

GORTANIA - Atti Museo Friul. di Storia Nat.	25 (2003)	5-29	Udine, 30.VI.2004	ISSN: 0391-5859
---	-----------	------	-------------------	-----------------

E. GORDINI, S. CARESSA, R. MAROCCO

NUOVA CARTA MORFO-SEDIMENTOLOGICA DEL GOLFO DI TRIESTE (DA PUNTA TAGLIAMENTO ALLA FOCE DELL'ISONZO)*

NEW MORPHO-SEDIMENTOLOGICAL MAP OF TRIESTE GULF (FROM PUNTA TAGLIAMENTO TO ISONZO MOUTH)

Riassunto breve - Le conoscenze morfo-sedimentologiche acquisite recentemente sui fondali del Golfo di Trieste permettono di aggiornare le rappresentazioni tematiche esistenti, mettendo in evidenza le forme attive e passive, i depositi e quindi i processi legati essenzialmente al sistema TST che si è realizzato a seguito della trasgressione postglaciale. La carta, presentata in questo lavoro in forma ridotta, è stata redatta alla scala 1:50.000 in modo da fornire il supporto per la futura Carta Geologica del Golfo di Trieste.

Parole chiave: Cartografia geomorfologica, Tessitura dei sedimenti, Fondali marini, Golfo di Trieste.

Abstract - *Recent morpho-sedimentological analyses conducted on the sea floor of the Trieste Gulf allow the updating of existing thematic representations, highlighting active and passive forms, depositional features and then the sedimentary processes essentially linked to the TST system which occurred as a result of the postglacial transgression. The map, presented here is in a reduced format, has been drawn up in scale 1:50.000 in order to provide the basis for the future compilation of the Geologic Map of the Gulf of Trieste.*

Key words: *Geomorphologic map, Sediments texture, Sea floor, Gulf of Trieste.*

Introduzione

Sono trascorsi ormai circa 40 anni dalle prime carte morfologiche del Golfo di Trieste e circa 15 dalla Carta Sedimentologica dell'Adriatico Settentrionale. Queste rappresentazioni sintetiche degli aspetti più superficiali del fondale Alto Adriatico sono state rese possibili grazie ai lavori di MOSETTI (1966) e di ROSSI, MOSETTI, CESCO (1968) dell'O.G.S. di Trieste e, per quanto riguarda la caratterizzazione dei sedimenti, di BRAMBATI & VENZO (1967) dell'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università della stessa città. Dopo questi Autori, numerosi contributi scientifici sono stati prodotti nell'ambito del P.F. Oceanografia e Fondi Marini degli

* Lavoro eseguito nell'ambito del programma MURST 60 % (Tutela, gestione e ripristino ambientale delle zone costiere; responsabile R. Marocco).

anni '80 (COLANTONI et al., 1985). In quegli anni, soprattutto per le ricerche di STEFANON (iniziate nel 1967 e proseguite fino ai giorni nostri), molti elementi poco conosciuti del fondale marino sono stati messi a nudo soprattutto per quanto riguarda la presenza di affioramenti rocciosi di natura ed origine diversa, l'esistenza di campi di dune sottomarine, di gas nell'immediato sottosuolo, ecc. Si deve anche a quest'Autore la valutazione della possibilità teorica di mobilitazione dei fondali per eventi eccezionali, come realmente avviene in queste condizioni. Un quadro più aggiornato delle vicende geologiche di questo braccio di mare epicontinentale è stato tracciato solo recentemente da MAROCCO (1991), da TRINCARDI et al. (1994), CORREGGIARI et al. (1996) e da CATTANEO & TRINCARDI (1999). In questi lavori sono state messe in evidenza le variazioni delle linee di riva e le morfologie di fondo che derivano dalla trasgressione tardiglaciale che ha interessato in modo diverso tutto il bacino e, soprattutto, grazie ai contributi della stratigrafia sismica, le geometrie e la natura dei corpi sedimentari trasgressivi e regressivi e i loro rapporti con la subsidenza e l'eustatismo. Completano queste conoscenze gli ultimi studi di CARESSA et al. (2001) e di GORDINI et al. (2003) che hanno focalizzato l'attenzione sugli aspetti morfologici degli affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste e, in base alla stratigrafia del sottosuolo marino, sulla ricostruzione delle vicende che hanno interessato gli alti morfologici della Trezza Grande, una secca al largo di Lignano e Grado.

Segnatamente, nel golfo più settentrionale dell'Adriatico si riconosce una serie di corpi sedimentari, legati al sistema trasgressivo TST ("Trasgressive System Tract"), formatasi in seguito all'aumento del livello del mare nel tardo Pleistocene. Tale aumento è stato caratterizzato da periodi d'instabilità climatica, variazioni dei regimi oceanografici e degli input sedimentari costieri che hanno determinato la formazione degli apparati deltizi del paleo Tagliamento, sommersi poi dalla successiva trasgressione. Sotto questi corpi sedimentari che solo nel caso delle secche raggiungono potenze d'alcuni metri (mentre di norma sono inferiori al metro), s'identificano depositi di LST ("Lowstand System Tract"), costituiti da argille e sabbie d'origine alluvionale, con ricorrenti livelli di torba. Alla fine di questa generale fase trasgressiva, verso terra si è formato uno spesso cuneo sedimentario che testimonia il più alto livello di stazionamento raggiunto dal mare, HST ("Highestend System Tract").

Contrariamente a quanto si è realizzato nella costa romagnola (AMOROSI et al., 1999) il corpo sedimentario costiero e la rispettiva linea di "maximum flooding", che rappresenta l'acme della trasgressione, qui non si sono spinti oltre l'attuale linea di riva e si sono realizzati in tempi più brevi dei 5.000 anni, supposti dagli Autori.

La gran massa di dati raccolti da questi studi e soprattutto la loro interpretazione, notevolmente modificata rispetto alle prime ipotesi, permettono ora una visione d'insieme delle forme e dei depositi di questo mare che può essere restituita in una cartografia geologica

redatta in una scala adeguata. La visualizzazione delle caratteristiche del fondale è stata eseguita alla scala 1:50.000 e presentata in questo lavoro in forma ridotta. La scelta della scala è stata determinata dalla possibilità in un prossimo futuro di redigere una Carta Geologica del Golfo di Trieste, tenendo conto delle raccomandazioni del Servizio Geologico Nazionale e ottemperando a quell'obiettivo che da tempo i ricercatori della locale Università perseguono, in altre parole la rappresentazione cartografica omogenea, senza una distinzione tra terra e mare dell'intero territorio nazionale (acque nazionali e Zona Economica Esclusiva incluse). Da questo punto di vista, per quanto riguarda la parte costiera del golfo, anche se manca attualmente una cartografia geologica aggiornata, notevoli informazioni sulla morfologia e sui depositi litorali si possono trarre dall'Atlante delle Spiagge Italiane (Fogli: Foce del Tagliamento - Gorizia; scala 1:100.000), dalla Carta Geomorfologica della Pianura Padana (Foglio 3; scala 1:250.000) e dalla Carta Geomorfologica della Laguna di Grado (GATTO & MAROCCO, 1993; scala 1:25.000).

La finalità di questo lavoro è stata, quindi, la realizzazione di una nuova carta morfo-sedimentologica alla scala 1:50.000, della porzione di fondale marino che va dalla foce del F. Tagliamento a quella dell'Isonzo (Punta Sdobba), che tenga conto sia delle conoscenze fino ad oggi raggiunte e soprattutto dei nuovi dati sulle forme attive e passive del fondo marino, sia dei caratteri sedimentologici dei fondali, grazie anche ai risultati di campagne successive a quelle del 1986 che hanno portato ad un'integrazione della Carta Sedimentologica.

I nuovi rilievi batimetrici hanno comportato l'esecuzione di 487,4 km di profili di dettaglio (fig. 1) e la mappatura dei principali affioramenti rocciosi rinvenuti nell'area (ca. 250; Carta in allegato).

Area di studio

Il fondale marino oggetto del presente studio è situato nella parte più settentrionale dell'alto Adriatico ed è delimitato, a N, dalle coste basse e sabbiose che si estendono dal delta bilobato del F. Tagliamento fino a quello del F. Isonzo. Esse comprendono l'apparato deltizio del Tagliamento, i cordoni litorali e le numerose bocche delle Lagune di Marano e di Grado e, in fine, dai lidi del delta dell'Isonzo. Il limite meridionale dell'area indagata è costituito essenzialmente dalla linea di confine delle acque territoriali sloveno-croate. Quello occidentale è materializzato da un tracciato immaginario, perpendicolare alla costa (che rappresenta la delimitazione geografica del Golfo di Trieste) che si estende per 6 miglia dal delta tilaventino verso il mare aperto. Analogamente, il limite orientale è rappresentato dalla congiungente Punta Sdobba - inizio acque slovene, per una estensione di altre 6 miglia.

La superficie complessiva di fondale marino indagato è di circa 730 km².

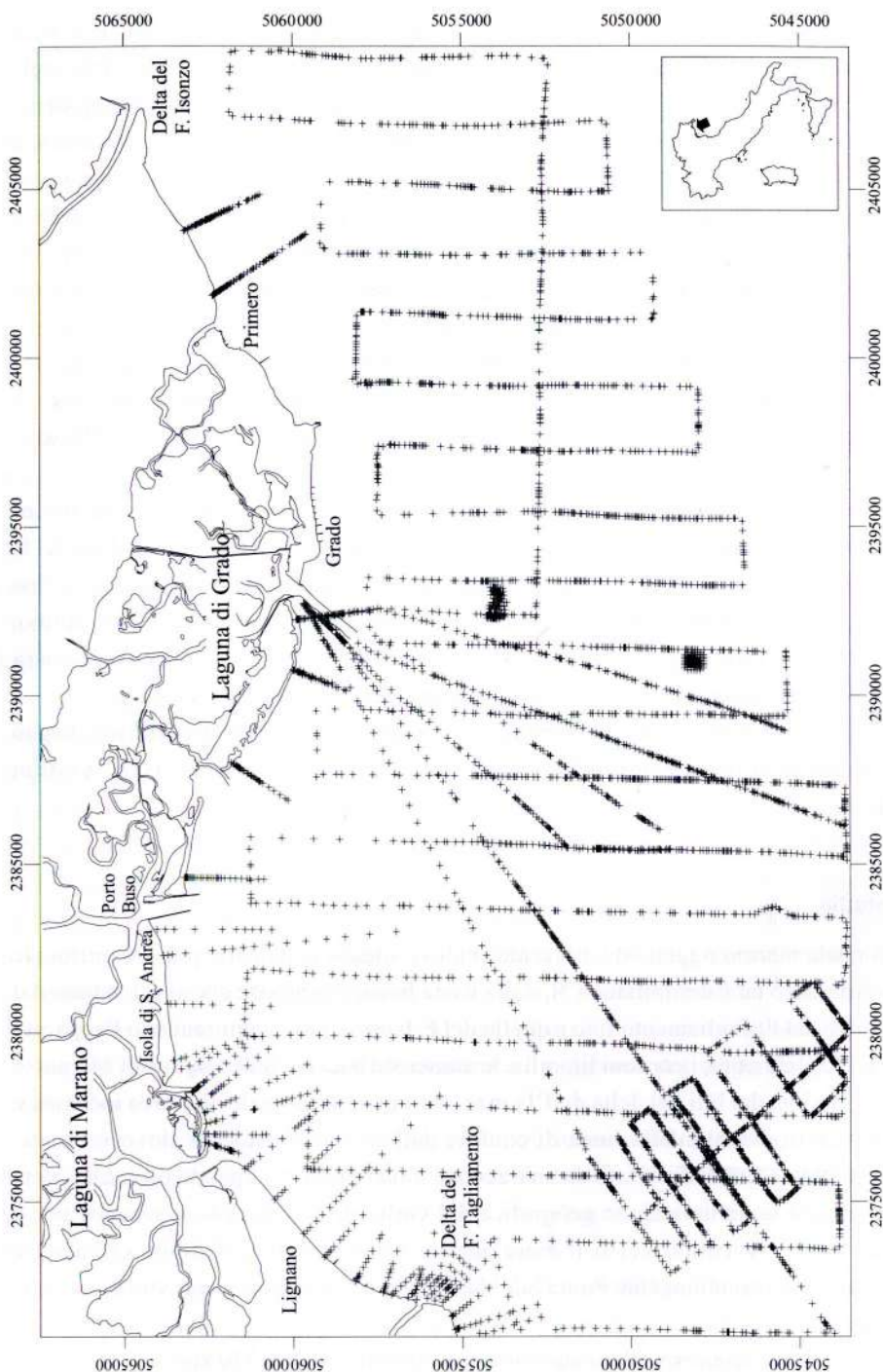


Fig. 1 - Mappa di posizione dei profili batimetrici acquisiti nel Golfo di Trieste.
- Position map of the echosounder profiles acquired in the Gulf of Trieste.

