

E. GORDINI, R. MAROCCO, E. VIO

STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO DELLA "TREZZA GRANDE"
(GOLFO DI TRIESTE, ADRIATICO SETTENTRIONALE)*

*SUBSURFACE STRATIGRAPHY OF "TREZZA GRANDE" BANK
(GULF OF TRIESTE, NORTHERN ADRIATIC SEA)*

Riassunto breve - L'analisi di facies applicata a quattro sondaggi a carotaggio continuo, eseguiti nel Golfo di Trieste a cavallo dell'alto morfologico della Trezza Grande, ha permesso di definire l'evoluzione Tardiglaciale-olocenica di questa parte più settentrionale dell'Adriatico. L'integrazione di questi risultati con le conoscenze già acquisite sull'evoluzione dell'area costiera veneto-friulana, ha fornito un ulteriore tassello che meglio precisa le risposte sedimentologiche del settore occidentale del Golfo di Trieste all'innalzamento marino postglaciale e alla subsidenza.

Parole chiave: Lito-biofacies, Datazioni radiocarbonio, Sedimentazione marina, Tardiglaciale-Olocene, Adriatico settentrionale.

Abstract - *The litho-biofacies analysis of four boreholes (vibrocores) carried out in the Gulf of Trieste at both sides of the bank called Trezza Grande, has allowed to define Late Glacial-Holocene evolution of the northernmost part of the Adriatic Sea. The exposed results, integrated with previous knowledge on the evolution of venetian-friulian coastal area, have provided further items, thus helping to better understand the sedimentological response of the western sector of the Gulf of Trieste to Postglacial sea-level increase and to subsidence.*

Key words: *Litho-biofacies, ¹⁴C age, Marine sedimentation, Late Glacial, Holocene, Northern Adriatic Sea.*

Introduzione

Il presente lavoro ha l'obiettivo di definire le vicende geologiche recenti del Golfo di Trieste sulla base dell'analisi stratigrafica di una serie di sondaggi, effettuati a carotaggio continuo, nell'area occupata dalle "sabbie di piattaforma". Queste terebrazioni erano state eseguite seguendo l'allineamento d'altri sondaggi a mare, precedentemente fatti, e hanno interessato le aree a cavallo dell'alto morfologico della Trezza Grande. I sondaggi a mare,

* Lavoro eseguito con i contributi M.U.R.S.T. - Fondi 60 % (Cartografia tematica del Friuli-Venezia Giulia e regioni finitime; responsabile: R. Marocco).

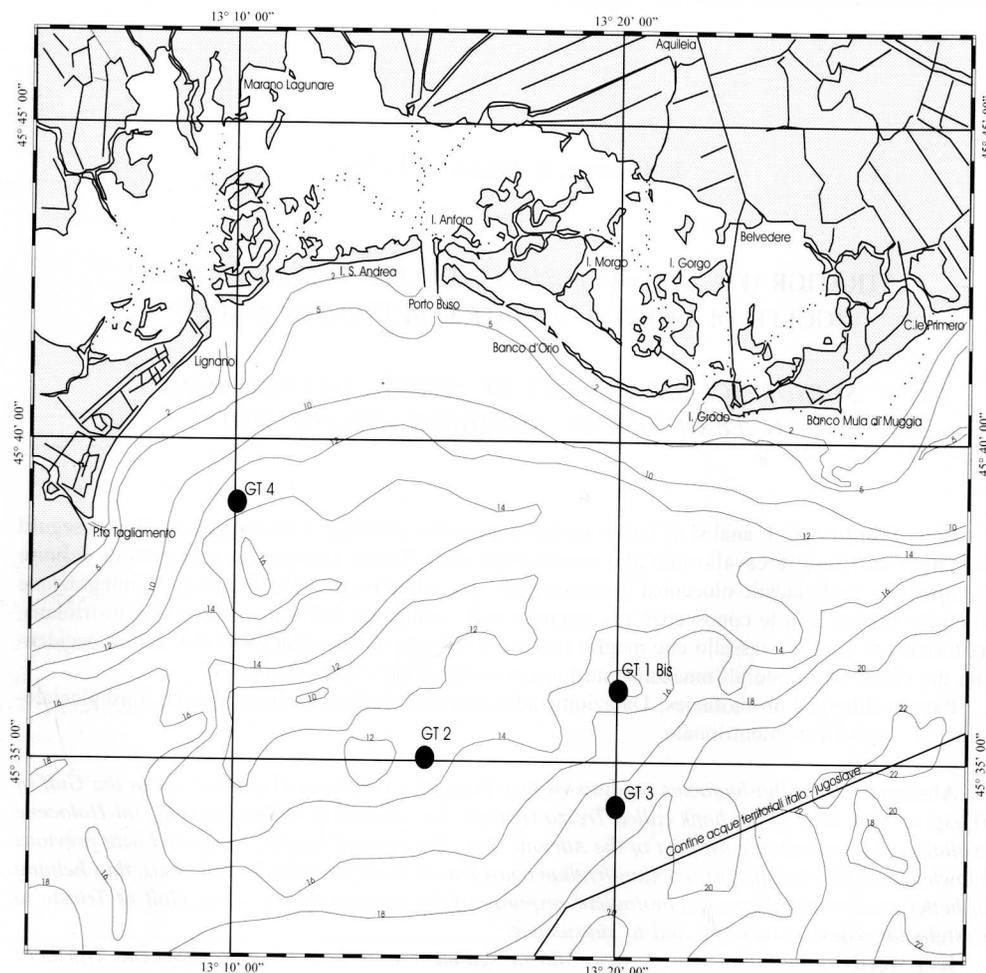


Fig 1 - Golfo di Trieste: batimetria ed ubicazione dei sondaggi.
 - *Gulf of Trieste: bathymetry and borehole locations.*

