimento utilizzato nella Cartografia della Regione Friuli Venezia Giulia.

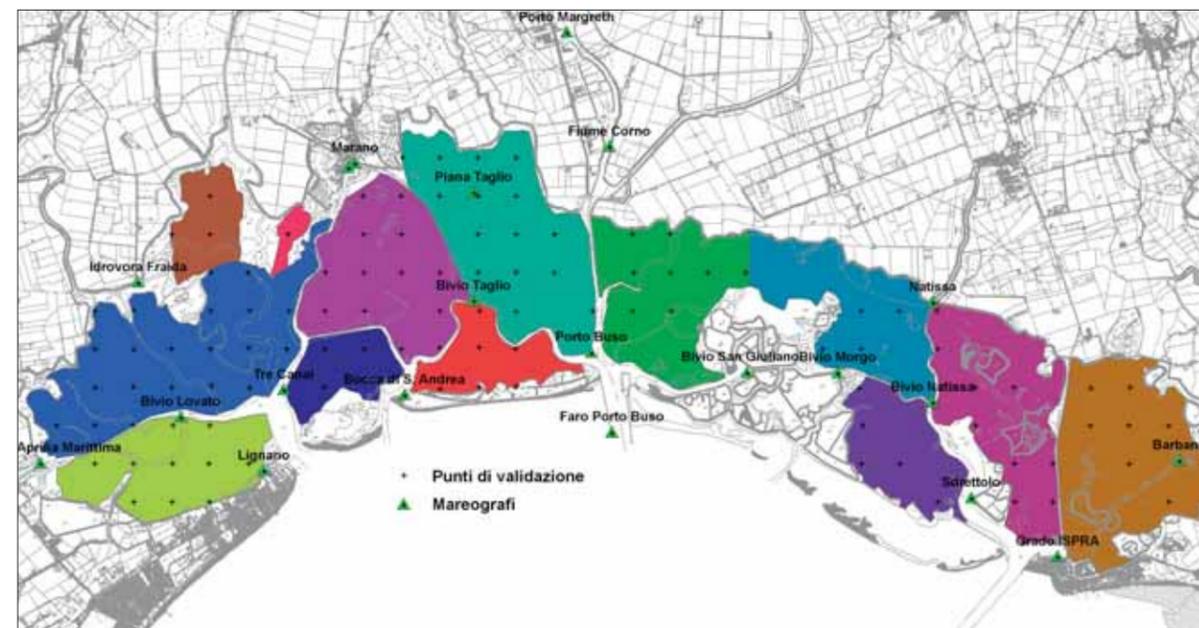
La precisione orizzontale conseguente al tipo di correzione DGPS utilizzata è pari a 5 centimetri nelle condizioni ottimali e raggiunge i 50 centimetri nei casi più sfavorevoli.

LA RETE MAREOGRAFICA DELL'AUTORITÀ DI BACINO REGIONALE

Le operazioni di rilievo batimetrico in Laguna, a causa della notevole escursione di marea che caratterizza l'area, non possono prescindere da un'accurata correzione dell'effetto di marea; parametro, quest'ultimo, che non può essere ricavato dalle tavole di previsione, ma che deve essere misurato durante l'esecuzione dei rilievi.

Per riferire le quote rilevate allo zero idrometrico IGM ci si è appoggiati alla rete mareografica dell'Autorità di bacino regionale costituita da diciannove stazioni mareografiche, omogeneamente distribuite sul territorio e disposte sia in corrispondenza delle bocche, che alla confluenza dei canali ed alle foci dei fiumi (fig. 14).

14. Aree di elaborazione dati sulle piane di marea, punti di validazione e rete mareografica dell'Autorità di bacino regionale.





15. Mareografo alla confluenza tra il Canale Pian e il Canale Muro, presso Porto Buso.

IrDA permette la comunicazione locale con lo strumento per la sua programmazione e il trasferimento dati.

La stazione remota è, inoltre, equipaggiata, all'interno di una cassetta a tenuta stagna, con un modem GSM completo di antenna ed un timer per l'attivazione in fasce orarie prestabilite per lo scarico dei dati e la configurazione da remoto.

I dati sono, quindi, scaricati in automatico, ogni 5 minuti, da un server di controllo presso la sede dell'Autorità di bacino, che provvede allo scarico delle misure mediante modem GSM e alla registrazione dei dati in apposito data-base.

I dodici mareografi a pressione appartenenti alla rete sono del modello OTT Orpheus Mini. Si tratta di strumenti completi di sensore di livello, sensore di temperatura e acquisitore dati.

Le sonde, posizionate direttamente all'interno dei tubi di calma, fissati alle bricole, sono composte da:

- un sensore di pressione in ceramica che garantisce un'elevata precisione, robustezza e stabilità nel lungo periodo;
- un sensore di temperatura;
- un registratore dati;
- un convertitore A/D del segnale.

Fuori dall'acqua, sulla testa del mareografo, come nei mareografi a galleggiante, rimane la cosiddetta unità di comunicazione che include le batterie per l'alimentazione.

Lo scarico dei dati dalle memorie fisiche avviene, in questo caso, mediante l'invio di SMS di testo al server di controllo.

La quota di riferimento di ciascuna stazione mareografica è stata ottenuta mediante livellazione trigonometrica a partire dai caposaldi di livellazione della rete altimetrica regionale collegati al datum altimetrico nazionale (fig. 17).

La ricezione, la validazione e la conservazione dei dati sono gestiti direttamente dall'Autorità di bacino.

La rete è stata approntata a partire dal 2008 dalla Segreteria tecnico operativa dell'Autorità di bacino regionale a supporto di studi, indagini e rilevamenti necessari alla predisposizione del "Progetto di piano per la difesa idraulica e la tutela ecologica e ambientale della Laguna di Marano e Grado".

Ogni postazione è attrezzata con moderne apparecchiature di tipo elettromeccanico ed elettronico secondo gli standard fissati dagli organismi internazionali (WMO, IOC).

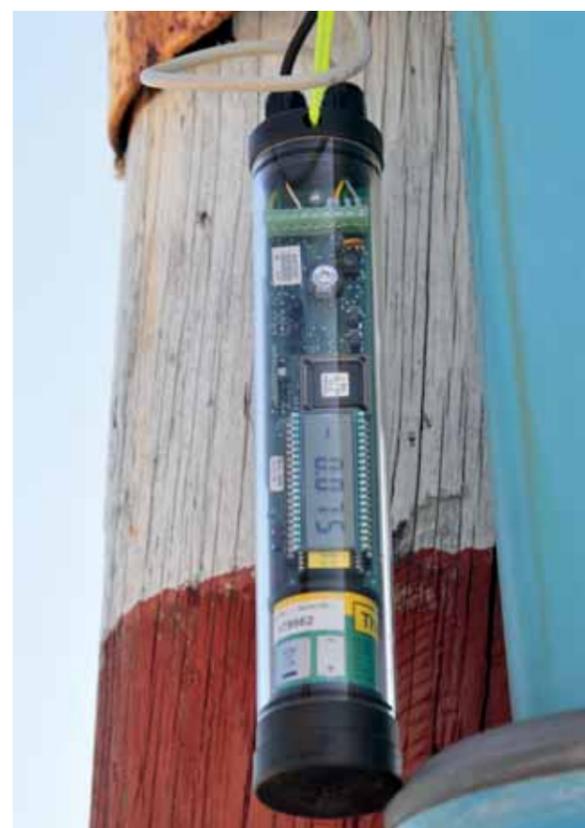
Le stazioni, fissate alle bricole lungo i canali lagunari o a strutture fisse, ove presenti, sono costituite da un apposito tubo di calma, all'interno del quale è inserita la strumentazione elettronica in grado di registrare il livello della marea ogni 5 minuti e di memorizzare i dati su memorie fisiche (fig. 15).

Gli strumenti che sono stati utilizzati sono di due tipi: a galleggiante e a pressione.

I sette mareografi a galleggiante appartenenti alla rete sono del modello Thalimedes prodotto dalla OTT Messtechnik Hydrometrie di Kempton (Germania). Questi mareometri sono costituiti da un sistema a galleggiante (80 mm di diametro) che guida un'unità di encoder digitale, tramite una puleggia di rinvio del cavetto di sospensione del galleggiante e contrappeso, la quale è collegata con un data logger (fig. 16).