Metodologie d'indagine

Il lavoro di campagna ha comportato, l'esecuzione di ca. 487,4 km di rilievi batimetrici di dettaglio e la mappatura dei principali affioramenti rocciosi. I rilievi sono stati effettuati dalla M/n "Castorino 2", con ecografo X-16 Computer Sonar Lowrence e localizzazione con GPS. L'errore medio di posizionamento è risultato essere inferiore a 5 metri. Le coordinate geografiche dei punti del tracciato sono state riferite al Datum WGS 84. La registrazione del fondo marino è stata corretta dalla profondità del sensore dell'ecoscandaglio, dall'escursione della marea e riportata al livello medio mare di Trieste (molo Sartorio).

I tracciati ecografici, in fase d'elaborazione, sono stati integrati con altre strisciate eseguite in più riprese, precedentemente alla campagna del 2000. Segnatamente, sono stati riutilizzati i rilievi eseguiti da Caressa negli anni 1973 - 1977 e riportati nella Carta Batimetrica della Trezza di Grado alla scala 1:50.000 (1978), ed inoltre:

- i rilievi effettuati per il programma internazionale del "Rettangolo di Pesca Italo-Jugoslavo" (Università di Trieste, 1989);
- i profili lungo costa eseguiti per lo "Studio sedimentologico e marittimo-costiero dei litorali del Friuli-Venezia Giulia" (REGIONE F.V.G., 1985; BRAMBATI, 1987);
- rilievi inerenti le bocche di Porto Buso e Primero.

Tutti questi dati sono stati restituiti nella carta I.I.M. "Adriatico settentrionale da Punta Tagliamento a Pola (Proiezione di Mercatore, Ellissoide Internazionale - Datum, Roma 1940) e poi convertiti, con il programma MapInfo professional, alla rappresentazione cartografica del sistema nazionale Gauss Boaga. Le batimetrie sono state elaborate con il programma Surfer 7 e restituite ad equidistanza di m 0,5. Lo studio analitico delle batimetrie è stato l'elemento principale che ha determinato la nuova interpretazione delle forme (macro, meso e micro) in rilievo e di quelle in depressione o d'incisione. Quest'analisi ha permesso anche la possibilità di definire e classificare le forme individuate in termini morfometrici e quindi di passare da un'analisi qualitativa ad una semi-quantitativa. La scala 1:50.000 prescelta per questa cartografia è stata adottata oltre ai motivi anzidetti, anche per permettere una visione d'insieme delle principali realtà fisiche e sedimentologiche del territorio, senza perdere di vista la loro diversità e specificità. Motivo non secondario, poi, è stato quello di adattare questa cartografia tematica alle basi informatiche del territorio del Friuli Venezia Giulia, in modo da creare i presupposti, in un prossimo futuro, per la stesura di una cartografia geologica del Golfo di Trieste e del suo litorale. Anche per la definizione dei caratteri sedimentologici dei fondali si sono eseguite numerose integrazioni alla Carta Sedimentologica dell'Adriatico Settentrionale (BRAMBATI et al., 1988), riprendendo dati solo in parte editi.

La legenda della Carta (in allegato) riporta la simbologia utilizzata dalla cartografia geomorfologia nazionale, con opportune integrazioni, per dar spazio alle nuove forme naturali

ed antropiche individuate. La campitura dei sedimenti segue la classificazione adottata per la Carta Sedimentologica dell'Adriatico.

Batimetria e morfologia dei fondali marini

Lungo la fascia costiera le batimetriche assumono, dopo le zone a barre e truogoli e lontano dai "delta inlet" e dalle foci fluviali, un andamento regolare che segue lo sviluppo della linea di riva con un'acclività uniforme. Questa zona definisce la superficie del prisma sedimentario costiero che si sviluppa con lieve e regolare pendenza fino alle batimetrie 13-15 metri. Esso assume maggiore acclività in tre aree: nella zona pro-deltizia del Tagliamento e dell'Isonzo e nel tratto centrale del golfo, occupato dal Banco della Mula di Muggia. Segnatamente, nell'area del delta tilaventino il fronte sottomarino è molto pronunciato (esprimendo quasi un gradino morfologico) e termina in un'area depressa, a debole o debolissima pendenza, delimitata a meridione, dall'alto morfologico della Trezza Grande. Il basso morfologico che si prolunga poi verso E presenta deboli ondulazioni del fondale (fig. 2). All'estremità nord-orientale di questa depressione allungata, la soglia è posta attorno ai m 13 di profondità; al lato opposto, le profondità aumentano fino a raggiungere i m 18.

Sempre nella stessa zona, procedendo ancora verso S, s'incontra la ripida scarpata che corrisponde alle pendici settentrionali dell'alto morfologico della Trezza Grande e che assume un andamento irregolare e valori d'acclività molto diversi tra loro. L'alto si protende verso il centro golfo con andamento molto articolato, contraddistinto da lievi depressioni e localmente da dossi di dimensioni modeste e molto variabili nel loro sviluppo. Nell'ambito di queste ultime zone, a profondità maggiori, si riconoscono anche fondali irregolari, sempre con modeste elevazioni incise (zappature). Le pendici a SW dell'imponente Trezza Grande manifestano una acclività relativamente marcata su cui si è sovrapposto un esteso campo di dune subacquee. La cresta del rilievo nella sua porzione ad ENE tende a congiungersi, in prossimità di Grado, con l'attuale prisma sedimentario costiero.

Nel tratto nord-orientale del Golfo, si presentano in rapida successione: (a) un'area quasi pianeggiante o a debole pendenza tra la Trezza Grande e quella Piccola; (b) l'alto morfologico della Trezza Piccola e del Banco della Mula di Muggia; (c) ancora più ad oriente, il delta attuale dell'Isonzo. L'area più settentrionale, posta a ridosso del Banco della Mula, è costituita da una fascia a debole o debolissima pendenza, interrotta solamente da dossi e truogoli allungati in direzione parallela alle batimetriche. Ancora più a meridione di quest'area si ubica il modesto alto della Trezza Piccola, molto ridotto in confronto al precedente. Il passaggio dalla zona più prossima alla costa alla porzione meridionale del golfo è contraddistinto ancora una volta da una scarpata che, localmente, assume i valori più elevati dell'intero

Fondale marino con dolci ondulazioni

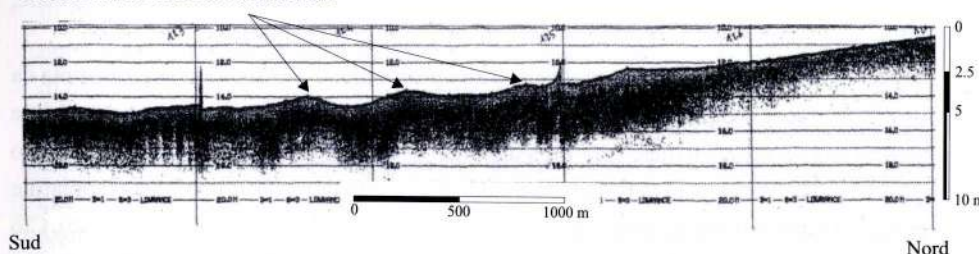


Fig. 2 - Esempio di profilo ecografico con fondale marino contraddistinto da deboli ondulazioni.
- Example of echosounder profile showing a sea bottom characterized by low relief undulations.

paraggio. Segue poi, un fondale abbastanza articolato, in cui si rinvencono alture e depressioni ad andamento casuale, a volte incise da presunte canalizzazioni, fino ad arrivare, nella zona prossima alla "mid-line", alle massime profondità registrate nella zona investigata (m 22-23).

In sintesi, dall'andamento delle batimetrie dell'area e dalla morfologia dei fondali, si sono riconosciute le seguenti entità morfologiche principali del fondo del Golfo di Trieste:

- il prisma sedimentario costiero;
- gli alti morfologici delle Trezze e del Banco della Mula di Muggia;
- alcune depressioni, tra cui quella allungata alle spalle della Trezza Grande;
- scarpate a forte pendenza;
- estesi campi di dune sottomarine;
- limitate incisioni a forma di canale nell'area di basso, ubicata in prossimità del vecchio rettangolo di pesca italo-jugoslavo;
- zone di fondale marino molto irregolari, contraddistinte da modeste elevazioni delimitate da pareti sub-verticali;
- ridotti alti morfologici ed altre forme in rilievo (individuati attraverso lo studio di profili batimetrici di dettaglio);
- affioramenti rocciosi con tipologie diverse.

Il prisma sedimentario costiero

La linea di riva delimita verso terra la parte sommersa del prisma sedimentario costiero, quest'ampio corpo sedimentario che si raccorda ai relativi alti fondali verso i 13-15 metri di profondità. Il prisma o cuneo costiero è il risultato dei processi erosivi e deposizionali che hanno interessato i depositi litorali tardo-olocenici di stazionamento alto del livello del mare (HST) e presenta carattere di continuità lungo tutto il litorale. In base ai valori di pendenza,

alla presenza di particolari morfologie e alla più o meno estesa copertura di un manto vegetale, esso può essere suddiviso essenzialmente in due tipologie principali:

a) una zona che si estende dalla linea di riva fino alla profondità di 4-5 metri, contraddistinta da sedimenti sabbiosi e dalla presenza di sistemi allungati di barre e truogoli direttamente influenzati dalle condizioni meteo marine stagionali. Queste, determinano la migrazione verso terra o, viceversa, verso mare delle barre e quindi la loro trasformazione tipologica (appiattite e fortemente asimmetriche le prime, molto più appuntite e quasi simmetriche le seconde). Ciò comporta anche continue dilatazioni e riduzioni dell'estensione delle praterie di fanerogame marine e, soprattutto, la traslazione longitudinale dell'intero sistema di barre e truogoli. Nell'ambito di questa zona, particolare evidenza assumono le aree di foce e di bocca lagunare che presentano forme lobate, legate al notevole trasporto di sedimento al fondo, orientate secondo le principali direzioni d'espansione dei "plumes" sedimentari e corredate da barre di "swash" e piattaforma di "spit" (FONTOLAN et al., 2000). Queste aree palesano la classica planimetria dei depositi deltizi con "ebb-tidal delta" allungati nella porzione rivolta verso mare e "flood-tidal delta" all'interno delle lagune. In generale, l'intero complesso degli "ebb-tidal delta" risulta deviato verso W, rispetto all'asse della bocca a causa del trasporto litorale dominante. Questi apparati vengono continuamente rimodellati dal moto ondoso ("ebb-tidal-wave-dominated delta") e fortemente influenzati dalle correnti di marea uscente che possono assumere anche valori di 2 m/s. Presentano quasi sempre una barra longitudinale molto sviluppata al lato orientale del canale principale e diverse barre di foce che vengono continuamente dragate per permettere l'accesso ai porti litorali ed endolagunari. Altri ampi e complessi sistemi di barre sono particolarmente presenti sul banco semisommerso della Mula di Muggia (ad E di Grado) e nella fascia litorale che contorna il delta del F. Isonzo. In tutta questa zona prossimale del prisma sedimentario si ubicano consorzi di fanerogame marine (*Cymodoceum*), ben sviluppati. Il limite verso terra di queste praterie sottomarine, generalmente, si pone sul fianco delle barre più interne ed è controllato da condizioni locali (massima estensione in aree protette e minima in quelle esposte). Esso subisce, comunque, sensibili modificazioni dopo le mareggiate più violente. In tutta quest'area costiera vegetata la *Posidonia oceanica* è presente in due uniche zolle vitali circoscritte da un substrato roccioso (resti archeologici), posto nelle immediate vicinanze della diga di Grado. Da segnalare, inoltre, la grande estensione dell'area intertidale lungo il tratto di costa che si estende da Grado Pineta al delta dell'Isonzo.