Sondaggio	Latitudine (Nord)	Longitudine (Est)	Battente d'acqua (m)	Lunghezza (m)
GT1bis	45° 36' 09"	13° 20' 01"	14,5	2,30
GT2	45° 35' 03"	13° 15' 00"	13,5	5,43
GT3	45° 34' 18"	13° 20' 01"	20	2,70
GT4	45° 39' 00"	13° 10' 04"	14	5,10

Tab. I - Ubicazione, battente d'acqua e lunghezza delle carote prelevate.
 - *Location, head of water and length of vibrocores.*

poi, sono stati programmati in modo da raccordarsi con alcuni transetti stratigrafici già eseguiti in terraferma (MAROCCO et al., 1984; MAROCCO, 1988; 1989; 1991; 1994).

In particolare, per questo studio sono stati recuperati tre sondaggi stratigrafici eseguiti in una campagna oceanografica (del 1984) che aveva la finalità di definire la genesi e la potenza delle sabbie di piattaforma dell'Alto e Medio Adriatico, anche al fine di quantificare la loro possibile utilizzazione per il ripascimento delle spiagge. A completamento della ricostruzione stratigrafica dell'area, è stato aggiunto un ulteriore quarto sondaggio GT2, analizzato precedentemente in una tesi di laurea (FRANGIPANI, a.a. 1984-85; Relatori: Brambati, Fanzutti e Marocco) e completamente rivisto e rielaborato per il presente studio (fig. 1).

I sondaggi sono stati eseguiti con Vibrocarotatore AIMES-McLEAN di 6 metri, dalla nave oceanografica Bannock del C.N.R. (nell'agosto del 1984, fig. 2). Una volta recuperato il carotiere ed estratto il suo contenuto, sono stati ricavati spezzoni di carota di circa cm 120 di lunghezza, immediatamente sigillati con paraffina, tappi in PVC e nastro adesivo.

Le carote sono state successivamente aperte nel laboratorio del Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università di Trieste, quindi fotografate, descritte e campionate seguendo un criterio litologico, micropaleontologico, paleontologico, mineralogico e cronostatigrafico (prelevando campioni di materiale organico passibili di datazione radiometrica con ^{14}C). Metà della carota è stata conservata ed archiviata al fine di permettere l'esecuzione d'ulteriori analisi che si rendessero necessarie, per un eventuale riscontro dei risultati ottenuti e per possibili confronti futuri.

Nella descrizione degli spezzoni di carotaggio particolare attenzione è stata rivolta:

- al grado di disturbo del fondale marino originale a seguito dell'operazione di carotaggio (sifonamento, rottura degli stati, ecc.);
- ai limiti delle unità litostratigrafiche;
- alla descrizione di dettaglio dei depositi;
- al colore seguendo la MUNSELL SOIL COLOR CHARTS;
- alla litologia, tessitura, consolidamento o cementazione degli stati;
- alla presenza d'eventuali strutture sedimentarie;
- alla presenza di malacofaune, microfaune, sostanza organica, screziature ecc.

La campionatura dei sedimenti è stata svolta ad ogni cambiamento significativo della litologia degli strati e in corrispondenza di orizzonti passibili di datazione radiometrica. La classificazione degli strati è quella di CAMPBELL (1967). Tutte queste operazioni sono state restituite in apposite colonne stratigrafiche (fig. 3).

Le analisi granulometriche sono state attuate con il metodo tubo di sedimentazione Macrogranometro-Brezina, per la frazione sabbiosa ($> 50 \mu\text{m}$) e sedigrafo mod. Micromeritics 5000 RT, per quella pelitica ($< 50 \mu\text{m}$). La classificazione tessiturale adottata è quella di NOTA

(1958). Le analisi paleoecologiche sono state rivolte essenzialmente alla determinazione delle malacofaune (molluschi) e microfaune (foraminiferi ed ostracodi). I campioni di sedimento sono stati disagregati (con H_2O_2 a debole concentrazione), lavati con setaccio da 50 maglie/cm (frazione grossolana) e 6400 maglie/cm (frazione fine) e quindi analizzati al microscopio.

I parametri statistici elementari dei sedimenti sono stati calcolati secondo FOLK & WARD (1957). Lo studio sedimentologico dei depositi è stato impostato essenzialmente al fine di definire la loro genesi (utilizzando diagrammi binari) e la loro modalità di trasporto e di sedimentazione (diagramma CM di PASSEGA, 1957; 1964).