Il sistema Thalimedes è dotato di memoria interna e display LCD per la lettura diretta del livello; l'interfaccia ad infrarossi

16. Data logger del Sistema Thalimedes.



Dati relativi alle 19 stazioni della rete mareografica dell'Autorità di bacino regionale

Stazione	Mod. strumento	Quota rif. mareografo (m)	Caposaldo riferimento
Aprilia Marittima	Thalimedes	2.382	13G
Idrovora Fraida	Thalimedes	1.821	B2
Porto Buso	Thalimedes	1.481	664
Bivio Morgo	Thalimedes	1.996	L4
Natissa	Thalimedes	0.174	P60
Primerio Cabina	Thalimedes	2.290	MP
Lignano	Thalimedes	2.640	ML
Barbana	Orpheus Mini	0.752	T33GPS
Fiume Corno	Orpheus Mini	1.014	T67
Bivio Lovato	Orpheus Mini	1.041	ML
Bivio Natissa	Orpheus Mini	0.866	P60
Bivio San Giuliano	Orpheus Mini	1.695	L7A
Bivio Taglio	Orpheus Mini	0.339	8T
Faro Porto Buso	Orpheus Mini	0.569	T24
Marano	Orpheus Mini	0.946	MM
Piana Taglio	Orpheus Mini	0.543	P39
Porto Margreth	Orpheus Mini	1.072	MPM
Sdrettolo	Orpheus Mini	1.025	629
Tre Canai	Orpheus Mini	2.618	670

17. Operazioni di livellazione dei mareografi.



Per la correzione dei dati batimetrici dall'effetto della marea, sono state prese in considerazione le registrazioni del mareografo più vicino ad ogni singola area di rilievo.

Le poche discrepanze, verificate in fase di collaudo, e dovute alla complessità nel calcolo del ritardo della propagazione della marea all'interno dei canali e delle piane tidali, sono state risolte attraverso la verifica diretta del dato batimetrico e contestuale correzione del dato di marea nell'areale specifico.

La precisione della misura della marea, tenuto conto degli errori associati alla strumentazione ed alle operazioni di livellazione e configurazione, è contenuta in pochi centimetri.

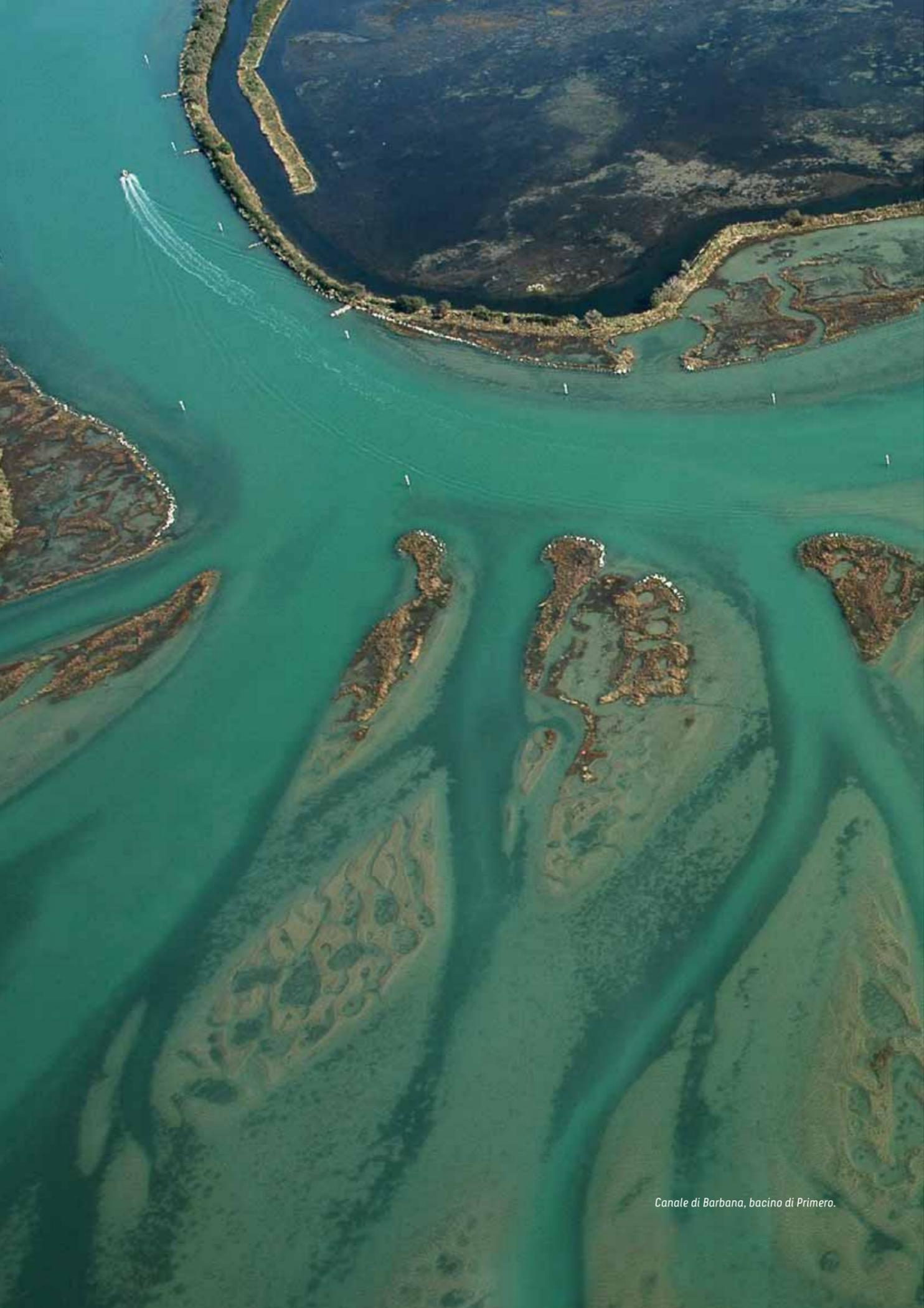
ELABORAZIONE E FILTRAGGIO DEI DATI

La fase di elaborazione dei dati batimetrici ha avvio, innanzitutto, dalla correzione del dato GPS, al fine di ottenere le coordinate del punto di acquisizione.

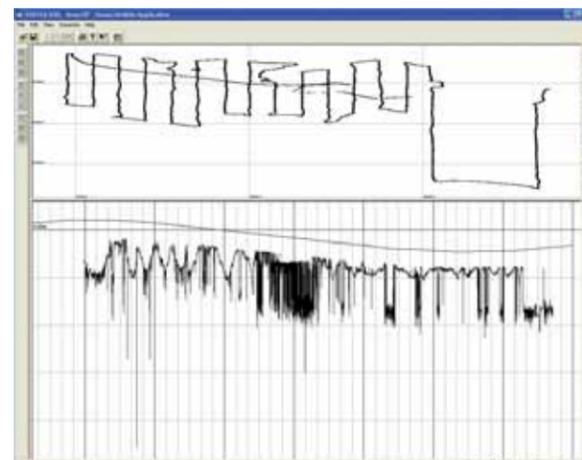
Le stazioni di riferimento utilizzate, facenti parte della rete di stazioni GPS permanenti "Marussi" del Servizio Cartografico della Regione Friuli Venezia Giulia, sono state Palmanova e Bevazzana, ovvero, le più vicine all'area di rilievo.

Mediante il software GPS Pathfinder Office della Trimble, utilizzando i file RINEX a 1 secondo delle stazioni fisse, si sono dapprima corrette le posizioni dei rilievi, arrivando ad una precisione spaziale media di 20 centimetri. I dati GPS sono, poi, stati inseriti nel software di elaborazione dell'ecoscandaglio, il quale ha provveduto ad interpolare la posizione con il dato acustico (asincrono).

Una volta estratti i punti batimetrici, questi sono stati corretti per l'effetto della marea.



Canale di Barbana, bacino di Primero.



18. Elaborazione dei dati per la correzione dell'effetto di marea.

Per il valore di marea, come accennato nel paragrafo precedente, si è fatto riferimento alla stazione mareografica più vicina della rete dell'Autorità di bacino regionale, a seguito della verifica di attendibilità del dato, in base ad un controllo crociato fra le stazioni.

Le correzioni mareografiche sono state eseguite mediante un'interpolazione lineare dei dati di marea. Questo metodo risulta praticabile in quanto i valori di marea sono registrati ogni 5 minuti. Tramite il software Sonar XP della Sonarmite si è anche introdotto il valore di offset di 4 centimetri, derivante dall'affondamento del trasduttore (fig. 18).

I dati sono stati quindi convertiti in coordinate Gauss-Boaga, fuso Est, sistema di proiezione della Cartografia Regionale, utilizzando i parametri di roto-traslazione forniti dall'Istituto Geografico Militare.

La fase successiva è consistita nel filtraggio dei dati, che si è reso necessario per discriminare le riflessioni dovute alla ve-

getazione sul fondale ed eliminare i dati evidentemente non reali derivanti da picchi strumentali o riflessioni multiple, riscontrabili, quest'ultime, normalmente in acque molto basse.

Il filtraggio è stato eseguito da un operatore mediante l'applicativo Terrascan all'interno dell'ambiente CAD MicroStation della Bentley.

Gli scandagliamenti manuali effettuati durante la campagna di misura sono risultati molto utili per definire con certezza il livello del fondo.

Il filtraggio è avvenuto profilo per profilo, distinguendo i dati nelle tre classi: fondale, vegetazione e dato anomalo (fig. 19).

FASE DI VALIDAZIONE

La validazione dei dati batimetrici è stata eseguita su un centinaio di punti distribuiti in maniera regolare sull'intera superficie lagunare.