Le pendenze di tutta questa zona variano da un minimo di 3,1 m/km ad un massimo di 7,1 m/km.

b) una zona compresa tra i 4-5 e i 13-15 metri, definita da fondali lisci, a pendenza costante. Essa costituisce la parte terminale o distale del prisma sedimentario costiero ed è contraddistinta da depositi di transizione dalle sabbie litorali alle peliti circalitorali. I sedimenti

di questa zona vengono interessati da mobilitazione solamente durante mareggiate di notevole entità; il limite inferiore del prisma è principalmente costituito da sedimenti soffici di derivazione attuale. Qui non sono presenti consorzi vegetali in quanto, vista la limitata estensione della zona fotica, dovuta alla scarsa limpidezza della colonna d'acqua, la prateria di *Cymodocea* non supera la profondità limite di 6-7 metri. La pendenza media è di 1,7 m/km circa.

Nell'ambito di questa zona si sviluppano alcune grandi opere antropiche corrispondenti ai moli guardiani delle bocche lagunari, ai canali d'imboccatura che vengono annualmente rettificati e approfonditi e alle condotte sottomarine degli impianti fognari costieri che sono difese da massi (NOVELLI, 1996). Recentemente, in corrispondenza della condotta subacquea di Primero è stata istituita un'area marina protetta che dovrebbe favorire la biodiversità e la riproduzione ittica (OREL et al., 2000). L'opera dell'uomo si esplica, anche, attraverso un'intensa attività di pesca di molluschi eduli che si attua con le draghe idrauliche che mobilitano una gran quantità di fondale marino.

Una stima approssimata del volume totale del corpo sedimentario del prisma costiero rivela un valore pari a $57 \times 10^6 \text{ m}^3$ per 1 km lineare di costa, nelle aree prossime al delta tilaventino e di $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ in prossimità dei cordoni litorali della Laguna di Grado. Tali diversità volumetriche sono probabilmente imputabili al differente rapporto tra apporto fluviale da un lato ed erosione marina dell'altro, riscontrabile nelle due aree. In altri termini tale differenza viene principalmente imputata in minima parte alla differenza tra apporto solido dei fiumi Tagliamento e Isonzo (che risulta praticamente lo stesso) e in massima parte all'erosione conseguente le varie diversioni isontine.

Il corpo sedimentario del prisma nel suo complesso e i depositi dei "delta inlet" e i banchi semisommersi nel particolare, rappresentano un'importantissima e sostanziale riserva di sedimento litorale che può essere utilizzata ai fini del ripascimento artificiale delle spiagge (MAROCCO, 2000).

Alti morfologici

L'area in esame manifesta una serie d'estesi alti morfologici che non ha riscontro nelle zone contermini. Essi rappresentano corpi sedimentari d'età diversa legati al sistema trasgressivo TST e in parte erosi dalla successiva trasgressione marina. Segnatamente, si sono individuate tre "secche": la Trezza Grande, la Trezza Piccola e il Banco della Mula di Muggia.

La Trezza Grande è situata nella parte centro-occidentale del golfo, in posizione mediana rispetto Lignano e Grado. È un rilievo sottomarino a geometria trapezoidale, con il versante di NW molto irregolare e scosceso (fig. 3). Al lato opposto, nel tratto di SE, il banco presenta un'acclività modesta, pari a 1,0 m/km circa, che si realizza su una superficie irregolare fino a

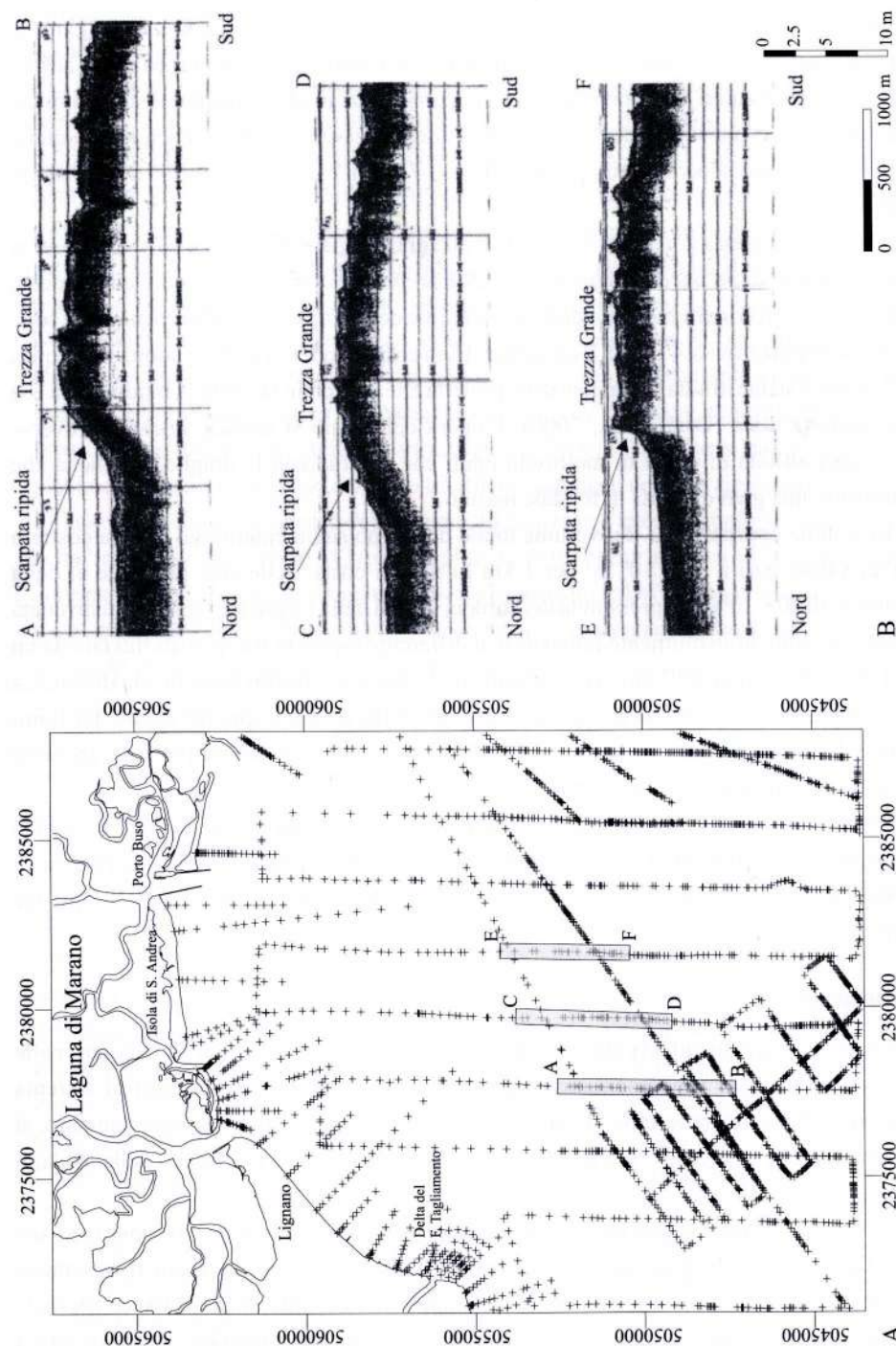


Fig. 3 - A: mappa di posizione dei profili ecografici acquisiti sulla Trezza Grande; B: esempi di profili ecografici della Trezza Grande. A: position map of the echosounder profiles acquired on the Trezza Grande; B: examples of echosounder profiles showing the Trezza Grande.

raggiungere i fondali più profondi delle acque sloveno-croate. Il versante di SW palesa, invece, un esteso campo di dune subacquee, con un irregolare alternarsi di dossi (duna isolata), preceduti e seguiti da superfici sub-pianeggianti poste a profondità diverse. Tra i -12 e i -17 metri l'inclinazione media del fondale assume valori di 0,9 m/km circa, diminuendo progressivamente verso S. All'altro lato, il lembo nord settentrionale del rilievo, infine, si raccorda dolcemente, attraverso una superficie quasi pianeggiante, al prisma sedimentario costiero.

La parte apicale della Trezza (che presenta le profondità minori della zona, circa -12 metri), definisce una geometria irregolare, allungata secondo la direzione NE-SW che si allinea con la costa da Grado Pineta al delta dell'Isonzo.

L'estensione totale del corpo sedimentario della Trezza Grande è stimabile in 154 km² circa. Seguendo il criterio adottato per la valutazione del prisma sedimentario costiero, la Trezza Grande assume un volume massimo stimato di 50×10^6 m³ per km lineare. In altri termini il suo volume, a parità d'estensione, raggiunge un valore notevolmente superiore all'ammontare dei depositi costieri della Laguna di Grado ed è prossimo a quello calcolato per l'attuale delta tilaventino.

Dall'analisi stratigrafica del sottosuolo della Trezza (GORDINI et al., 2002) viene confermata la genesi deltizia dell'alto morfologico che è stato abbandonato e annegato in seguito ad un rapido innalzamento del livello del mare nel Tardiglaciale (indicativamente tra i 16.000 e i 11.300 anni fa). I rilievi subacquei e l'analisi stratigrafica dei fondali alle spalle della Trezza, palesano l'esistenza di due o più momenti evolutivi, evidenziati da alti morfologici più limitati, probabilmente rasati, separati da depositi di probabile origine lagunare.

Il più modesto rilievo della Trezza Piccola si ubica a SE di Grado e a meridione dell'altro alto morfologico della Mula di Muggia. Si estende tra le profondità di 9 e 12 metri, quasi a ridosso della Mula, su una superficie di ca. 3,8 km². Presenta una forma allungata in direzione E-W ed è costituito da un dosso di 1,0-1,5 metri d'altezza circa che nella parte occidentale manifesta un andamento tondeggianti, mentre verso oriente si protende con una lingua sabbiosa fino alla profondità di -12 metri. Sul dosso si riconoscono puntuali affioramenti rocciosi, mentre sono presenti diffuse aree ricche di "mattes" di *Posidonia oceanica*, zappate dall'erosione marina. Nell'insieme questo rilievo interrompe la transizione tra le pendici meridionali della Mula di Muggia e il fondale marino, posto in prossimità della linea di confine delle acque territoriali italiane, dove si registrano le massime profondità del golfo (-4 metri).