I metodi adottati in questo studio sono stati riportati in MAROCCO et al. (1996). In

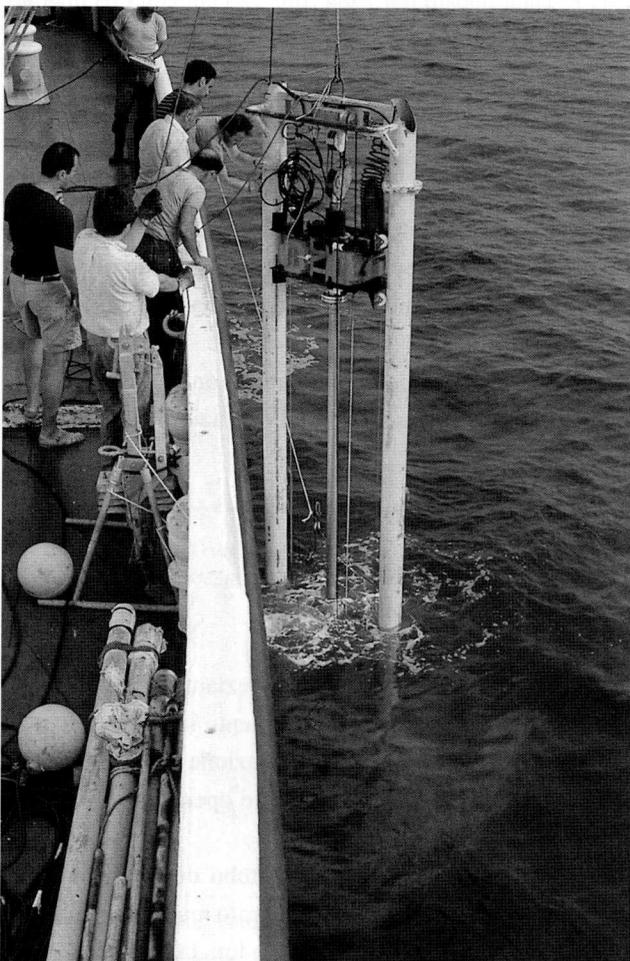


Fig. 2 - Fase di recupero del Vibrocarotatore AIMES-McLEAN di 6 metri (N/O Bannock).
- Recovering of the 6m AIMES-McLEAN vibrocorer (N/O Bannock).