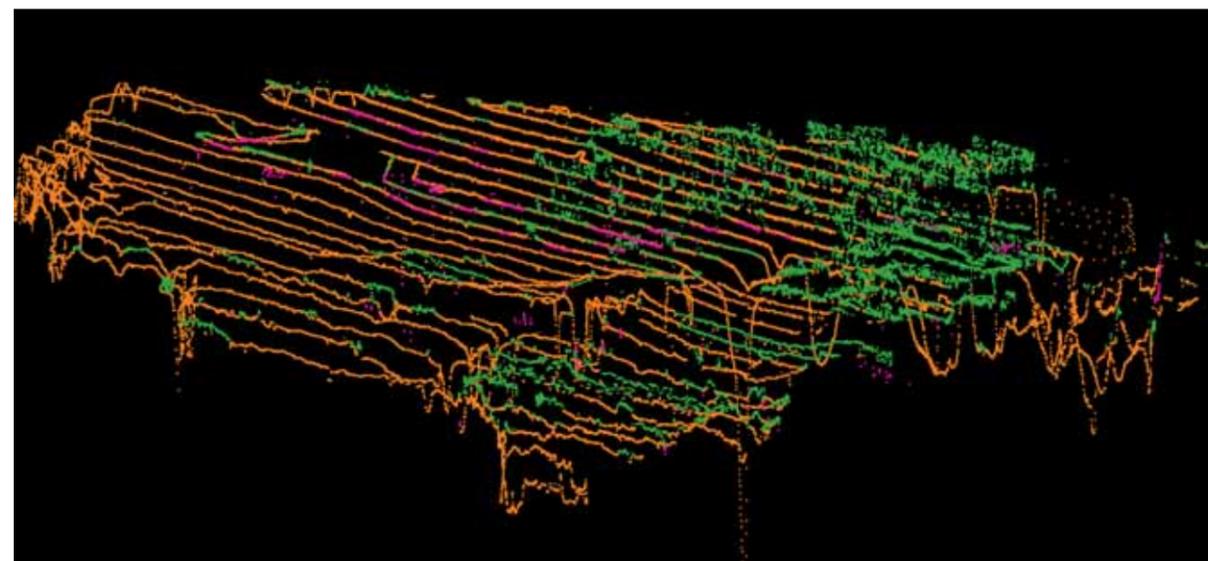
In virtù della maglia di acquisizione a 150 metri, è stata creata, nelle piane di marea, una maglia regolare di punti di passo 900 metri. Nei punti di controllo in corrispondenza dei punti batimetrici è stata eseguita la misura delle profondità tramite un'asta graduata dotata di tubo di calma (fig. 20).

Per poter esser certi di misurare nello stesso punto del rilievo, si è utilizzato un sistema di posizionamento differenziale RTK con correzione in tempo reale mediante protocollo Ntrip, ricevendo i dati di correzione dalla rete regionale "A. Marussi" tramite un modem GSM.

Il tubo di calma di cui è stata dotata l'asta di misura ha permesso di evitare l'incertezza di lettura in caso di moto ondoso o in presenza di corrente. L'antenna GPS è stata posizionata in cima all'asta.

Per poter posizionare l'asta nel punto di misura rimanendo fermi per il tempo necessario all'operazione, si è utilizzata

19. Esempio di filtraggio dati: in arancione i dati validi, in verde la vegetazione e in viola i dati anomali.





20. Operazioni di validazione.

un'imbarcazione leggera, laddove non si è scesi direttamente in acqua. Anche in questo caso il valore della misura è stato corretto per l'effetto di marea, prendendo come riferimento il mareografo più prossimo all'area di misura. Per ogni punto è stata calcolata la differenza tra la misura di controllo e la misura batimetrica dell'ecoscandaglio.

I risultati sono stati divisi in varie aree determinandone la media delle differenze e gli scarti quadratici medi.

La differenza complessiva, determinata dalla media dei 106 punti di validazione rilevati, è risultata pari a -1 centimetro con uno scarto quadratico medio di 7 centimetri.

RILIEVI MULTIBEAM DEI CANALI NAVIGABILI

I rilievi dei canali navigabili sono stati effettuati dall'OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale con la collaborazione dell'Autorità di bacino regionale, mediante tecnologia *multibeam*, la quale consente di descrivere la superficie del fondale con una nuvola di punti, distanziati di 5 centimetri circa.

È stato eseguito il rilievo di 120 chilometri circa di canali, da Primero fino a Lignano e lungo i canali principali.

Oltre ai canali facenti parte dell'Idrovia Litoranea Veneta, sono stati acquisiti anche alcuni canali secondari, come lo Sdrettolo, il Canale di San Giuliano e il Canale Botuli. Per il Canale di Morgo e per una tratta del Canale dei Cavegi si sono utilizzati, in quanto disponibili, i rilievi *multibeam* effettuati dall'International Maritime Organization nel 2003.

GENERALITÀ SUI SISTEMI MULTIBEAM

Il *multibeam* rappresenta attualmente lo strumento tecnologicamente più avanzato per indagini batimetriche ad alta risoluzione. Le piccole dimensioni ed il peso contenuto lo rendono

no un sistema portatile e facile da installare consentendo il suo utilizzo sia a bordo di mezzi navali che su sistemi robotizzati di superficie e sottomarini.

L'ecoscandaglio multifascio rappresenta l'evoluzione a livello tecnico ed applicativo dell'ecoscandaglio a fascio singolo.

Tramite l'utilizzo di più trasduttori, lo strumento è in grado di emettere e rilevare contemporaneamente un numero consistente di fasci acustici, restituendo il valore batimetrico di un'area variamente estesa.

In un unico *ping* (o impulso acustico), vengono generati contemporaneamente un numero variabile di *beams* ad alta risoluzione, distribuiti in un settore circolare ad angolo fisso, che "spazza" il fondale ricoprendo un'area ampia da 2 a 15 volte il valore di profondità.

Le frequenze utilizzate sono elevate, generalmente comprese tra 50 e 455 kHz, scelte a seconda delle profondità da indagare: un *multibeam* da 50 kHz è infatti in grado di investigare il fondale con profondità comprese tra 50-3000 metri (talora anche inferiori in condizioni non ottimali), mentre un Ecoscandaglio che utilizza una frequenza di 455 kHz e 240 *beams*, riesce ad avere una risoluzione verticale in profondità di 6 mm, rilevando in modo soddisfacente fino a 120 metri circa di profondità.

Le caratteristiche e potenzialità di tale tipologia di strumento hanno, dunque, consentito di velocizzare e migliorare notevolmente il rilevamento del dato batimetrico, consentendo una più veloce produzione cartografica.

IL SISTEMA MULTIBEAM RESON SEABAT 8125

Le varie fasi del processo di acquisizione del dato morfo-batimetrico dei canali della Laguna di Marano e Grado sono state realizzate con il sistema Reson Sea Bat 8125 Ultra High Resolution.

Per quanto riguarda la posizione dello strumento, l'utilizzo di un sistema GPS con correzione differenziale DGPS High Precision ha fornito un dato estremamente preciso.

La quota è stata calcolata applicando ai dati batimetrici acquisiti, in fase di processing, il valore delle variazioni di marea (registrazioni di marea realizzate con mareometro della rete dell'Autorità di bacino regionale).

PARAMETRI GEODETICI

Durante l'acquisizione sono stati scelti i seguenti parametri geodetici, per conformità con i dati trasmessi dal sistema di posizionamento DGPS High precision.

Parametri di acquisizione	
Ellissoide	WGS84
Proiezione	UTM33



21. Fase di acquisizione dati in modalità singlebeam.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA PER IL RILIEVO MULTIBEAM

Di seguito viene descritta la strumentazione impiegata nell'ambito della caratterizzazione batimetrico-morfologica dei canali della Laguna di Marano e Grado:

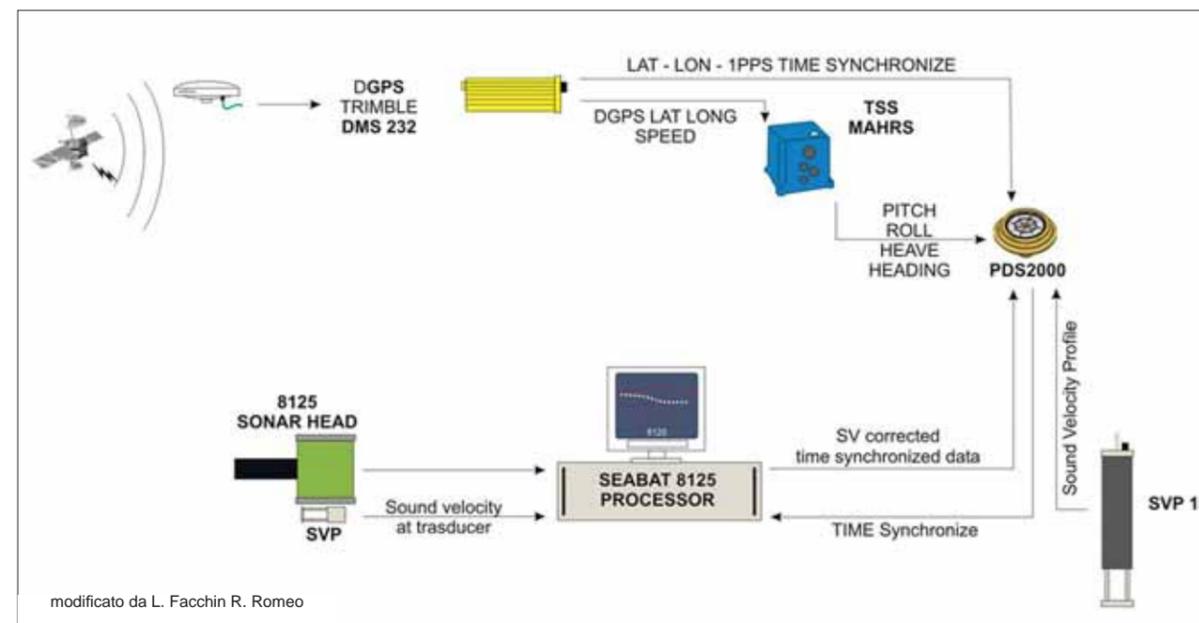
- sistema di navigazione Reson PDS2000;
- sistema di processing Reson PDS2000;
- sistema Trimble DSM 232 GPS receiver;
- ecoscandaglio multibeam Reson Sea Bat 8125;
- unità inerziale TSS MAHRS (Meridian Attitude & Heading Reference System);
- due sonde di velocità: Reson SVP 15 e SVP-C/110;
- Generatore Honda 2 KW.

SOFTWARE DI NAVIGAZIONE, ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE

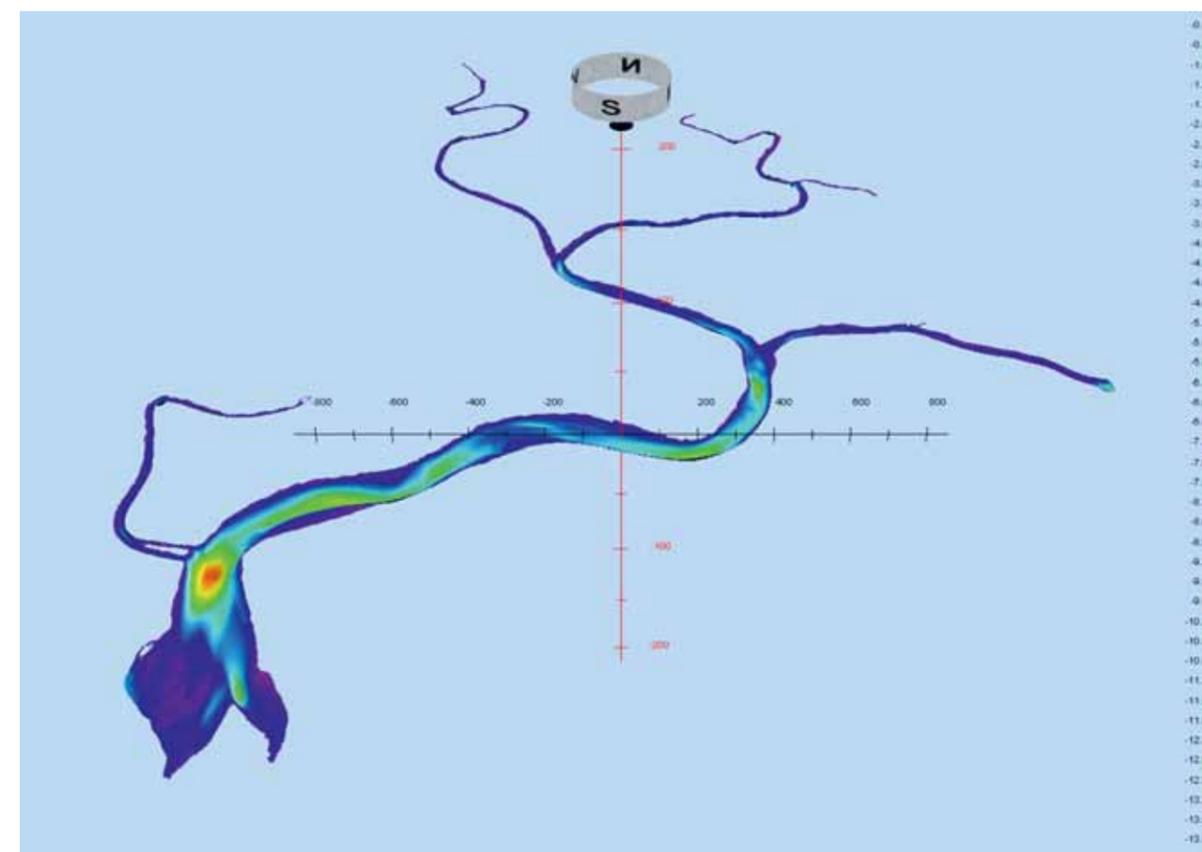
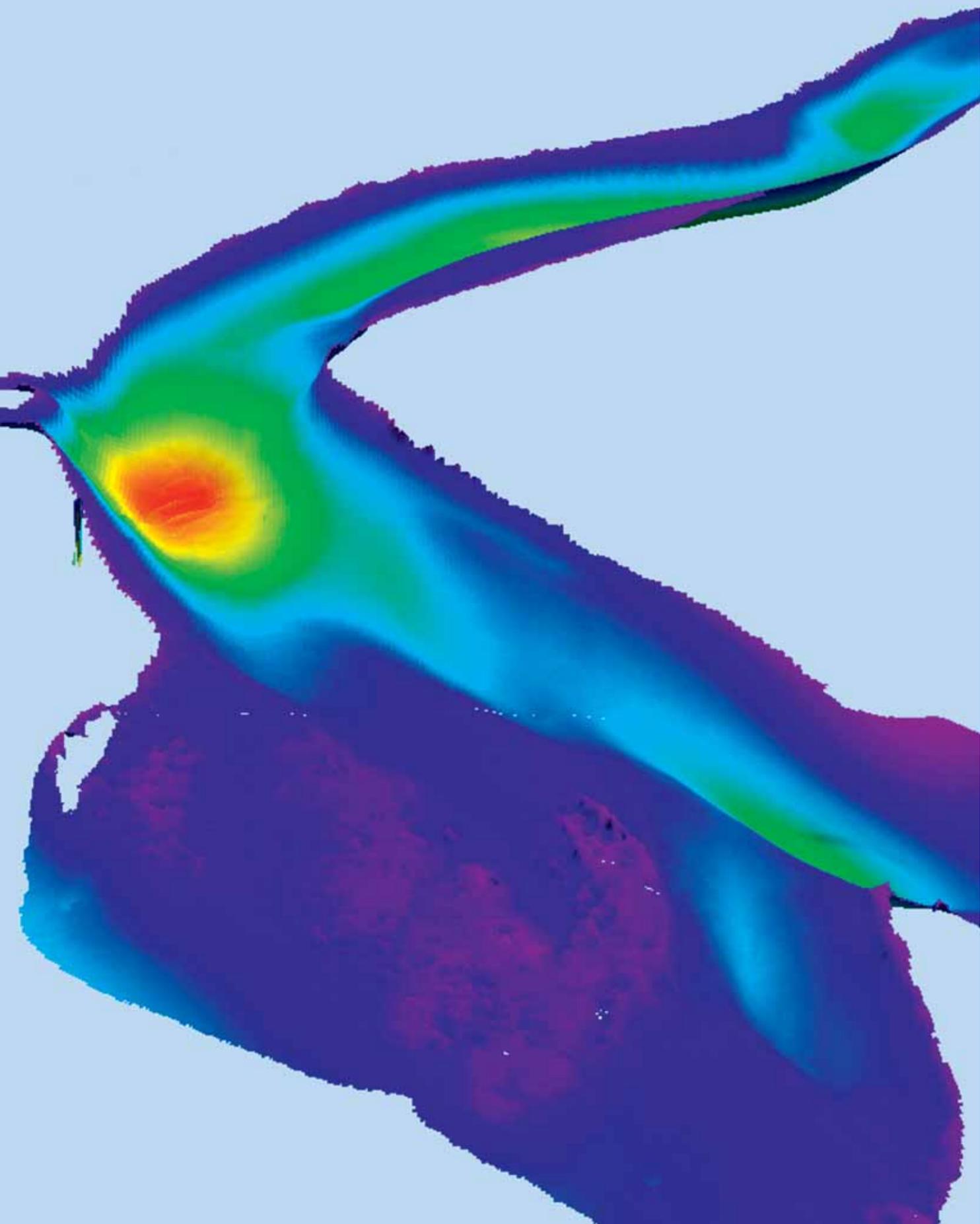
Per la navigazione è stato utilizzato il software PDS 2000, creato dalla Reson e finalizzato all'acquisizione di dati geofisici *multibeam* in ambiente marino. Prima di iniziare la fase di acquisizione è stato realizzato un database che comprende tutti gli strumenti ed i parametri che interessano la prospezione marina progettata (fig. 22).