Il Banco della Mula (a meridione di Grado, già attestato nella cartografia storica del 1.700) presenta (fig. 4) una parte semisommersa quasi pianeggiante, dove si sviluppa un complesso sistema di barre e truogoli, continuamente rimodellato dal moto ondoso di Scirocco

e Bora. Verso terra il banco delimita un'area "protolagunare", con fondali ricoperti da *Cymodocea* e sedimenti a tessitura pelitico-sabbiosa. Verso mare, il corpo del banco si raccorda ad oriente con i depositi deltizio-costieri dell'Isonzo, interrotti dalla bocca lagunare di Primero. Peculiare è invece il suo fronte occidentale, che da un lato si flette bruscamente a N con frecce litorali sommerse e barre di "swash" che si raccordano con la spiaggia di Grado e, da un altro lato, si protende verso W con una serie di barre sottomarine che vanno a sorpassare il litorale gradese (MAROCCO, 2000). L'alto della Mula presenta tra i 6-4 metri una serie di rilievi minori, caratterizzati da sabbie medie, ben classate, ricche d'Anfiosso (*Branchiostoma lanceolatum*) e dopo una ripida scarpata, un altro rilievo sabbioso, posto a circa 10 metri di profondità (altezza m 2 ca.) che borda a meridione l'intero Banco e che diminuisce di volume e d'altezza procedendo verso W. Altri rilievi sabbiosi sono posti alla profondità di ca. 16 metri, sulla scarpata che dal Banco scende fino al centro del golfo.

La superficie occupata dal Banco della Mula di Muggia è circa 15,7 km².

L'origine del banco è ancora incerta. Molti autori ritengono che esso sia il relitto di uno dei tanti delta che l'Isonzo ha formato nel suo continuo divagare verso E. Questa interpretazione lascia alquanto perplessi in quanto la forma composita del Banco non presenta le caratteristiche di un delta relitto. A riprova di quanto detto si fa presente che a pochi km di distanza dal Banco, il vecchio delta dell'Isonzo, a Golameto, ha lasciato come unica traccia una serie di dune eoliche, depositi ghiaiosi sulla riva e alcune costruzioni di difesa subacquee, senza alcuna evidente morfologia sommersa. D'altra parte è evidente la dipendenza del Banco della Mula dal "delta inlet" di Primero e dalle

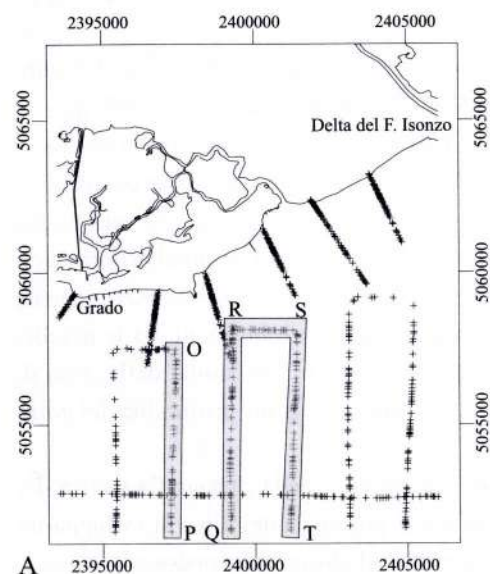
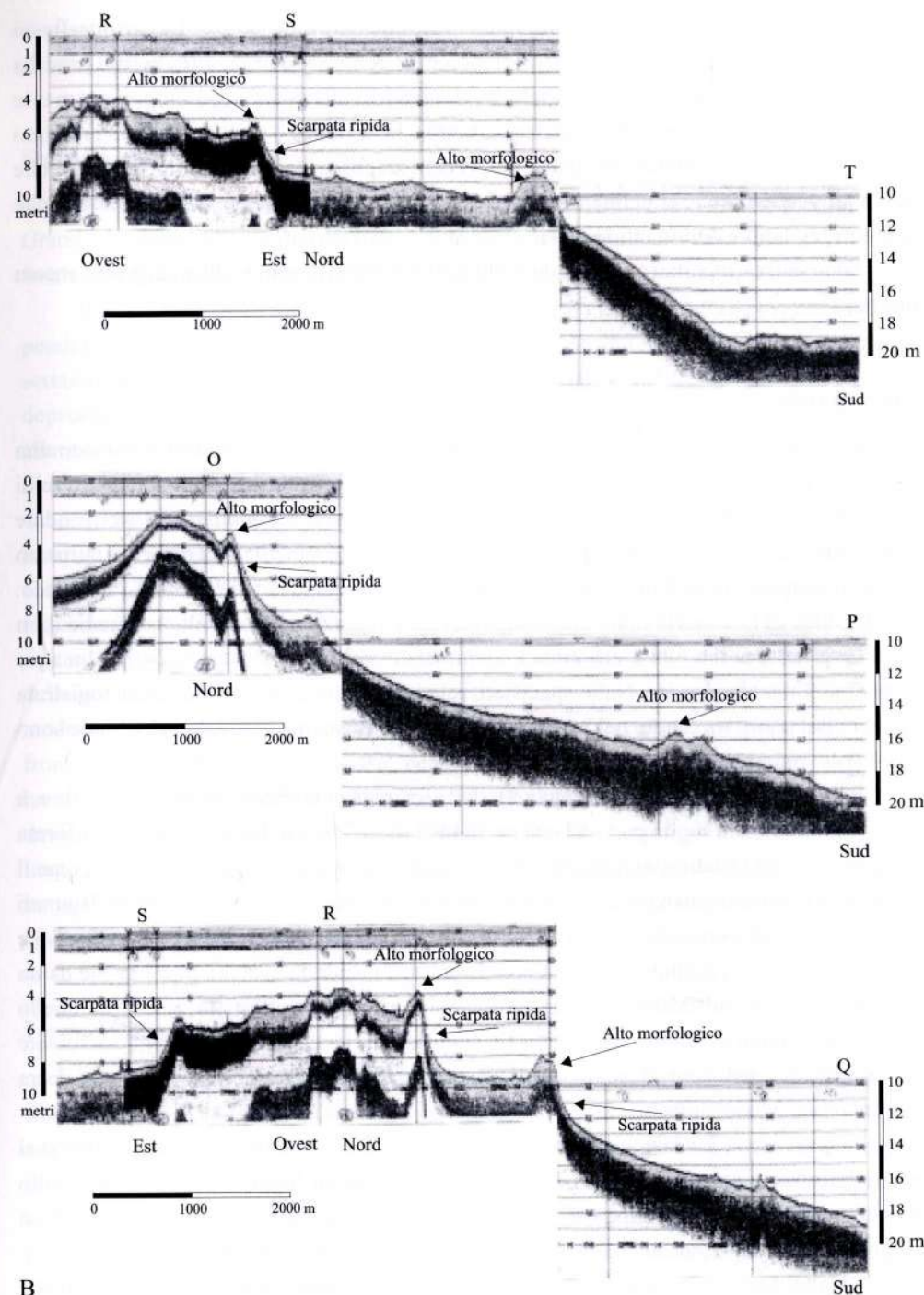


Fig. 4 - A: mappa di posizione dei profili ecografici acquisiti sul Banco della Mula di Muggia; B: esempi di profili ecografici del Banco della Mula di Muggia.

- A: position map of the echosounder profiles acquired on the Mula di Muggia Bank; B: examples of echosounder profiles showing the Mula di Muggia Bank.



B

barre longitudinali che vengono continuamente alimentate dall'Isonzo. La cartografia e i rilievi recenti, inoltre, attestano che il Banco è in continua evoluzione, in 100 anni ha modificato la sua forma più superficiale, avvicinandosi alla costa e contemporaneamente migrando sempre più verso W. È chiaro, pertanto, che il Banco è il prodotto di un processo trasgressivo che ha interessato parte dei vecchi depositi deltizi isontini, come anche quelli più recenti, e che attualmente modifica la sua forma in funzione delle caratteristiche dei mari regnanti e dominanti in zona.

Sono stati cartografati anche modesti alti isolati, a forma di mammelloni, di genesi ancora incerta.

Aree depresse

Il prisma sedimentario costiero in prossimità del delta tilaventino, lambisce una vasta area depressa di forma allungata a semicerchio, caratterizzata da superfici prive di asperità, quasi pianeggianti dove, talvolta, si registrano lievi ondulazioni del fondale marino (fig. 2). A volte, queste ondulazioni si rinvencono immediatamente a contatto con fondali irregolari, probabilmente legati alla presenza di "mattes" di *Posidonia oceanica*. L'estensione di tale fascia non risulta regolare. Le ondulazioni hanno altezza media di m 0,5 e lunghezza pari a 595 metri circa e manifestano solo un parziale riscontro con altre forme individuate nel golfo. Nello specifico, solo la loro altezza è simile a quella registrata per le ondulazioni rinvenute nel "delta inlet" di Porto Buso, ma le lunghezze d'onda sono di 60 volte più grandi.

Il basso morfologico è delimitato a SE dalla scarpata in sabbia della Trezza Grande e, a SW, termina con una soglia posta ad una profondità di circa m 16. La genesi di questa forma complessa è problematica; al momento, tale morfologia potrebbe essere interpretata come il risultato di fenomeni erosivi che hanno portato all'asportazione di sedimenti deltizio-lagunari (di retro delta), ad opera delle correnti marine e del moto ondoso, durante la fase di sommersione della Trezza. Non si esclude che quest'area depressa dipenda in qualche modo anche da un maggiore tasso di subsidenza dei depositi pelitici-torbosi del sottosuolo, rispetto a quello relativo alle sabbie dei rilievi circostanti. Le ondulazioni rinvenute, invece, sembrano essere determinate da condizioni attuali, imputabili ai processi di mobilitazione dei depositi ad opera delle mareggiate più violente.

La porzione di fondale marino tra la Trezza Grande e il Banco della Mula di Muggia si presenta quasi pianeggiante o, al limite, come un'area in leggera depressione, molto probabilmente derivata da processi erosivi che hanno intaccato la forma originaria. Essa rappresenta una soluzione all'andamento lineare di queste due forme in rilievo.

Un'altra forma depressa, a catino, si riconosce solo parzialmente all'interno delle acque

nazionali, in prossimità del delta isontino, a mezzogiorno con la costa slovena alla profondità di ca. 25 metri. Depressioni isolate più modeste si ubicano a SE della Trezza Grande.

Scarpate a forte pendenza

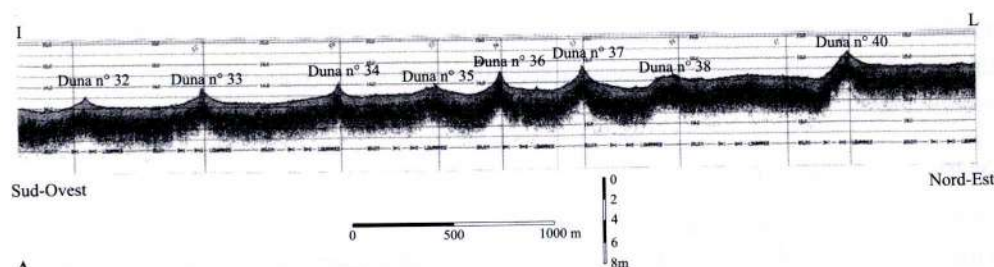
Morfologie di questo tipo si riscontrano lungo il margine settentrionale della Trezza Grande e, ancora, sulle pendici del Banco della Mula di Muggia e, con valori minori, sui "delta-fronts" del Tagliamento e dell'Isonzo.

Il primo dei fondali acclivi, la scarpata della Trezza, viene descritta da massimi valori di pendenza (29,2 m/km; fig. 3) in corrispondenza del versante più meridionale, mentre, a settentrione, si raccorda con una pendenza minore (valore medio 8,3 m/km) con l'area depressa retrostante. L'andamento di questa scarpata è irregolare in quanto si registrano allargamenti e restringimenti della distanza tra le batimetriche e, quindi, variazioni repentine d'acclività.