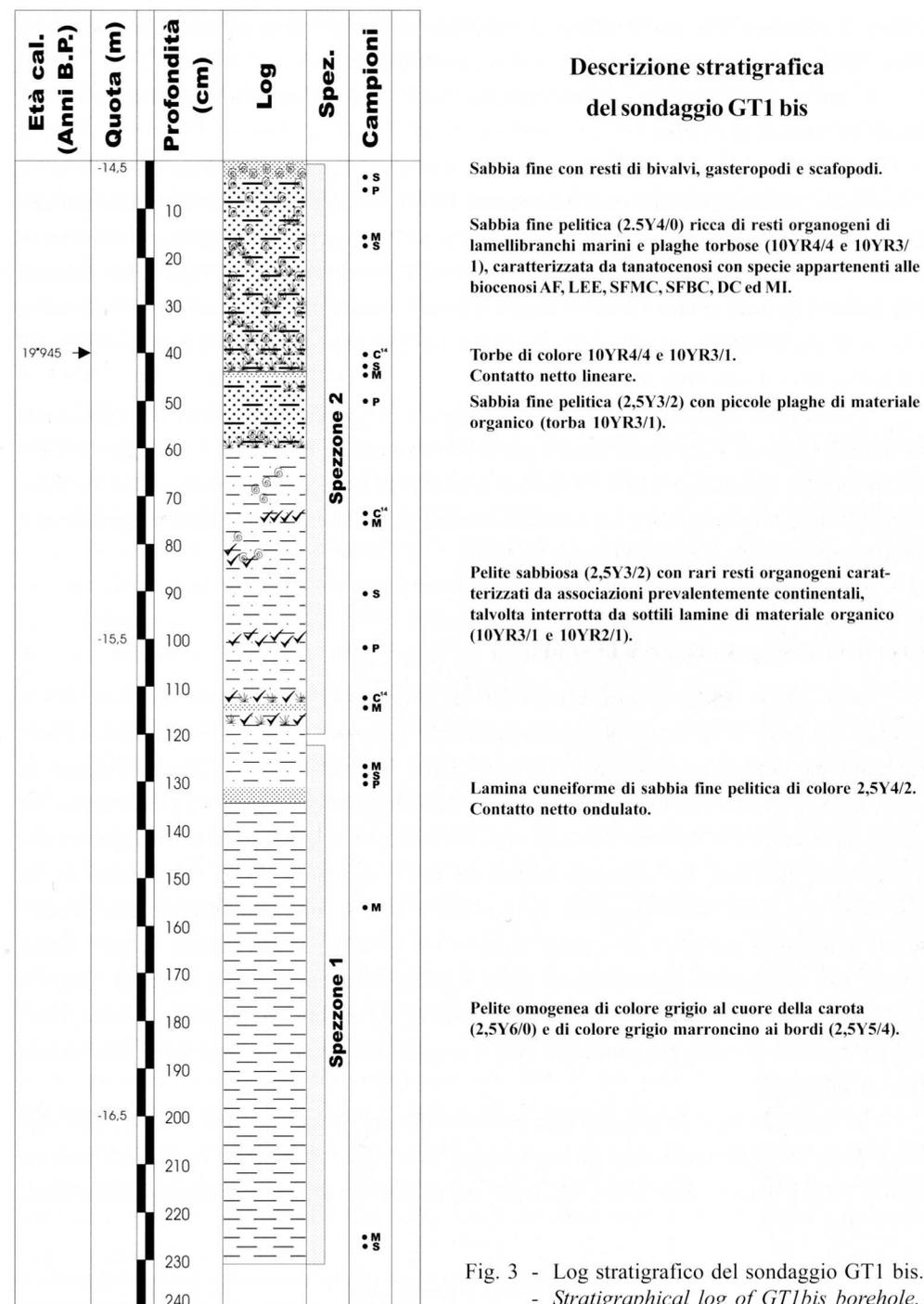


Fig. 3 - Log stratigrafico del sondaggio GT1 bis.
- Stratigraphical log of GT1bis borehole.

sintesi, le caratteristiche paleoambientali dell'immediato sottosuolo dell'area esaminata sono state definite utilizzando criteri lito-, bio- e cronostratigrafici.

L'analisi litostratigrafica è stata eseguita descrivendo i depositi con il sistema adottato da AMOROSI et al. (1999).

Le analisi biostratigrafiche hanno riguardato la determinazione di molluschi, foraminiferi, ostracodi e sono state utilizzate al fine di definire l'ambiente di sedimentazione essenzialmente in base ai criteri di PERES & PICARD (1964) per le macrofaune, di SGARRELLA & MONCHARMONT ZEI (1993), di MAROCCO et al. (1996), AMOROSI et al. (1999) per le microfaune. Per quanto riguarda le microfaune, l'analisi è stata eseguita in modo qualitativo nella maggior parte dei sondaggi, ad eccezione del GT 4, dove si sono studiati con maggior dettaglio i foraminiferi ed ostracodi presenti ⁽¹⁾.

Le datazioni radiometriche sono state condotte con l'acceleratore lineare del Laboratoire de Hydrologie et de Géochimie Isotopique dell'Università di Parigi Sud (sondaggio GT2) e con il metodo standard e AMS - Standard delivery da parte del laboratorio Beta Analytic Inc di Miami, Florida (USA). La calibrazione dell'età radiocarbonio è stata eseguita con il metodo proposto da SUIVER & REIMER (1993).

Caratteri geologici dell'area in studio

Il sottosuolo dell'area costiera del Golfo di Trieste è stato studiato da MARTINIS (1957), ripreso in MAROCCO (1989) e più recentemente da BARNABA (1990). Il substrato roccioso, costituito da molasse mioceniche, si colloca a circa 500 metri dal p. c. (Pozzo Cesarolo 1, Agip) ed è sormontato da una potente coltre di depositi clastici neogenici e pleistocenici. La coltre sedimentaria è formata dall'alto verso il basso da 8 metri di depositi lagunari che sormontano alluvioni con orizzonti torbosi (m 8-45) e, a circa 45-69 metri dal p. c., da sedimenti con faune litorali-lagunari. Ancora più in basso, dopo uno strato potente di sedimenti d'ambiente neritico con episodi lagunari (m 69-143), si rinvengono depositi continentali che sormontano sedimenti con faune d'ambiente ancora litorale-lagunare. Questi a loro volta ricoprono alluvioni ghiaiose (m 186-252). Al di sotto di questa profondità, ritornano i depositi di mare profondo che con sequenze trasgressive e regressive, continuano fino al substrato.

La geologia superficiale dell'area costiera friulana (MAROCCO et al., 1984; MAROCCO, 1988; 1989; 1991; 1994) e veneta (MAROCCO et al., 1996; GALASSI & MAROCCO, 1999; LENARDON et al., 2001) è determinata da una trasgressione di depositi lagunari sulla piana alluvionale

(1) Le analisi sono state eseguite dai colleghi N. Pugliese (ostracofaune) e R. Melis (foraminiferi) cui va il nostro più vivo ringraziamento.

retrostante e da locali regressioni deltizie, prodotte da diversioni fluviali. Segnatamente nell'area di Caorle l'omonima laguna si è instaurata nell'attuale posizione almeno 9.000 anni fa e, poi, con alterne vicende ha iniziato una progressiva trasgressione sul retroterra fino a ca. 1100 anni fa, quando ebbe inizio il suo progressivo ricoprimento da parte delle gittate fluviali tilaventine. Più ad oriente, la costa è stata condizionata dalle recenti divagazioni dei fiumi Tagliamento ed Isonzo. Il primo si è aperto un varco sulla preesistente laguna di Marano (presente nell'area almeno da 5.540 anni) e si è accresciuto fino alla situazione attuale, in almeno 2.000 anni. Ancora più ad Est, il territorio dell'attuale laguna di Grado era terraferma solcata da fiumi del sistema isontino quando gli ambienti deltizi e lagunari occidentali erano già formati. Secondo stime, rafforzate da indicazioni archeologico-giuche, l'età della laguna dovrebbe collocarsi in epoca post-romana.