Anche per l'acquisizione e la gestione di tutti i dati derivanti dalla strumentazione impiegata (sistema Trimble DSM 232 GPS, multibeam Reson Sea Bat 8125, unità inerziale TSS MAHRS e sonde di velocità Reson SVP 15 e SVP-C/110) è stato utilizzato il software PDS 2000.

22. Schema a blocchi relativo al sistema di acquisizione utilizzato.



modificato da L. Facchin R. Romeo



23 e 24. Rappresentazioni 3D e 2D dei dati morfobatimetrici multibeam acquisiti lungo il Canale dello Sdrettolo in Laguna di Grado.

Questo software è in grado di applicare ai dati *multibeam* correzioni in tempo reale calcolate dai profili di velocità, dal sensore di movimento, dal DGPS e da eventuali filtri.

Per il computo dei valori di "pitch" e "roll", si è reso necessario inserire una forma geometrica dell'imbarcazione che tenga conto di tutti gli "offsets" fra gli strumenti con la maggior precisione possibile.

Questo ha permesso di valutare la corretta e precisa posizione del trasduttore *multibeam* rispetto all'antenna del DGPS e del sensore di movimento ed, infine, di calcolare gli spostamenti dovuti alle oscillazioni del mezzo nautico.

Il software contiene inoltre un modulo "patch test" che permette di calcolare, in modalità semi-automatica, i valori di calibrazione da applicare ai dati acquisiti, per compensare gli errori di allineamento riconducibili alla fase di montaggio della strumentazione.

L'applicazione ammette inoltre la visualizzazione dei dati in modalità spaziali differenti (in 3D ed in 2D, vedi fig. 23 e 24), inclusa la modalità di volo e la produzione video.

Fra le funzionalità più utili ad una migliore interpretazione del dato batimetrico acquisito risulta sicuramente quella che permette di modificare i dati della nuvola di punti in modalità tridimensionale. I DTM ottenuti dall'elaborazione definitiva del dato batimetrico possono essere infine esportati in formati differenti per permettere la loro visualizzazione con diverse applicazioni.

CALIBRAZIONE

Dopo la fase di installazione dello strumento a bordo dell'imbarcazione è stato necessario eseguire una procedura di "calibrazione" per correggere eventuali errori statici di allineamento fra i vari strumenti.

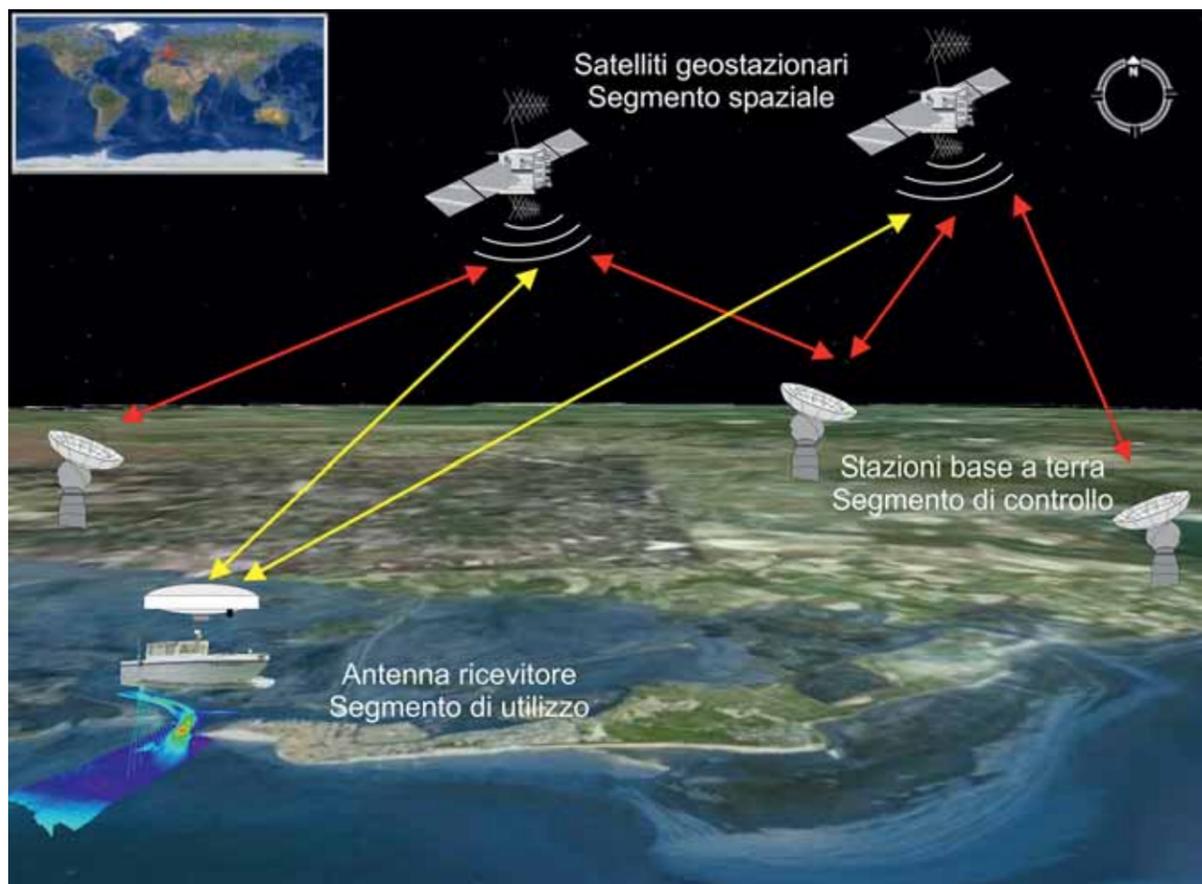
Gli errori principali che si possono commettere sono di tre tipi: pitch (beccheggio), roll (rollio), e yaw (imbardata).

Per valutare tali angoli di scostamento del proiettore dalla verticale viene seguita una procedura standard che consiste nell'acquisire alcune linee rispettando una geometria prestabilita. Viene calcolato anche un delay temporale strumentale ("time"). Questo è dato dalla sommatoria dei ritardi causati dai tempi di calcolo di ogni singolo dispositivo elettronico inserito nella catena di acquisizione e si estrinseca in un ritardo in fase di ricezione del dato grezzo.

SENSORE DI MOVIMENTO

In un rilievo *multibeam* è di fondamentale importanza conoscere l'orientazione spaziale dello strumento (roll, pitch e heading) durante la navigazione lungo le linee di rilievo ed in particolare al momento dell'emissione dell'impulso e della ricezione dell'eco.

Questi dati vengono forniti da un sensore di movimento con bussola integrata che è stato montato sull'imbarcazione e che,



25. Rappresentazione schematica del sistema di posizionamento DGPS utilizzato per il rilievo: Segmento spaziale; Segmento di controllo; Segmento di utilizzo.

quindi, è risultato solidale con il trasduttore. Il dato di heading è fornito da una bussola interna, mentre i valori di "pitch" e "roll" sono calcolati sulla base delle accelerazioni subite dallo strumento.

SISTEMA DI POSIZIONAMENTO

Il sistema di posizionamento utilizzato per le batimetrie dei canali della Laguna di Marano e Grado è rappresentato da un ricevitore DGPS Trimble DSM 232 con abbonamento OMNISTAR HIGH PRECISION (fig. 25 e 26).

In questo caso la rete di gestione del sistema possiede numerose stazioni a terra che comunicano con il centro di controllo. Da qui vengono inviati i dati ad una rete di satelliti geostazionari in grado di rimandarli direttamente all'antenna DGPS dell'utilizzatore.

Il ricevitore DGPS riceve quindi il messaggio di correzione direttamente via satellite, senza la necessità di allestire una base fissa a terra su caposaldo noto, come prevedono le tradizionali stazioni RTK Master/Rover.

SONDE DI VELOCITÀ

Il dato che interessa maggiormente la propagazione dell'impulso all'interno della colonna d'acqua è la velocità di propaga-

zione del suono. Questo parametro è stato determinato con maggior precisione possibile per tutta la colonna d'acqua, in modo da verificare l'eventuale presenza di stratificazioni con diverse caratteristiche di propagazione del suono.

Nell'ambito di questa campagna di rilievi sono state utilizzate simultaneamente due sonde: una Reson SVP-C/110 montata vicino al trasduttore, per conoscere la rifrazione al passaggio trasduttore-acqua, e una sonda SVP 15, per caratterizzare l'intera colonna d'acqua.

Durante l'acquisizione sono stati realizzati almeno due profili di velocità al giorno.