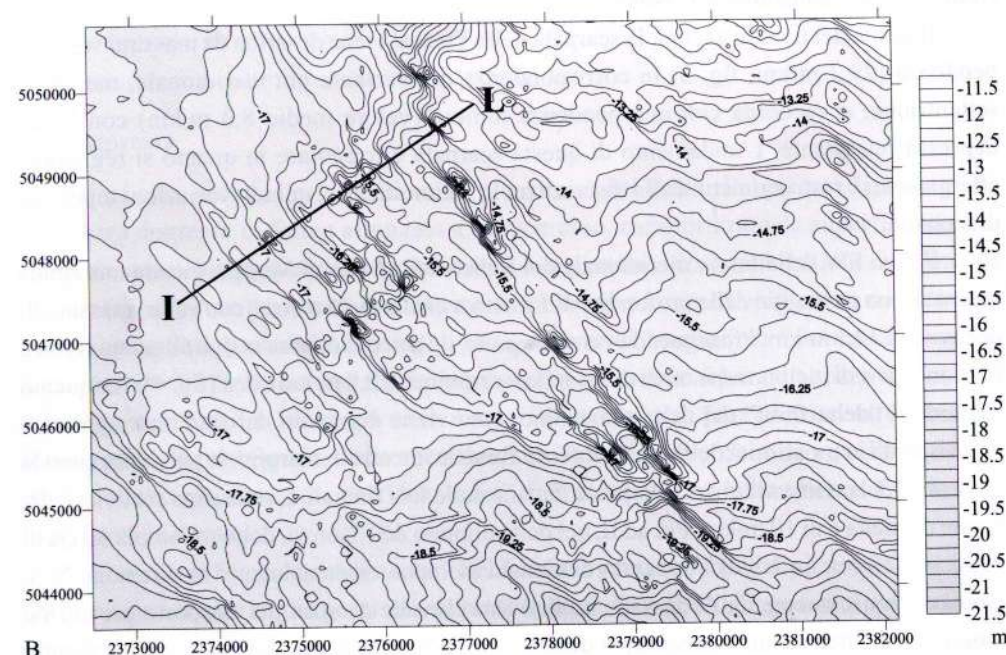
Il lobo SW della fascia meridionale del Banco della Mula di Muggia mostra una ripida scarpata, con passaggio dalla profondità di 1 metro a quella di 15 metri e con valori massimi di acclività di 34,1 m/km. Proseguendo verso Levante, il Banco si dirama in due direzioni (NE ed E), con valori di inclinazione medi di 5,4 m/km e minimi di 2,0 m/km circa (fig. 4). Per quanto riguarda il "delta-front" del delta tilaventino, esso viene disegnato dal fitto restringimento delle isobate in prossimità dell'asse della foce fluviale, mentre ai margini, le pendenze sono le medesime del prisma sedimentario, posto lontano dalle foci fluviali. La massima acclività della fronte del delta è di 10 m/km. Più ad E, nel delta digitato dell'Isonzo, dopo un'ampia fascia di bassi fondali (ca. m 1000) l'apparato deltizio si sviluppa essenzialmente in direzione N-S, deviando bruscamente dall'orientazione dell'asta fluviale a causa del trasporto prevalente lungo riva. Il "delta front" presenta pendenze del tutto simili a quelle del Tagliamento, mentre lungo i lati occidentali ed orientali le inclinazioni si dimezzano, raggiungendo, rispettivamente, i 5,3 m/km e i 5,0 m/km.

I campi di dune sottomarine

Un campo di grandi dune subacquee è stato individuato al largo del delta del Tagliamento, sulle sabbie di piattaforma delle pendici a SW della Trezza Grande. Occupa una superficie complessiva di 36,3 km² circa e si pone tra i 12-20 metri di profondità. Le dune hanno forma e orientazione sorprendentemente costante, come evidenziato in fig. 5 e valori d'altezza che variano da 0,8 a 2,2 metri, mentre la distanza fra le creste varia da m 338 a ca. 676 metri (tab. I). L'orientazione è NW-SE, quasi a perpendicolo con la direzione delle ondate da Bora. Manifestano, inoltre, forme quasi perfettamente simmetriche che trovano luogo in prossimità



A



B

Fig. 5 - Profilo ecografico (A) e planimetria del campo di dune (B).

- Echosounder profile (A) and map of the dune field (B).

della Trezza e che si alternano, verso SW, con altre più basse e asimmetriche con pendenze maggiori a valle della debole scarpata. Negli avvallamenti tra dune i fondali presentano estese superfici d'erosione. In immersione le creste delle dune evidenziano una cementazione irregolare e una frequente copertura di "mattes" di *Posidonia*, caoticamente inglobate nella matrice di sabbie di piattaforma.

L'esteso campo di grandi dune subacquee individuato lungo il versante sud-occidentale della Trezza Grande non è una esclusiva prerogativa del Golfo di Trieste. Altri campi si rinvenivano di fronte a Caorle e a Venezia, sempre al largo degli alti morfologici, sabbiosi, che corrispondono agli apparati deltizi sommersi dei grandi fiumi che sfociavano in Adriatico.

Numero	Altezza (m)	Lunghezza (m)	Profondità cresta (m)
32	1,0	-	-15,4
33	1,6	578	-15,0
34	1,5	677	-15,1
35	1,1	460	-14,0
36	2,2	338	-14,0
37	2,2	405	-13,5
38	0,8	447	-14,3
40	2,2	453	-12,4
Media	1,6	480	-14,2

Tab. I - Valori d'altezza, lunghezza e profondità della cresta delle dune sottomarine individuate al largo del delta del Tagliamento. Profondità espressa in metri.

- Height, length and depth of the subaqueous dunes' crest identified off the Tagliamento mouth. Depth metres.

Segnatamente, il campo dunale studiato al largo di Venezia (CORREGGIARI et al., 1996) si trova tra i 20-23 metri, è sovrapposto ad un alto morfologico ("shore-parallel mounts") e presenta una spaziatura tra le grandi dune di ca. 600 metri, altezza d'onda media di ca. m 3, base delle dune di m 350 e un orientamento predominante NW-SE. Dalle caratteristiche peculiari delle dune rilevate nel golfo di Trieste si evincono evidenti analogie con questi campi più occidentali; anche queste si trovano sovrapposte ad un alto morfologico (Trezza Grande), hanno un'orientazione NW-SE e presentano valori medi di lunghezza d'onda e d'elevazione leggermente più bassi dei precedenti (rispettivamente m 480 e m 1,6) e base da 312 a 364 metri. Entrambe, poi, tagliano le batimetriche regionali mantenendo quasi costante la loro forma.

Il confronto dei valori d'altezza e lunghezza d'onda delle dune studiate nel presente lavoro, con i parametri evidenziati dallo studio di CAVALERI & STEFANON (1980) e di CORREGGIARI et al. (1996), eseguito utilizzando una relazione empirica proposta da FLEMMING (1988), ha permesso di evidenziare un buon grado di similitudine tra queste forme. Il grafico (fig. 6) mette in evidenza come le dune tilaventine non si discostino di molto da quelle analizzate in precedenza. Al fine di definire l'origine attuale oppure relitta delle "bedforms" si è utilizzato il diagramma proposto da BOGUCHWAL & SOUTHARD (1989) e modificato in ASHLEY (1990), che indica il valore di velocità di corrente compatibile alla loro formazione. Assumendo un valore della mediana delle sabbie di piattaforma pari a mm 0,25 e considerando la forma di fondo "duna", il diagramma fornisce un "range" di velocità probabili compreso tra 0,6 e 0,9 m/s, velocità queste che si riscontrano usualmente alle bocche lagunari e alle foci dei fiumi. STEFANON (1979), comunque riporta che le mareggiate più violente in alto Adriatico possono generare velocità orizzontali al fondo di ca. 1 m/s (1,16 m/s nell'alluvione del 11/1966).

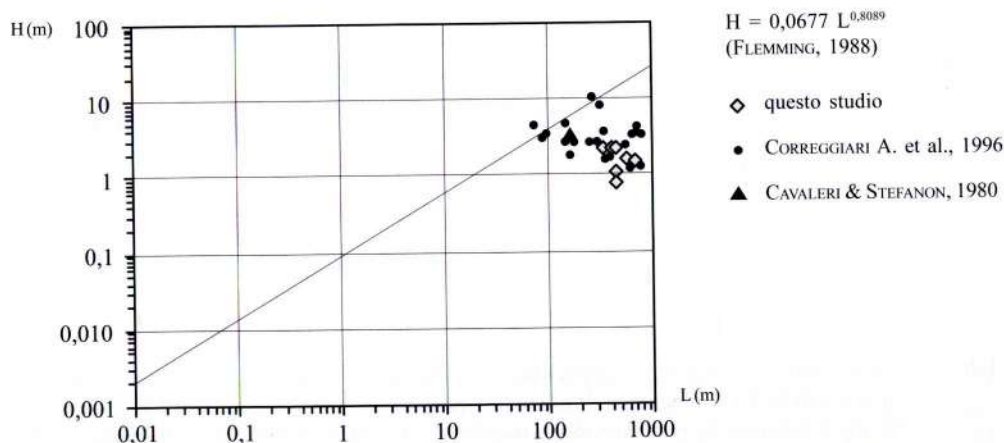


Fig. 6 - Diagramma sperimentale (FLEMMING, 1988). Lunghezza (L) e Altezza d'onda (H) delle dune del Golfo di Trieste e quelle del Golfo di Venezia.
- Empirical diagramm (FLEMMING, 1988). Length (L) and wave height (H) of the dunes in the Gulf of Trieste and in the Gulf of Venice.

L'osservazione diretta in immersione di una di queste grandi dune, eseguita nel maggio 2001, congiuntamente ad uno studio realizzato a fini archeologici, ha evidenziato che tali forme sono caratterizzate nella parte sommitale dalla presenza di "mattes" di *Posidonia* morta. I rizomi si presentano in posizione vitale, perfettamente conservati e sepolti solamente da un sottile strato di sabbia organogena di piattaforma. A vista sembrano molto recenti. A volte, invece, le creste delle dune presentano crostoni cementati di "mattes", distribuiti a macchia di leopardo. Ma il dato più interessante è stato il ritrovamento di un relitto di un vascello parzialmente ricoperto dal piede di una duna. Ciò farebbe ritenere che, anche se parzialmente fissate dalla vegetazione, le dune si possono muovere in condizioni di eventi eccezionali. Il fatto non sorprende, poiché è già stato segnalato da uno degli autori che nel golfo di Venezia i piedi di queste "bedforms" avevano ricoperto per circa cm 10-50 i fanghi rossi scaricati a mare nel dopoguerra dalle industrie di Marghera (BRAMBATI & MAROCCO, 1983).

Nel complesso, i dati fino ad oggi raccolti non portano a nuove risposte sulla genesi di queste dune sottomarine. È chiaro che queste si sono formate dopo la fase trasgressiva che ha interessato i fondali del golfo di Trieste, che sono state e vengono alimentate dal grande serbatoio di sabbia della Trezza Grande e che si muovono sotto particolari condizioni meteomarine e in particolare per mari di Bora. CORREGGIARI et al. (1996) ritengono che queste forme debbano ritenersi fossili, in quanto legate alla sommersione e all'erosione dei vecchi delta (formati 7-8.000 anni fa) in un periodo di "maximum flooding" (3-4.000 anni fa). Questa spiegazione, seppur valida in linea teorica, non trova riscontro almeno nella ricostruzione dell'evoluzione della costa del golfo di Trieste eseguita su base di sondaggi stratigrafici

(MAROCCO, 1991; GORDINI et al., 2003). Da questi dati emerge che il corpo sedimentario della Trezza è molto più vecchio dei 7-8.000 anni supposti e che la trasgressione olocenica non ha mai superato la linea di riva attuale.

Incisioni allungate (canalizzazioni?)