Per quanto riguarda, invece, le conoscenze sui sedimenti e sulle morfologie del settore occidentale del Golfo di Trieste si rimanda al recente lavoro di CARESSA et al. (2001). Il sottofondo dell'area del Golfo di Venezia e parte di quello di Trieste è stato recentemente oggetto di studio da parte di TRINCARDI et al. (1994) e CORREGGIARI et al. (1996). In sintesi, dalla linea di riva fino alla profondità di 12 metri ca. si estende il cuneo sedimentario litorale che rappresenta il corpo sedimentario dei depositi fluviali attuali o recenti di stazionamento alto (HST d'età 5.500 anni BP con una culminazione del livello del mare relativo attorno ai 3000 anni BP). Segue un fondale con caratteri molto articolati dove insistono alti morfologici regionali (ad occidente del Golfo quello della Trezza Grande, ad oriente quello della Trezza Piccola e del Banco di Santa Croce; STEFANON & WEZEL, 1983), divisi da lievi avvallamenti mossi da modeste elevazioni determinate da "mattes" di *Posidonia* e da numerosi affioramenti rocciosi. In analogia al Golfo di Venezia, quest'area dovrebbe rappresentare il corpo sedimentario trasgressivo (TST, che si è costruito nell'arco di tempo da 18.000 anni BP a 5.500 anni BP, con momenti di stasi o iato di sedimentazione), composto da depositi paralicci o marini che poggiano su una superficie trasgressiva (Ts) che taglia i depositi continentali (LST). Al largo di Ravenna (COLANTONI et al., 1990), alla profondità di ca. m 40, i sedimenti di LST sono rappresentati da depositi di barriera-laguna che sormontano letti residuali di conchiglie di spessore di cm 5-20 (superficie di "ravinement"). Nel sottosuolo dell'area costiera romagnola (AMOROSI et al., 1999) si riconosce una sequenza trasgressiva, con depositi alluvionali (posti da 20 a 35 metri dal p. c.) che vengono erosi e ricoperti da sedimenti di barriera-laguna (8.800-6000 BP), con un notevole iato di sedimentazione (da 25.000 a 8.800 anni BP) e verso terra, da una sequenza trasgressiva, rappresentata da depositi di laguna, piana deltizia, e delta (posti da 15-20 metri di profondità al p. c. e con età da 6000-800 BP), chiusi dai depositi dell'attuale piana alluvionale alimentata dagli apporti del Po.

Più a NE, nella baia di Capodistria (OGORELEC et al., 1997), i sedimenti marini più

antichi (datati 11.000-10.000 anni fa) sormontano le alluvioni del F. Risano a ca. 26 metri di profondità.

La subsidenza regionale assume per i depositi quaternari del bacino padano un valore medio di ca. 2 mm/anno (BONDESAN et al., 1995). Questo valore d'abbassamento del suolo per cause naturali, comunque, non è costante nell'area costiera della Pianura Padana. Recenti lavori di GAMBOLATI (1998) dimostrano, su base di dati anche attuali, che la subsidenza varia da < 0,5 mm/anno dei margini settentrionali e meridionali del bacino (Monfalcone, Rimini, Cattolica), a valori massimi nell'area centrale del bacino e più specificatamente nel sottosuolo del delta padano, pari a 3,5-5,0 mm/anno (area di Ravenna, 1,5-2,5 mm/anno).

Analisi dei sondaggi

Sondaggio GT1

A soli pochi metri dal punto di coordinate del sondaggio GT1bis e con lo stesso battente d'acqua, è stato operato un primo tentativo di carotaggio (GT1) che ha permesso il solo recupero di pochi dm di sedimento. La penetrazione s'interruppe in coincidenza di un livello di sabbia addensata. Il fondo marino attraversato (per soli cm 31,5), evidenzia, dal basso verso l'alto, un grumo di sabbia cementata, di dimensioni centimetriche e piccoli frammenti arrotondati, della stessa natura, che vengono sormontati da una sabbia fina pelitica (2,5 Y 3/2), ricca di tritume di lamellibranchi e gasteropodi e con una valva centimetrica d'*Ostrea edulis*. A cm 14 dal tetto, la sabbia cambia leggermente colore (2,5 Y 4/2) e presenta frammenti organogeni in numero minore.

Sondaggio GT1bis

Il sondaggio GT1bis è geograficamente ubicato su di un alto morfologico, conosciuto dai pescatori di Grado con il nome di "San Piero". Si tratta di un gruppo di rilievi subacquei di modesta estensione e con una massima elevazione di circa due metri dal fondale marino circostante. Il sondaggio è costituito da due carote (SP2 e SP1), rispettivamente di lunghezza di cm 122 e di cm 110.