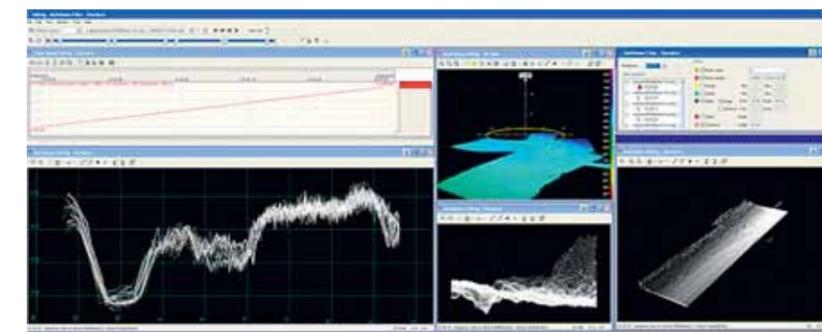
PROCESSING DEI DATI MULTIBEAM

L'elaborazione dei dati batimetrici acquisiti può essere riassunta in tre fasi principali. La prima, consiste nel ricalcolare i parametri di taratura "pitch", "roll", "yaw" e "time" già calcolati durante la campagna di acquisizione ma con maggior precisione.

A tal fine sono state utilizzate le linee di taratura appositamente acquisite all'inizio ed alla fine di ogni giornata di acquisizione. I nuovi valori sono stati applicati, in sostituzione ai vecchi applicati sul rilievo preliminare, su tutte le linee registrate.



26. Sistema DGPS Trimble DSM 232 utilizzato.



27. Verifica della qualità dei dati acquisiti utilizzando aree di sovrapposizione fra diverse linee.

La seconda fase del *processing* ha previsto la correzione di marea, eseguita applicando i valori di escursione del livello del mare riferito allo zero di riferimento dei mareografi della Rete mareografica dell'Autorità di bacino e posti nelle immediate vicinanze all'area di interesse.

Al termine delle precedenti fasi, i dati sono stati depurati da eventuali strutture fittizie determinate da false riflessioni attraverso l'utilizzo del modulo *processing-editing* che permette, con procedure automatiche e semiautomatiche, l'applicazione di filtri statistici e areali.

Tutti i dati considerati non reali ed individuati osservando singolarmente tutti i profili, sono stati poi eliminati manualmente. Questo è il passaggio più impegnativo che ha richiesto una costante attenzione da parte dell'operatore.

Al termine della "pulizia", è stato necessario verificare la correttezza dei dati, utilizzando le aree dove vi sia stata sovrapposizione fra linee acquisite (fig. 27).

RESTITUZIONE DEI DATI MORFOBATIMETRICI

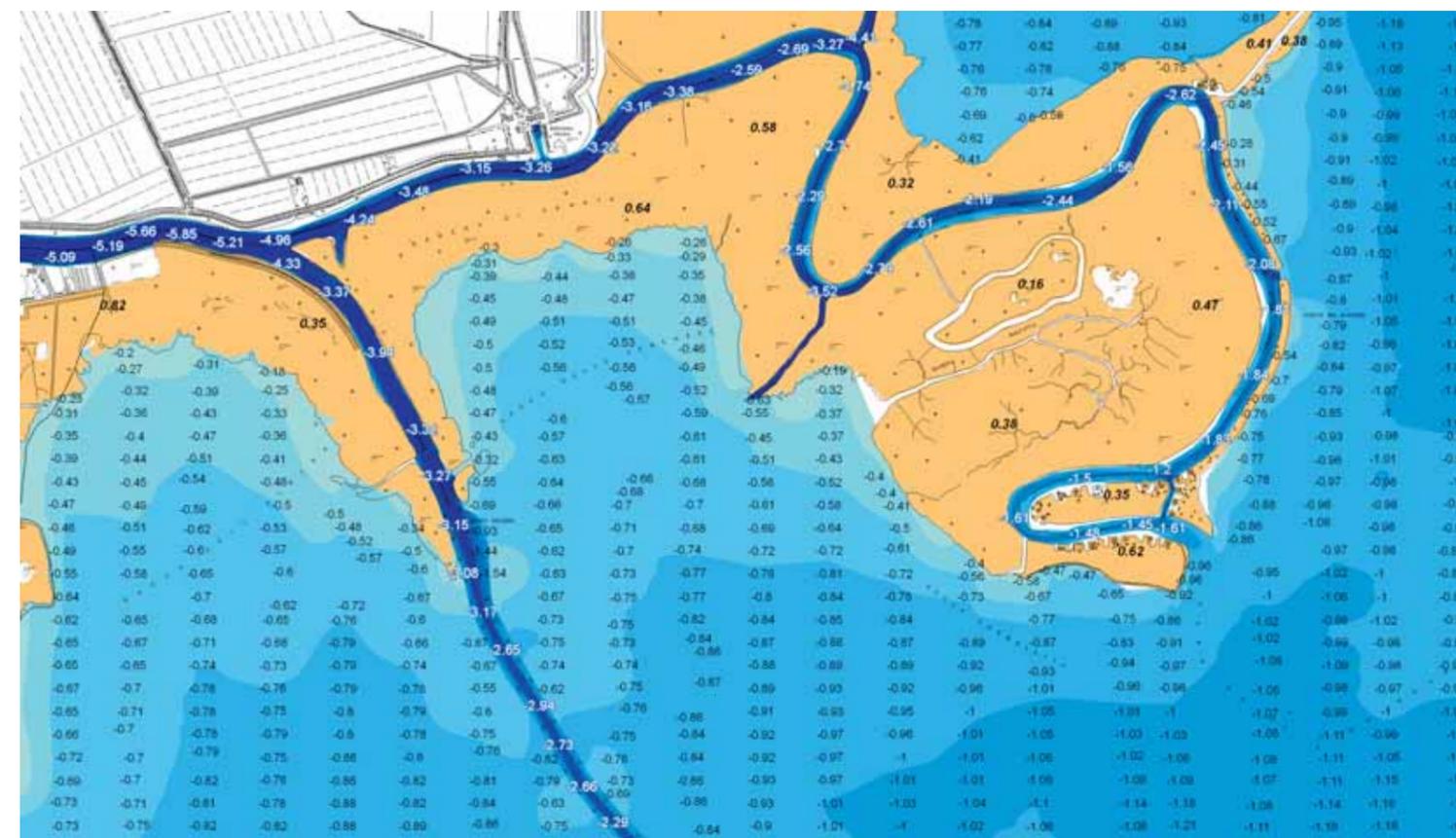
Al termine delle operazioni di *processing* è stato possibile ottenere dati corretti dal punto di vista planimetrico ed altimetrico. La quota di riferimento è riferita ai mareografi della rete mareografica dell'Autorità di bacino regionale.

Questi dati sono rappresentati da coordinate XYZ, dove X corrisponde alla longitudine, Y alla latitudine e Z alla quota.

Per le coordinate chilometriche X e Y, si è utilizzata una proiezione Universale Trasversa di Mercatore (UTM) fuso 33, Ellissoide WGS84 ed anche Gauss-Boaga, fuso Est, ROMA 40.

Le quote sono espresse in metri e sono negative se al di sotto del livello zero. I dati costituiscono una nuvola di punti con una densità elevata e pari alle dimensioni della cella definita in fase di progetto (0.2 x 0.2 metri e 0.5 x 0.5 metri) ottenuti mediando tutti i punti che ricadono all'interno della stessa cella.

28. Particolare della tavola 1 allegata in scala 1:10.000.





29. Esempio di elaborazione: in verde il rilievo multibeam, in rosso e rosso scuro i dati singlebeam e gli assi canale, isobate ausiliarie in giallo.



30. GRID finale risultato dall'elaborazione degli elementi riportati in figura 29.

ELABORAZIONE DEL MODELLO BATIMETRICO DIGITALE

I dati acquisiti nel corso delle campagne di misure hanno permesso di ottenere un modello digitale batimetrico delle piane lagunari (DBM - *Digital Bathymetric Model*), che descrive in modo dettagliato le caratteristiche morfologiche della laguna.

Poiché le brusche variazioni del fondale, in corrispondenza dei canali, possono generare, in fase di elaborazione, errate interpretazioni della morfologia, si è scelto di elaborare separatamente i canali e le piane di marea tidali.

Per effettuare l'elaborazione dei dati sono state predisposte maschere di calcolo rappresentanti i canali e le singole aree di basso fondale e si è proceduto all'elaborazione in maniera separata.

Su ogni area di calcolo, è stato creato un modello triangolare a maglia irregolare (TIN). Tale metodo di interpolazione lineare viene preferito perché è "preciso", ovvero mantiene i nodi in corrispondenza dei dati batimetrici originali. Inoltre, all'aumentare del numero dei punti, è possibile aumentare il dettaglio del modello.

Tuttavia, il tipo di elaborazione necessita di *input* da parte di operatori esperti per ottenere un modello batimetrico il più possibile vicino alla realtà. Sulla base dell'esperienza di quanto già effettuato per la Laguna di Venezia (Sarretta et al., 2010) l'operatore ha provveduto a costruire gli ausili geometrici lineari per coadiuvare l'algoritmo di interpolazione nella costruzione del modello digitale. Per quanto riguarda le piane sono state

costruite isobate per guidare il modello, utilizzando anche foto aeree per capire l'andamento del fondale in zone mancanti di dati batimetrici (figure 29 e 30).