Sono limitate incisioni del fondo marino, di genesi ancora sconosciuta, individuate da ROSSI et al. (1968) e successivamente riportate da MAROCCO (1991).

Sono ubicate alla base dell'ampia scarpata ad andamento irregolare del rilievo sottomarino della Trezza Piccola, nella parte del golfo a più forte acclività. Queste incisioni del fondale (fig. 7) presentano un limitato sviluppo in profondità (mediamente pari a circa m 0,8 con valori massimi e minimi, rispettivamente, di 1,7 e 0,4 metri), contro una notevole larghezza che raggiunge valori medi di m 280 (massimi e minimi di circa 454 e 136 metri). Segnatamente, all'interno dell'alveo, si riconoscono essenzialmente due tipologie di fondale:

- una prima, abbastanza regolare, con letto e fianchi dell'alveo privi d'incisioni o con deboli ondulazioni;
- una seconda, irregolare per la presenza di limitate incisioni ed approfondimenti complessi, soprattutto all'interno del letto.

Cercando di tratteggiare l'andamento e le direttrici principali di queste particolari forme di fondo emerge un prevalente sviluppo da N a S, seguendo l'acclività del fondale, con una incisione principale, più occidentale, e una secondaria, orientale, con ai lati altri solchi minori che non sembrano avere una continuazione. L'incisione principale manifesta un percorso solo leggermente sinuoso ($S = 1,05$), mentre quella orientale è quasi perfettamente rettilinea. Il solco secondario confluisce nel principale, dopo un leggero dosso, con un angolo di ca. 60° .

Confrontando questi dati con i principali parametri morfometrici dei canali della Laguna di Grado e dell'alveo del F. Tagliamento (GATTO & MAROCCO, 1993), emerge che queste incisioni non hanno analogia con i canali lagunari e fluviali del retroterra. Differiscono notevolmente

	Incisione Principale			Incisione Secondaria		
Larghezza (m)	454	148	304	296	258	277
Profondità (m)	1,7	0,4	0,9	0,9	0,6	0,7
Pendenza (‰)	2,6	0,8	1,3	2,6	1,0	1,7
	Max	Min	Medio	Max	Min	Medio

Tab. II - Valori di larghezza, profondità e pendenza delle incisioni sottomarine individuate al largo del Banco della Mula di Muggia.

- Height, length and gradient of sea floor incisions identified off the Mula di Muggia Bank.

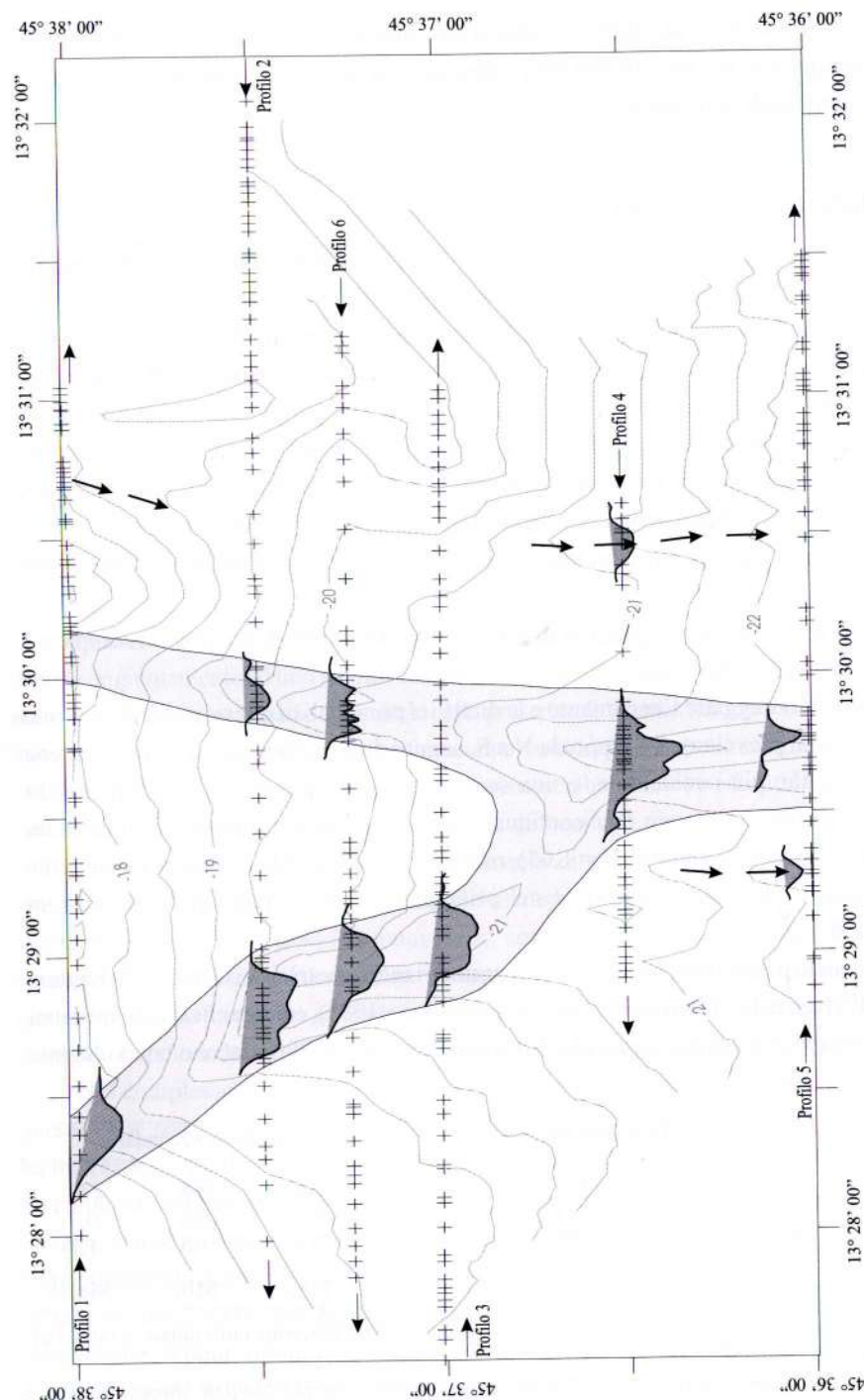


Fig. 7 - Planimetria e profilo verticale delle incisioni (paleovallei?) del Golfo di Trieste.
- Map and vertical profile of the incisions (paleovalleys) in the Gulf of Trieste.

sia per l'ampiezza media del canale ($w = m\ 304$ contro gli 86 metri dei canali lagunari e i 120-75 metri dei letti fluviali), ma soprattutto per la profondità (media di $m\ 0,9$ contro i $m\ 5,9$ dei canali lagunari e gli 11,2-7,2 metri dei fiumi). Anche le pendenze di queste incisioni sono leggermente più alte di quelle dei canali del retroterra (mediamente $1,7-1,3\ ‰$ contro $1,1-0,8\ ‰$, con i canali secondari più pendenti rispetto a quelli principali).

Sulla base di questi dati sembra poco probabile l'ipotesi di MOSETTI (1966), MOSETTI & D'AMBROSI (1966) e ROSSI et al. (1968), ripresa poi da altri autori, sulla genesi continentale di queste incisioni, derivanti da un antico sistema idrografico della preesistente paleo-pianura alluvionale, messo a nudo dalla successiva trasgressione e in parte preservatosi fino ai giorni nostri. D'altra parte, però, non ci sono ancora i presupposti, soprattutto oceanografici, che possano giustificare l'esistenza in queste zone di relativa ripida scarpata, di correnti di fondo capaci di formare simili morfologie. Verifiche in tal senso sono in corso di esecuzione.

Fondali irregolari

In gran parte del golfo il fondale assume tratti assolutamente irregolari, contraddistinti da modeste elevazioni, delimitate da zappature o da superfici d'erosione quasi verticali. Questa morfologia del fondale viene illustrata in fig. 8, dove si nota una successione di creste di altezza variabile da 0,2 a 1,2 metri, con fianchi relativamente scoscesi. Tali forme si trovano spesso sul dorso o nel truogolo delle grandi dune sottomarine, oppure costituiscono dei piccoli alti morfologici con presenza di affioramenti rocciosi.

All'analisi diretta in immersione questo tipo di morfologia sembra essere determinato dall'erosione di fondali sabbiosi di modesta potenza, dove di tanto in tanto affiora un intricato feltro di radici di *Posidonia oceanica*. Va sottolineato che queste forme sono presenti con una palese disomogeneità areale, causata a volte dalla copertura a macchia di leopardo del fondo da parte di queste fanerogame marine e, a volte, da puntuali processi erosivi.

La superficie irregolare che si estende nell'area centrale del golfo (dalla sommità della Trezza Grande fino al fondale marino prossimo al delta del F. Isonzo) può essere ragionevolmente interpretata come il prodotto di un processo di erosione generalizzato dei fondali marini, che però si esplica in modo diverso a seconda della morfologia e della tessitura dei sedimenti interessati. Per quanto riguarda la parte superiore e il fianco SE della Trezza Grande, le irregolarità del fondo sono strettamente legate alla presenza di una coltre vegetale di *Posidonia oceanica* che è sopravvissuta fino al recente passato (ultime segnalazioni 1960). La morte di queste fanerogame marine, che avevano anche l'importante funzione di stabilizzare il substrato sabbioso, ha comportato la ripresa dei fenomeni di rimozione dei fondali. Attualmente il fondale marino si presenta molto articolato, caratterizzato da modesti alti ad

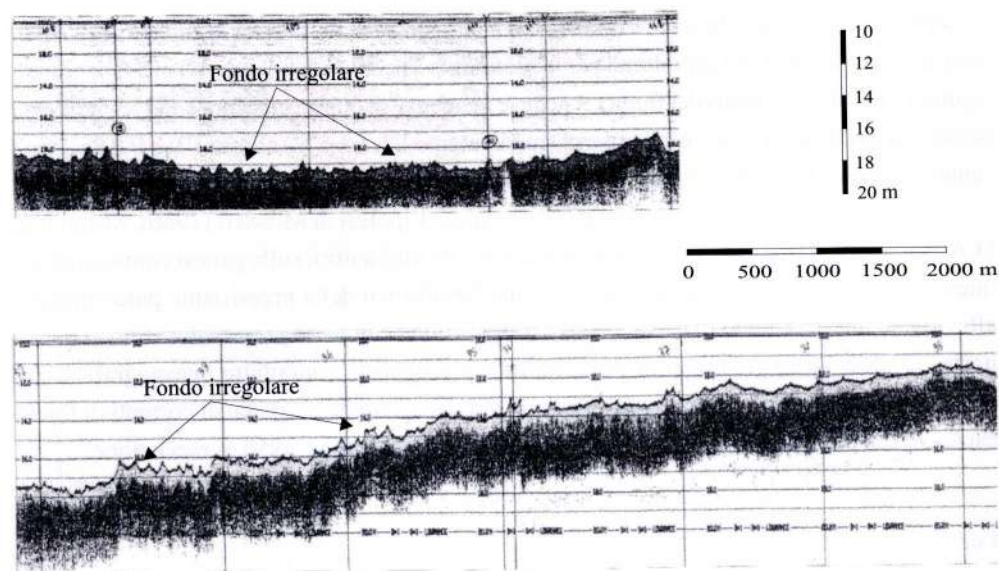


Fig. 8 - Esempi di profili ecografici di alcuni fondali irregolari.
- Echosounder records showing a sea bed rough topography.

andamento irregolare che costituiscono i resti del letto marino originario, ancora cementato dal "mattes" di *Posidonia* morta e che può raggiungere localmente spessori di 0,5-0,6 metri. Questi rialzi irregolari vengono localmente alternati a canali "intermattes" e depressioni ad andamento irregolare ben descritte da STEFANON (1985). Non ci sono ancora dati sicuri, ma sembra che anche l'intervento antropico recente, determinato da metodi di pesca con "l'aratura" dei fondali mediante mezzi turbo-soffianti, porazzare, ecc., abbia influito, almeno come evento facilitante, l'instaurarsi d'intensi processi erosivi dei fondali marini.