Litostratigrafia

La parte basale del sondaggio, da cm 232 a 134, è risultata molto disturbata dalle operazioni di carotaggio (presentando evidenti fenomeni di sifonamento). È costituita da depositi pelitici, abbastanza omogenei, di colore grigio al cuore della carota (2,5 Y 6/0) e grigio marroncino, ai bordi (2,5 Y 5/4). Questi depositi sono chiusi verso l'alto da un contatto netto ondulato (a cm 134), rappresentato da una lamina media cuneiforme, di sabbia medio-fina,

pelitica (2,5 Y 4/2). Questa lamina diviene ancora verso l'alto (a cm 120) sempre più pelitica, mettendo in evidenza una mini gradazione positiva e una piccola variazione di colore (2,5 Y 5/2).

Da cm 120 a 115, è presente un sedimento pelitico-sabbioso, con inclusi sottili livelli organici di colore marrone scuro (10 YR 3/2). Segue, dopo un contatto netto, una lamina (da cm 115,0 a 113,5), costituita da sabbia media e chiusa da un altro contatto netto con peliti sabbiose.

Da cm 113,5 a 60, sono presenti peliti sabbiose (2,5 YR 3/2) che talvolta vengono interrotte da sottili lamine e nuclei sparsi di materiale torboso (10 YR 3/2 - 10 YR 2/1) e materiale organogeno (frammenti di gasteropodi e lamellibranchi marini, ma anche di faune continentali).

Alla profondità da 60 a 44 centimetri dal tetto, è presente una sabbia fina pelitica, con lamine inclinate (letto) e plaghe di materiale organico. Lo strato termina con una sottile lamina di sabbia fina.

Da cm 44 a 38 si rinviene uno strato di torba di colore diverso (chiare 10 YR 4/4 e scure 10 YR 3/1) con all'interno un nodulo centimetrico di sabbia.

Segue verso l'alto (cm 38 a 5), una sabbia pelitica (2,5 Y 4/0), ricca di resti organogeni di lamellibranchi marini e di noduli torbosi (10 YR 4/4 e 10 YR 2/1).

Da cm 5 al top del sondaggio, un contatto inclinato graduale, evidenzia un sedimento costituito da sabbia media con bivalvi marini di piccole dimensioni e scafopodi.

Biostratigrafia

Malacofauna

In questo sondaggio sono stati analizzati quattro campioni ubicati rispettivamente alle profondità di 4-9, 48-52, 100-103 e 129-132 centimetri dal top. Nei primi centimetri del sondaggio sono presenti tanatocenosi con specie appartenenti alle biocenosi delle Sabbie Fini di Moda Calma SFMC (*Abra alba*, *Cerithium vulgatum*, *Gibbula adansoni*, *Lucinella divaricata*, *Nassarium pygmaeus*, *Parvicardium exiguum*), delle Sabbie Fini Ben Calibrate SFBC (*Chamelea gallina*), del Detritico Costiero DC (*Aequipecten opercularis*, *Gouldia minima*, *Modiolarca subpicta*, *Pecten jacobaeus*, *Tellina donacina*), ma soprattutto numerose specie del piano infralitorale AF (Alghe Fotofile), accompagnate da singoli rappresentanti delle biocenosi Lagunare Eurialina Euriterma LEE e di quelle dei Fondi Mobili Instabili MI, secondo la classica definizione di PERES & PICARD (1964). Alle profondità maggiori (cm 48-52), le associazioni si arricchiscono di specie appartenenti alla biocenosi MI (*Corbula gibba*, *Tellina distorta*) dei fondi mobili instabili e di altre specie tipicamente terrestri o fluviali (Pulmonata, *Pisidium* spp.). Ancora più in profondità (cm 100-103), le malacofaune

prevalenti divengono continentali a parte un frammento di gasteropode litorale. L'ultimo campione di sedimento indagato (cm 129-132) risulta sterile.

Microfauna

L'analisi speditiva di un unico campione indagato (cm 45-46 dal top), indica la presenza di una fauna marina rimaneggiata.

Cronostratigrafia

È stato datato il campione di torba ubicato a cm 39-42 dal top del sondaggio. L'età convenzionale è di 16.740 +/- 340 BP. Il risultato della calibrazione ha fornito un'età di 19.945 cal. BP con un intervallo di età probabili (2 Sigma, 95% di probabilità) comprese tra 21.050 e 18.870 BP. La torba, pertanto si è deposta in un periodo che comprende le ultime fasi del Würm III e l'inizio del Tardiglaciale.