Elementi lineari sono stati creati anche per elaborare i canali. La tecnologia *multibeam* consente, infatti, la produzione di modelli digitali molto dettagliati grazie all'elevata densità di punti rilevati. Tuttavia, spesso rimane scoperta una fascia di canale più esterna, quella in cui si realizza l'interfaccia morfologica con le piane. Pertanto, per elaborare il modello dei canali, i dati *multibeam*, laddove disponibili, sono stati integrati con i dati *singlebeam* provenienti dai transetti nord-sud.

I canali secondari, per cui non sono stati eseguiti rilievi *multibeam*, sono stati elaborati a partire dai dati *singlebeam*. Per mantenere la continuità della morfologia del canale sono stati prodotti degli "assi", collegando i punti a massima profondità con una polilinea 3D. In alcuni casi, per assicurare una corretta transizione tra piana e canale sono state prodotte delle isobate.

Sia per le piane che per i canali, le isole e le barene sono state inserite nell'algoritmo come aree emerse, forzando il modello a chiudersi alla quota zero.

Una volta controllati e validati, i singoli modelli TIN sono stati trasformati in GRID a maglia quadrata con passo di un metro sul quale poi poter effettuare l'analisi geomorfologica e studi sull'evoluzione dei fondali.

I *grid* delle piane sono stati quindi "lisciati" per rendere più naturale l'andamento delle curve batimetriche, che risultavano troppo spigolose a causa del tipo di interpolazione utilizzato e della distribuzione dei dati batimetrici. È stato applicato un algoritmo a media mobile con un passo di 10x100 metri.

Effettuando una mosaicatura di tutte le zone elaborate, è stato ottenuto un modello digitale unico, con passo di un metro, che rappresenta l'andamento batimetrico di tutta la Laguna aggiornato al 2011.

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO "CARTA"

Il piano di lavoro che ha portato alla stesura della Carta batimetrica della Laguna è stato strutturato in un progetto di rappresentazione geografica in ambiente ESRI ArcGis.

I dati acquisiti nel corso delle campagne di misure hanno permesso di ottenere un modello digitale batimetrico dei fondali lagunari (DBM), che descrive le caratteristiche morfologiche della Laguna e dei canali lagunari aggiornate al 2011 con un dettaglio ed una precisione sufficienti alla rappresentazione alla scala 1:10.000.

Pertanto sono state predisposte per la stampa cinque tavole: una corografia in scala 1:25.000 e quattro tavole di dettaglio in scala 1:10.000.

La tavola al 25.000 rappresenta tutta la superficie lagunare. Essa riporta la batimetria in scala di colori, le barene aggiornate al 2006 e le isole e valli da pesca. Come base cartografica si è scelto di utilizzare la Carta Regionale Numerica della Regione Friuli Venezia Giulia alla scala 1:25.000, edita nel 2006.

Le tavole di dettaglio al 10.000 suddividono il territorio lagunare nel modo seguente: la tavola 1 copre il bacino di Lignano, la tavola 2 copre la porzione ricompresa tra la bocca di Sant'Andrea e Porto Buso, la tavola 3 quella tra Morgo e la bocca di Grado, la tavola 4 la porzione tra la bocca di Grado e Primero.

La cartografia di base è rappresentata dalla Carta Tecnica Regionale Numerica edizione 2003, aggiornamento 2007.

Le tavole al 10.000 riportano le barene 2006, isole e valli da pesca, le batimetrie in scala di colori, le quote batimetriche e alcune quote sulle barene (fig. 28).

I punti batimetrici sono stati estratti lungo i transetti originali con un passo di 50 metri. Essi rappresentano, quindi, il reale valore misurato in quel punto.

Sui canali si è provveduto ad estrarre la quota a partire dal modello digitale creato, riportando il punto più profondo e, compatibilmente con le dimensioni del canale, altre quote utili. Per i canali rilevati con il *multibeam* la quota estratta corrisponde a quella misurata, data la densità elevata di punti.



31. Banco anfora: le nuove barene di retro barriera.

Il perimetro delle barene è stato ricavato dal Dipartimento di Geoscienze, per conto dell'ARPA del Friuli Venezia Giulia, dalle Ortofoto digitali a colori, volo 2006, disponibili in consultazione presso il Portale Cartografico Nazionale del Ministero dell'Ambiente (Fontolan et al., 2010).

Su questi fotogrammi è stata eseguita la digitalizzazione delle barene, partendo dal riconoscimento visivo delle stesse, effettuato sulla base di criteri morfologici e vegetazionali. Tra gli elementi identificativi sono stati considerati l'emersione (se non in condizioni di alta marea sizigiale), accompagnata dalla presenza di alcune tipologie di copertura vegetale, individuate anche grazie alla cartografia del Manuale degli habitat del Friuli Venezia Giulia (Poldini et al., 2006) e ad una serie di sopralluoghi.

Le quote delle barene, riportate sulle tavole al 10.000, sono state ottenute dai dati LIDAR di proprietà della Protezione Civile della Regione Friuli Venezia Giulia, che li ha gentilmente concessi. Tali dati sono stati ricavati a partire dalla nuvola di punti Model Key Point, sulla quale è stato creato un modello digitale del terreno con passo di 1 metro. Da qui sono state estratte alcune quote da riportare sulla Carta.

CONCLUSIONI

Il rilievo batimetrico della Laguna di Marano e Grado rappresenta un nuovo punto di partenza per la conoscenza e le applicazioni gestionali di questo delicato e complesso ecosistema.

Tale progetto ha contribuito a fornire alcune risposte, cogliendo importanti obiettivi, quali l'aggiornamento della topografia delle piane e dei canali, la definizione di una base cartografica di riferimento per la realizzazione e/o la progressiva ottimizzazione dei sistemi di monitoraggio morfologico dell'ecosistema in esame e, non ultimo, il consolidamento, grazie ad un accurato protocollo di indagine condiviso ed un lavoro multidisciplinare, di una sinergia tra diverse realtà a diverso titolo coinvolte nello studio della Laguna.

A due anni di distanza dalle prime acquisizioni organiche, il risultato si configura consono alle previsioni, grazie al costante impegno ed alla complementarietà tecnico-scientifica ed organizzativa dei gruppi coinvolti nel progetto.

L'interazione tra il personale atto all'acquisizione dei dati ed il gruppo di lavoro preposto alla validazione ed elaborazione degli stessi si è concretizzata in azioni coordinate rivolte alla cura del dato e alla precisione della misura.

In corso d'opera, mentre lentamente il modello digitale prendeva forma, si è deciso di impostare la veste grafica in modo tale da poter contemperare le diverse esigenze, rappresentando il territorio lagunare anche in piccola scala, cogliendo i dettagli morfologici e valorizzando le preziose quote batimetriche sulle piane che, quasi interamente acquisite a "remi", costituiscono una banca dati di valore unico e dalle potenzialità sicuramente rilevanti.

Le potenzialità del prodotto batimetrico sono considerevoli e le prospettive di utilizzazione molteplici.

Le conoscenze acquisite permetteranno, infatti, di effettuare la ricostruzione dell'equilibrio idrodinamico lagunare, attraverso un modello di circolazione idraulica, evidenziando eventuali criticità.

Grazie alla nuova Carta e all'unica precedente levata eseguita oltre 40 anni fa, anche per la Laguna di Marano e Grado, analogamente a quanto fatto per Venezia, potrà essere eseguito un confronto finalizzato alla definizione delle trasformazioni intervenute in quelle parti subacquee diversamente impossibili da monitorare.

Tale elaborazione non ha finalità speculative: la conoscenza, infatti, del bilancio dei sedimenti lagunari a scala di singolo

bacino, oltre a quella dell'intera Laguna, costituisce la pietra miliare su cui si basa tutta la politica di gestione ambientale di una realtà naturale così fragile.

In sintesi, con una carta batimetrica aggiornata si dispone di uno strumento necessario e basilare per una giusta programmazione, progettazione ed esecuzione degli interventi.

In conclusione, ci si può solo auspicare che nell'immediato futuro il lavoro effettuato possa essere ulteriormente valorizzato ed implementato con periodiche revisioni ed aggiornamenti, a dimostrazione della reale volontà e capacità di dar corso ad un progetto di collaborazione e condivisione di intenti e metodi tra tutti gli enti che a diverso titolo sono coinvolti nello studio e nella tutela dell'ambiente lagunare.

AGRICONSULTING, 2008 - *Bozza di Piano di gestione del SIC/ZPS IT3320037 Laguna di Marano e Grado*. Terzo rapporto intermedio. Relazione ad uso della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

ALBANI, A., FAVERO V., SERANDREI BARBERO, R., 1984 - Apparat intertidali ai margini di canali lagunari. Studio morfologico, micro paleontologico e sedimentologico. *Rapporti e Studi, Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti*, 9: 137-161.

BRAMBATI A., 1969 - Sedimentazione recente nelle Lagune di Marano e di Grado (Adriatico settentrionale). *Studi Trentini di Scienze Naturali*, 46 (1): 142-239.

BRAMBATI A., 1970 - Provenienza, trasporto e accumulo dei sedimenti recenti nelle lagune di Marano e di Grado e nei litorali tra i fiumi Isonzo e Tagliamento. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 9: 281-329.