Invece, l'andamento irregolare nella fascia contigua a quella sopra definita sembra essere legato in misura significativa alla presenza d'affioramenti rocciosi di natura diversa, messi in luce dalla più recente trasgressione marina.

Affioramenti rocciosi

Gli attuali contributi sui caratteri geomorfici essenziali e sulla genesi degli affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste (CARESSA et al., 2001; GORDINI et al., 2002) permettono ora di fotografare e perfezionare la distribuzione geografica di questi particolari "geositi". Complessivamente, nell'area in esame sono stati individuati ca. 250 affioramenti rocciosi, distribuiti essenzialmente sulle sabbie di piattaforma e sui fianchi meridionali degli alti morfologici. Questi affioramenti sono costituiti da rocce organogene ("maërl") che si

sviluppano su fondi duri (lastroni di arenarie e marne) e presentano generalmente tipologie tabulari, che a volte seguono fedelmente l'andamento delle batimetriche regionali; altre volte, si presentano in forme isolate e compatte a panettone o in pinnacoli (Alti della Trezza).

La concentrazione massima di queste rocce si rinviene a breve distanza dalla "mid-line" con le acque slovene-croate ed è di ca. 3 affioramenti per km².

In sintesi, questi affioramenti si rinvencono mediamente alla profondità di m 17,0, hanno spessori di m 1,0, forme tabulari e si posizionano ad una distanza media dalla costa di 10,4 km. Trovano posto essenzialmente sulle sabbie di piattaforma e, morfologicamente, sulle scarpate che dagli alti morfologici diradano verso il centro del bacino. Presentano quasi sempre una serie di fratture ortogonali alla stratificazione, insieme ad altre, ad andamento casuale e "scavernamenti" o nicchie d'erosione alla base che non fanno intravedere una continuità con il substrato. Essi rappresentano un insieme di forme poligeniche (costituiti da depositi litorali e marini, ma anche alluvionali, messi a giorno dalla trasgressione Versiliana), rielaborato dai processi biologici e morfogenetici attualmente in atto sui fondali adriatici.

Manoscritto pervenuto il 13.1.2003.

SUMMARY - Echosounder records and underwater surveys carried out in the Gulf of Trieste allow the updating of our knowledge about the shape and sedimentary features of this sea sector and to depict them in a proper thematic map. The surveyed sea floor shows a series of features, both active and passive, and deposits which are the result of sedimentary and erosive processes essentially due to postglacial transgression.

Starting from the current shoreline, the marine wedge spreads out to join the central gulf floor having a mean depth of 13-15 metres. Further offshore there are a series of reliefs ("Trezze" and the "Banco della Mula di Muggia") as well as both elongated and round depressions. There are also extended subaqueous sand-dunes fields located south of the Tagliamento mouth and few incisions which dry up the basin, situated near the old Italo-Yugoslavian fishing rectangle.

The entire Gulf region however has a highly irregular sea floor characterized by modest elevations with sub-vertical walls, reduced reliefs and other carved out features including a series of rocky outcrops, almost always flat, but also pinnacle and round-shaped, which origin is still under debate.

The map presented here in a reduced format, has been drawn up at scale 1:50,000 in order to provide the basis for the future Geological Map of the Gulf of Trieste.

Bibliografia

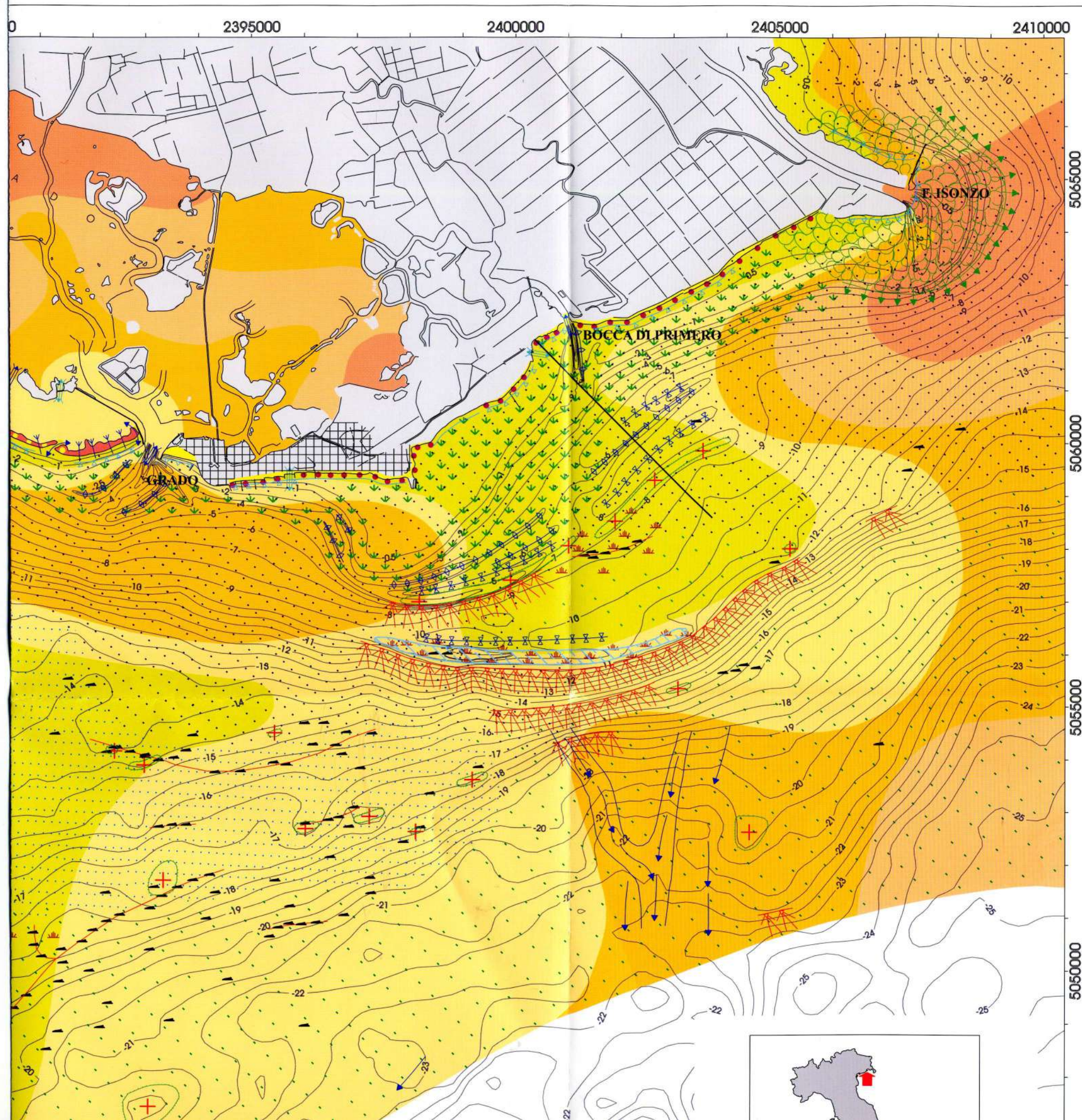
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., PASINI G. & PRETI D., 1999 - Sedimentary response to Late Quaternary sea level changes in the Romagna coastal plain (Northern Italy). *Sedimentology*, 46: 99-121.
- ASHLEY G.M., 1990 - Classification of large-scale subaqueous bedforms: A new look at an old problem. *Jour. Sedim. Petrol.*, 60: 160-172.
- BRAGA G. & STEFANON A., 1969 - Beachrock ed alto Adriatico: Aspetti paleogeografici, climatici, morfologici ed ecologici del problema. *Atti Ist. Ven. Sc. Lett. Art.*, 127: 351-359.
- BRAMBATI A., 1987 - Studio sedimentologico e marittimo-costiero dei litorali del Friuli-Venezia Giulia. *Direz. Reg. Lav. Pubb.*, pp. 66.

- BRAMBATI A., CIABATTI M., FANZUTTI G.P., MARABINI F. & MAROCCO R., 1988 - Carta sedimentologica dell'Adriatico settentrionale. *De Agostini*, Novara.
- BRAMBATI A. & MAROCCO R., 1983 - Dispersion and sedimentation of industrial waste of bauxite, blends, fluorites and phosphorites dumped in the Gulf of Venice, Italy. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, 1 (3): 215-224.
- CARESSA S., 1978 - Carta batimetrica della Trezza di Grado (scala 1:50.000).
- CARESSA S., GORDINI E., MAROCCO R. & TUNIS G., 2001 - Caratteri geomorfologici degli affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste (Adriatico Settentrionale). *Gortania-Atti Mus. Friul. St. Nat.*, 23: 5-29.
- CAVALERI L. & STEFANON A., 1980 - Bottom features due to extreme meteorological events in the northern Adriatic Sea. *Mar. Geol.*, 36: 49-64.
- CATTANEO A. & TRINCARDI F., 1999 - The late quaternary trasgressive record in the Adriatic epicontinental Sea: Basin widening and facies partitioning. *SEPM*: 127-146.
- COLANTONI P., FANZUTTI G.P. & MAROCCO R., 1985 - Geologia della piattaforma adriatica. *P.F. Oceanografia e Fondi Marini*: 49 - 85.
- CORREGGIARI A., FIELD M.E. & TRINCARDI F., 1996 - Late quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 117: 155-169.
- CORREGGIARI A., ROVERI M. & TRINCARDI F., 1996 - Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea. *Il Quaternario*, 9 (2): 697-704.
- FLEMMING B.W., 1988 - Zur Klassifikation subaquatischer stromungsstransversal Transport-Körper. *Bochumer Geologische und Geotechnische Arbeiten*, 29: 44-47.
- FONTOLAN G. & SARTORI DI BORGORICCO M., 2000 - Caratteri morfodinamici e sedimentologici della bocca lagunare di S. Andrea (Laguna di Marano). *Estratto da: La ricerca scientifica per Venezia*, II, 2: 983-991.
- GATTO F. & MAROCCO R., 1993 - Morfometria e geometria idraulica dei canali della Laguna di Grado (Friuli-Venezia Giulia). *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 16: 107-120.
- GORDINI E., MAROCCO R. & VIO E., 2002 - Stratigrafia del sottosuolo della "Trezza Grande" (Golfo di Trieste, Adriatico Settentrionale). *Gortania-Atti Mus. Friul. St. Nat.*, 24: 31-63.
- 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., 2000 - Le spiagge di Grado: situazione attuale, tendenze evolutive ed ipotesi d'intervento per il risanamento degli arenili. *Gortania-Atti Mus. Friul. St. Nat.*, 22: 5-37.
- MOSETTI F., 1966 - Morfologia dell'Adriatico settentrionale. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 8: 138-150.
- MOSETTI F. & D'AMBROSI C., 1966 - Cenni sulle vicissitudini costiere dell'Alto Adriatico dedotte dalla attuale morfologia del fondale marino. *Atti e Memorie della Com. Grotte "Eugenio Boegan"*, Trieste, 6: 19-31.
- NEWTON R. & STEFANON A., 1975a - The "Tegnue de Ciosa" area: patch reefs in the Northern Adriatic Sea. *Mar. Geol.*, 8: 27-33.
- NEWTON R. & STEFANON A., 1976 - Primi risultati dell'uso simultaneo in Alto Adriatico di Side Scan Sonar, Subbottom Profiler ed Ecografo. *Mem. Biogeogr. Adriat.*, 9, Suppl.: 33-60.
- NOVELLI G., 1996 - Gli scarichi a mare nell'alto Adriatico. *Rassegna Tecnica del Friuli-Venezia Giulia*, 3: 11-19.
- OREL G., DE WALDESTAIN W., ZAMBONI R. & GRIM F., 2000 - Realizzazione della Zona Marina Protetta del Primo mediante l'impiego di Strutture Sommerse Multi Livello. *Poster 2° Convegno Nazionale delle Scienze del Mare*, Genova.
- REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA, 1985 - Studio sedimentologico e marittimo costiero dei litorali del Friuli Venezia Giulia. 8 Volumi.
- ROSSI S., MOSETTI F. & CESCO B., 1968 - Morfologia e natura del fondo nel Golfo di Trieste (Adriatico Settentrionale fra Punta Tagliamento e Punta Salvore). *Boll. Soc. Adriat. Sc., Trieste*, 56 (2): 187-206.