Ambiente di sedimentazione

Il sondaggio può essere descritto in due unità sedimentarie fondamentali: una unità

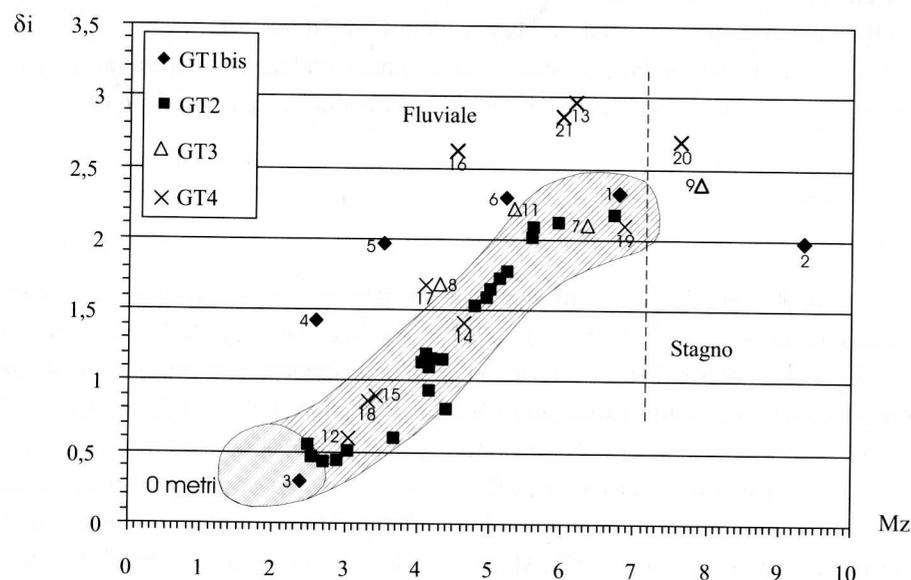


Fig. 4 - Diagramma Mz- δ_i relativo ai sedimenti dei sondaggi del Golfo di Trieste. L'area retinata definisce il campo dei depositi di spiaggia sottomarina (BRAMBATI et al., 1982) ed emersa (LENARDON & MAROCCO, 1994) del Friuli-Venezia Giulia.

- Mz- δ_i graph for core sediments of the Gulf of Trieste. The grey area defines sectors of submarine (BRAMBATI et al., 1982) and emerged (LENARDON & MAROCCO, 1994) beach deposits of Friuli-Venezia Giulia region.

superficiale (cm 0-44 dal top), con carattere prettamente marino-litorale, separata dall'unità continentale sottostante (da cm 44 a 231), da un orizzonte di torba.

La parte basale del sondaggio, costituita da pelite omogenea di colore grigio, priva di macrofauna, rappresenta i classici depositi continentali di una piana d'esonazione e di uno stagno (camp. 2 di fig. 4), trasportati da una sospensione gradata-tendente al rotolamento (camp. 5 di fig. 5) e una sospensione uniforme (camp. 1, 2 e 6 di fig. 5). Secondo lo schema di AMOROSI et al. (1999), questa parte del sondaggio presenta i requisiti della litofacies A e, segnatamente, A1. Segue poi, una successione di depositi progressivamente più sabbiosi, alternati da sottili lamine torbose che diventano veri e propri orizzonti di torba al top. Qui si rinvencono mini-sequenze d'esonazione, con gradazione positiva e verso l'alto, una sequenza a gradazione negativa. La parte più bassa della successione presenta specie tipicamente terrestri o fluviali (Pulmonata e *Pisidium* spp.) che si arricchiscono verso l'alto di macro e microfauna d'ambiente marino, rimaneggiate. Tutti questi portano alla determinazione di una successione di litofacies di tipo A3 (fining-upward) e A4 (coarsening-upward) che rappresentano depositi d'esonazione e quelli di *crevasse* in una piana alluvionale prossima al mare. L'unità viene chiusa da una torba continentale, con inclusi lembi di depositi sabbiosi, di età calibrata 19.945 anni BP.

La parte apicale del sondaggio viene caratterizzata da sabbia fina pelitica, ricchissima di resti organici al letto e al tetto sempre di sabbia fina pelitica con resti organogeni, tipici di

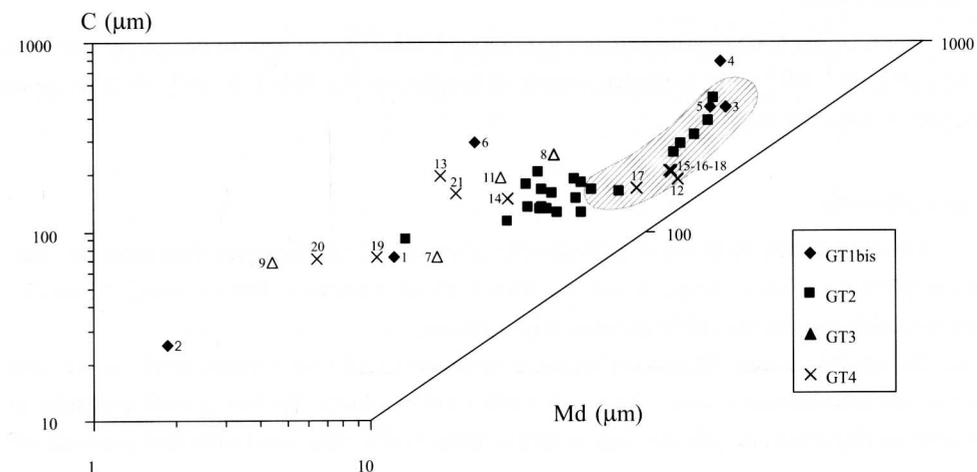


Fig. 5 - Diagramma CM di Passega relativo ai sedimenti dei sondaggi del Golfo di Trieste. L'area retinata definisce il campo dei depositi di spiaggia sottomarina (BRAMBATI et al., 1982) del Friuli-Venezia Giulia.