BRAMBATI A., 1971 - L'isola di Sant'Andrea (Laguna di Marano): situazione geologica e proposte di intervento. *Atti, Secondo Convegno Nazionale di Studi sui Problemi della Geologia Applicata*, Genova 24-26 settembre 1971: 1-18.

BRAMBATI A., 1987 - *Studio sedimentologico e marittimo costiero dei litorali del Friuli Venezia Giulia, ipotesi di intervento per il recupero ambientale e la valorizzazione della fascia costiera*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Regionale dei Lavori Pubblici, Servizio dell'Idraulica, Trieste.

BRAMBATI A., 1996 - *Metalli pesanti nelle lagune di Marano e Grado: piano di studi finalizzato all'accertamento della presenza di eventuali sostanze tossiche persistenti nel bacino lagunare di Marano e Grado ed al suo risanamento*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione dell'Ambiente - Servizio dell'Idraulica, Trieste.

BRAMBATI A., DE MURO S., MAROCCO R., SELIVANOV A., 1998 - Barrier island evolution in relation to sea-level changes: the example of Grado Lagoon (Northern Adriatic Sea, Italy). *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 39 (2): 145-161.

BRAMBATI A., FONDA UMANI S., OLIVOTTI R., OREL G., PERCO F., SPECCHI M., 1988 - Principi e proposte di gestione di ambienti lagunari alto-adriatici: la Laguna di Grado e Marano. In: *Le lagune costiere: ricerca e gestione* (A cura di Carrada G. C., Cicogna F., Fresi E.), CLEM, Massa Lubrense (NA): 157-190.

CONSORZIO INSIEME (a cura di), 2004 - *Acque antiche: il percorso della Litoranea Veneta. Acque antiche: potek vodne poti litoranee Venete. Ancient water ways: the route of the Venetian coast line*. Mazzanti Editori, Venezia.

COSOLO M., UTMAR P., ROPPA F., SPONZA S., 2006 - Ruolo ecologico delle zone umide costiere del Friuli Venezia Giulia per l'avifauna acquatica: l'importanza delle zone soggette a marea e delle valli arginate. *Workshop Linee guida e casi di studio per la gestione dei siti della rete Natura 2000 in ambienti di transizione*, Grado (GO) 7-8 giugno 2006, Edizioni Università di Trieste: 197-212.

DORIGO L., 1965 - *La laguna di Grado e le sue foci. Ricerche e rilievi idrografici*. Magistrato delle Acque - Ufficio Idrografico, Venezia, Pubbl. n. 155.

DORIGO L., 1966 - *La carta idrografica della laguna di Grado e Marano*. Magistrato delle Acque - Ufficio Idrografico, Venezia.

FACHIN G., 2008 - *Trasformazioni territoriali ed aspetti fisici di adattamento dell'ecosistema naturale delle lagune di Grado e Marano conseguenti all'innalzamento del livello marino*. Tesi di laurea inedita, Università degli Studi di Trieste.

FERLA M., CORDELLA M., MICHIELLI L., RUSCONI A., 2008 - Analisi delle variazioni di lungo periodo del livello del mare dell'area nord adriatica e del regime di marea nelle lagune di Venezia e di Marano - Grado. *L'Acqua*, 5/2008: 65-76.

FONTANA, A., 2006 - *Evoluzione geomorfologica della bassa pianura friulana e sue relazioni con le dinamiche insediative antiche*. Monografie Museo Friulano Storia Naturale, Udine, 47.

FONTOLAN G., BEZZI A., FACHIN G., PILLON S., 2010 - *Le trasformazioni ambientali della Laguna di Grado e Marano*. Rapporto Tecnico, Dipartimento di Geoscienze Trieste, Arpa FVG.

FONTOLAN G., PILLON S., FACHIN G., 2009 - Multidecadal salt marsh evolution in the northern Adriatic lagoons, Italy: erosional styles and morphological adaptation to transgressive forcings. *Il Workshop Vector*, Roma 25-26 Febbraio 2009, <http://vector-conisma.geo.unimib.it/files/11%20workshop/orali/Fontolan.pdf>.

FONTOLAN G., QUAIA T., 1994 - Processes of selective sedimentation in the Marina Punta Faro harbour (northern Adriatic Sea, Italy). In *Proceedings of 2nd International Symposium "Littoral 94", A multi-disciplinary symposium on coastal zone research-management and planning Europe and Mediterranean*, Lisbon, 26-29 Sept. 1994, vol.1: 533-547.

GATTO F. e MAROCCO R., 1992 - Caratteri morfologici ed antropici della Laguna di Grado (Alto Adriatico). *Gortania - Atti del Museo Friulano di Storia Naturale*, 14: 19-42.

LIBERIO, N., 1990. Studio sulla situazione altimetrica della zona compresa tra Latisana, Cervignano, Ronchi, Punta Sdobba, Grado, Porto Buso, Punta Tagliamento con la costituzione di nuovi caposalda. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione dell'Ambiente, Trieste.

MAROCCO R., 1988 - Considerazioni sedimentologiche sui sondaggio S19 e S20 (Delta del Fiume Tagliamento). *Gortania - Atti del Museo Friulano di Storia Naturale*, 10: 101-120.

MAROCCO R., 1989 - Evoluzione quaternaria della laguna di Marano (Friuli-Venezia Giulia). *Il Quaternario*, 2 (2): 125-137.

MAROCCO R., 1991 - Evoluzione tardopleistocenica-olocenica del delta del F. Tagliamento e delle Lagune di Marano e Grado (Golfo di Trieste). *Il Quaternario*, 4 (1b): 223-232.

MAROCCO R., 1995 - Sediment distribution and dispersal in northern Adriatic lagoons (Marano and Grado paralic system). *Giornale di Geologia*, 57 (1-2): 77-89.

MAROCCO R. e PESSINA M., 1995 - Il rischio litorale nell'area circumlagunare del Friuli-Venezia Giulia, *Gortania - Atti del Museo Friulano di Storia Naturale*, 17: 5-35.

MAROCCO R., PUGLIESE N., STOLFA D., 1984 - Some remarks on the origin and evolution of the Grado Lagoon (Northern Adriatic Sea). *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata*, 2 (1): 11-17.

MOSETTI F., 1983 - *Sintesi sull'idrologia del Friuli - Venezia Giulia*. Quaderni dell'Ente Tutela Pesca, Udine, Vol. 6.

MATTASSI G., ROSSIN P., GIACOMICH P., 2006 - Lagune di Grado e di Marano. Quadro sinottico e problematiche relative all'applicazione della WFD 2000/60. *Atti del Workshop Linee guida per la gestione dei siti della Rete Natura 2000 in ambienti di transizione*. INTERREG III B CADSES, Grado 2006.

POLDINI L., ORIOLO G., VIDALI M., TOMASELLA M., STOCH F., OREL G., 2006 - *Manuale degli habitat del Friuli Venezia Giulia. Strumento a supporto della valutazione d'impatto ambientale (VIA), ambientale strategica (VAS) e d'incidenza ecologica (VIEc)*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direz. Centrale Ambiente e Lavori Pubblici - Servizio valutazione impatto ambientale, Univ. Studi Trieste - Dipart. Biologia.

POLLI S., 1961 - *La propagazione della marea nel golfo di Venezia*. Rapporti preliminari della Comm. di Studio per la Conservazione della Laguna e della Città di Venezia, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Venezia vol.1.

PROTEZIONE CIVILE e REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, 2005 - *Indagine sullo stato degli argini della bassa pianura tra le foci del Tagliamento e del Timavo, con particolare riferimento all'arco lagunare*. Trieste.

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, 1983 - *Progetto del piano di risanamento del bacino idrografico della Laguna di Marano e Grado*. Rapporto conclusivo. C.S.A.R.E., Trieste.

SARRETTA A., PILLON S., MOLINAROLI E., GUERZONI S., FONTOLAN G., 2010, Sediment budget in the Lagoon of Venice. *Continental Shelf Research*, 30 (8): 934-949.

SARTORI M., 1995 - *Caratteri morfodinamici e sedimentologici della bocca lagunare di S. Andrea (Laguna di Marano)*. Tesi di laurea inedita, Università degli Studi di Trieste.

SEGALA C., 1999 - *Morfodinamica sedimentaria ed aspetti evolutivi del sistema di bocca di S. Andrea - isola di Martignano*. Tesi di laurea inedita, Università degli studi di Venezia.

STEFANINI S., GERDOL S., STEFANELLI A., 1979 - *Studio per la definizione dei pericoli naturali nella regione Friuli Venezia Giulia (alluvioni, mareggiate, frane e valanghe)*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Assessorato dell'Agricoltura, Foreste, Economia Montana - Direzione Regionale Foreste, Udine.

STRAVISI F., 2003 - Caratteristiche meteorologiche e climatiche del Golfo di Trieste. In *Manuale del conduttore - motorista alla pesca locale professionale* (a cura di Bussani M.), Edizioni Hydrores, Trieste: 148-154.



Finito di stampare nel settembre 2011
da **Arti Grafiche Friulane / Imoco spa (Ud)**