- STEFANON A., 1967 - Formazioni rocciose del bacino dell'Alto Adriatico. *Atti Ist. Ven. Sc. Lett. Arti*, 125: 79-85.
- STEFANON A., 1979 - Gli affioramenti rocciosi dell'Alto Adriatico: considerazioni sulla loro distribuzione, struttura ed evoluzione, nel contesto della problematica del bacino. *Conv. PF Oceanografia e Fondi Mar.*: 1233-1242, Roma.
- STEFANON A., 1984 - Sedimentologia del mare Adriatico: Rapporti tra erosione e sedimentazione olocenica. *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, II, 4: 281-324.
- STEFANON A., 1985 - Marine sedimentology through modern acoustical methods: I. Side Scan Sonar. *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, III, 1: 3-38.
- STEFANON A. & MOZZI C., 1972 - Esistenza di rocce organogene nell'Alto Adriatico al largo di Chioggia. *Atti Ist. Ven. Sc. Lett. Arti*, 130: 495-499.
- STEFANON A. & MOZZI C., 1973 - Rock outcrops in the Northern Adriatic Sea. *Scien. Div. Inter.*: 203-206.
- TRINCARDI F., CORREGGIARI A. & ROVERI M., 1994 - Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: the Adriatic Semienclosed Basin. *Geo-Marine Letters*, 14: 41-51.
- UNIVERSITÀ DI TRIESTE, 1989 - Ricerche sui sedimenti e sui popolamenti bentonici. Ricerche idrologiche e biologiche nell'Alto Adriatico. *Convenzione tra il Ministero degli Affari Esteri e l'Università degli Studi di Trieste*: 1-6.

Indirizzi degli Autori - Authors' addresses:

- dott. Emiliano GORDINI
Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS
B.go Grotta Gigante 42/C, I-34010 SGONICO TS
E-mail: egordini@ogs.trieste.it
- Stefano CARESSA
Riva G. Garibaldi 14, I-34073 GRADO GO
- prof. Ruggero MAROCCO
Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine
dell'Università degli Studi di Trieste
Comprensorio San Giovanni, Via E. Weiss 2, I 34127 TRIESTE
E-mail: Marocco@univ.trieste.it



GORTANIA

ATTI DEL MUSEO FRIULANO DI STORIA NATURALE

VOL. 25 - 2003

UDINE

E. GORDINI, S. CARESSA, R. MAROCCO

CARTA MORFO-SEDIMENTOLOGICA DEL GOLFO DI TRIESTE DA P.TA TAGLIAMENTO ALLA FOCE DELL'ISONZO (ADRIATICO SETTENTRIONALE)

MORPHO-SEDIMENTOLOGICAL MAP OF TRIESTE GULF FROM P.TA TAGLIAMENTO TO ISONZO MOUTH (NORTHERN ADRIATIC SEA)

LEGENDA Legend

GEOMORFOLOGIA Geomorphology

FORME E DEPOSITI DI SPIAGGIA SOTTOMARINA E DI PIATTAFORMA INTERNA Shoreface and inner shelf forms and deposits

	Asse di barra sottomarina Axis of submarine bar		Alti morfologici Reliefs
	Asse di truogolo Axis of trough		Scarpata in sabbia Sandy scarp
	Delta attuale Actual river delta		Campo di dune subacquee Sand-dune field
	Fronte di delta Delta - front		Cresta di grande duna subacnea Crest of large submarine dune
	Delta progradante Prograding river delta		Paleo-alveo a) certo b) incerto Palaeogully a) certain b) uncertain
	Depressione chiusa Enclosed depression		Allineamento di affioramenti rocciosi Alignment of rocky outcrops
	Rilievo isolato Isolated relief		Superficie debolmente ondulata Weakly wavy surface
	Prateria a fanerogame Fanerogame prairie		Prisma sedimentario costiero Marine wedge
	Superficie irregolare Rugged surface		Mattes di Posidonia morta Roots of dead Poseidonia

FORME E DEPOSITI LITORALI E LAGUNARI Coastal and lagoonal forms and deposits

	Cordone litorale sabbioso Sandy beach ridge		Isobata Contour
	Cordone litorale con dune Beach dune ridge		Rotta Overwash
	Spiagge sabbiose Sandy beaches		Varco Inlet
	Linea di riva stabile Stable shoreline		Bocca lagunare attiva Active delta inlet
	Linea di riva in erosione Retreating shoreline		Bocca lagunare occlusa Barrage delta inlet
	Linea di riva in progradazione Prograding shoreline		

FORME ANTROPICHE Forms due to human activity

**MORPHO-SEDIMENTOLOGICAL MAP OF TRIESTE GULF
FROM P.T.A TAGLIAMENTO TO ISONZO MOUTH
(NORTHERN ADRIATIC SEA)**

LEGENDA Legend

GEOMORFOLOGIA
Geomorphology

FORME E DEPOSITI DI SPIAGGIA SOTTOMARINA E DI PIATTAFORMA INTERNA
Shoreface and inner shelf forms and deposits

	Asse di barra sottomarina Axis of submarine bar		Alti morfologici Reliefs
	Asse di truogolo Axis of trough		Scarpata in sabbia Sandy scarp
	Delta attuale Actual river delta		Campo di dune subacquee Sand-dune field
	Fronte di delta Delta - front		Cresta di grande duna subacnea Crest of large submarine dune
	Delta progradante Prograding river delta		Paleo-alveo a) certo b) incerto Palaeogully a) certain b) uncertain
	Depressione chiusa Enclosed depression		Allineamento di affioramenti rocciosi Alignment of rocky outcrops
	Rilievo isolato Isolated relief		Superficie debolmente ondulata Weakly wavy surface
	Prateria a fanerogame Fanerogame prairie		Prisma sedimentario costiero Marine wedge
	Superficie irregolare Rugged surface		Mattes di Posidonia morta Roots of dead Poseidonia

FORME E DEPOSITI LITORALI E LAGUNARI
Coastal and lagoonal forms and deposits

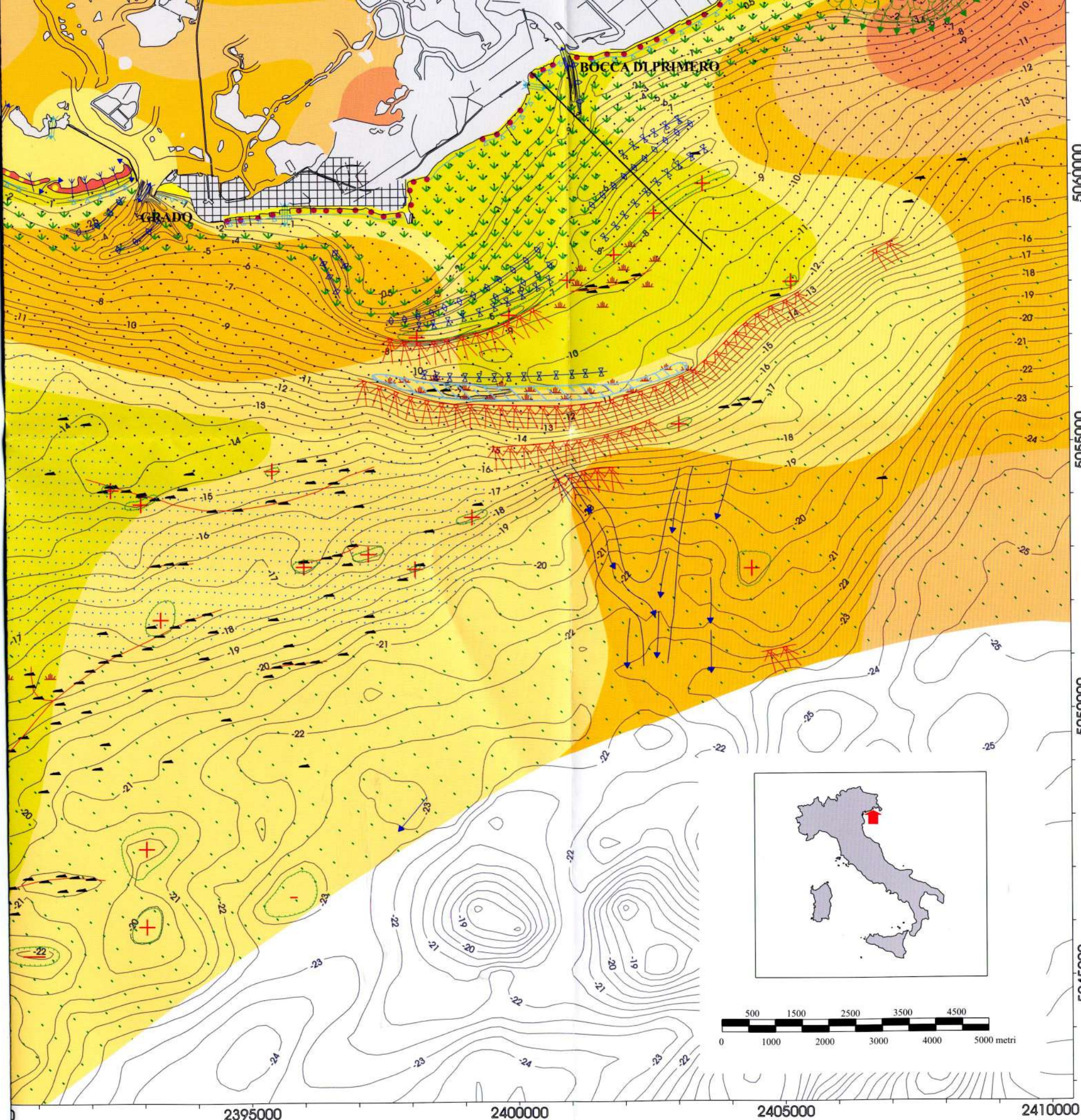
	Cordone litorale sabbioso Sandy beach ridge		Isobata Contour
	Cordone litorale con dune Beach dune ridge		Rotta Overwash
	Spiagge sabbiose Sandy beaches		Varco Inlet
	Linea di riva stabile Stable shoreline		Bocca lagunare attiva Active delta inlet
	Linea di riva in erosione Retreating shoreline		Bocca lagunare occlusa Barrage delta inlet
	Linea di riva in progradazione Prograding shoreline		

FORME ANTROPICHE
Forms due to human activity

	Spiaggia artificiale Artificial beach		Opere di difesa aderenti Seawall revetment
	Area urbanizzata Urbanized area		Pennello, scogliera, diga Groyne, breakwater, sea ward
	Argine Dike		Condotta subacnea Pipeline

TESSITURA DEL FONDALE MARINO
Texture of marine floor

	Pelite Pelite		Sabbia pelitica Pelitic sand
	Pelite sabbiosa Sandy pelite		Sabbia litorale e di piattaforma Littoral or shelf sand
	Pelite molto sabbiosa Very sandy pelite		Affioramento roccioso Rocky outcrop



2375000

2380000

2385000

2390000

2395000

2400000

5065000

5060000

5055000

5050000