- Passega's CM graph for core sediments of the Gulf of Trieste. The grey area defines sectors of submarine) beach deposits of Friuli-Venezia Giulia region (BRAMBATI et al., 1982).

specie infralitorali, che si posizionano, usualmente, tra la linea di costa e una prateria sottomarina. In quest'unità si trovano anche malacofaune e microfaune ascrivibili ad ambienti con scarso idrodinamismo (ambienti protetti da barre o cordoni lagunari). Anche i dati sedimentologici e in particolare i parametri Mz e δ_i (camp. 3 di fig. 4) evidenziano per i depositi più superficiali un carattere francamente litorale (contraddistinto da sedimenti sabbiosi medio-fini, ben classati e arrotondati, molto simili a quelli che si trovano attualmente nelle spiagge intertidali e sottomarine del delta del Tagliamento, BRAMBATI et al., 1981). Tutti questi elementi portano alla collocazione dell'unità nell'ambito di un ambiente d'acque basse (facies M di AMOROSI o. c.) e più precisamente di una facies infralitorale, cui si è sovrapposto, per trasgressione, l'ambiente circalitorale attuale determinato dalla presenza di biocenosi del Detritico Costiero, tipiche delle Trezze di Grado (OREL & VIO, 1985).

In sintesi, per l'intero sondaggio s'ipotizza una sequenza sedimentaria interrotta da episodi erosivi, con alla base depositi di un ambiente di piana continentale contraddistinti da episodi d'esonazione e di "crevasse" che hanno interessato settori di piana alluvionale più prossimi al mare e chiusi da un livello di torba. Sopra questo livello si posizionano, a seguito dell'innalzamento relativo del livello marino, depositi di un ambiente marino franco con sedimenti infralitorali e, successivamente, circalitorali.

Sondaggio GT2

Il sondaggio GT2 (analizzato da FRANGIPANI, 1984-85), è costituito da cinque spezzoni (SP5, SP4, SP3, SP2 e SP1) rispettivamente di lunghezza: 93, 104, 108, 107 e 108 centimetri, per un totale di cm 543.

Litostratigrafia

La parte basale della carota, da cm 543 a cm 435 è costituita da alternanze di sedimenti pelitici sabbiosi, grigio scuri, caratterizzati da numerose lamine sottili e talvolta tasche centimetriche di sabbia pelitica grigio chiara.

Da cm 435 a cm 198, sono presenti peliti molto sabbiose, sempre grigio scure, con numerosissime lamine sottili e medie di sabbia grigio chiara. Spesso la sabbia appare in piccole tasche o scaglie minute incluse nella pelite. Nella parte più bassa dell'intervallo si possono osservare in successione, uno strato sottile di pelite, seguito da pelite sabbiosa con intercalate sottilissime lamine di sabbia.

Segue, da cm 198 a cm 133, un orizzonte sabbioso, ma con lamine sottili di pelite che divengono sempre meno numerose procedendo verso il tetto.

Infine, da cm 133 al top, sono presenti sabbie medio-fini di colore grigio scuro con

incluse grandi quantità di tritume conchigliare e rizomi, non rimaneggiati di *Cymodocea*, numerosissimi da cm 25 al tetto.

Biostratigrafia

Malacofaune

L'analisi paleoecologica del sondaggio (ripresa da FRANGIPANI, o. c.) evidenzia al letto della sequenza (da m 5,43 a m 1,33) la presenza di molluschi tipicamente circalitorali che attualmente si collocano a profondità superiori ai 6-7 metri e specificatamente alle associazioni Fanghi Terrigeni Costieri FTC (*Abra nitida*, *Abra pellucida*, *Mysella bidentata*) ed MI (*Corbula gibba*, *Tellina distorta*). Da m 1,33 al top del sondaggio, le faune analizzate evidenziano un ambiente decisamente costiero, contraddistinto da una rigogliosa vegetazione a Fanerogame marine.

I molluschi palesano una associazione tipica delle SFBC (*Chamelea gallina*, *Spisula subtruncata*, *Thracia papiracea*) che attualmente si colloca tra i 2 e i 5-6 metri di profondità. Sono presenti anche forme tipiche della zona a SFMC (*Loripes lacteus*, *Divaricella divaricata*), che si trovano usualmente a profondità leggermente superiori a quelle anzidette, abbinata a forme decisamente costiere (*Ostrea edulis*, *Mitilidae*) e addirittura lagunari.

Microfauna

Nella parte basale del sondaggio, i foraminiferi confermano le indicazioni dei molluschi e palesano facies marine (ascrivibili alle Associazioni C, D, E abbinata ad altre, più paraliche, A, B, F e G descritte da AMOROSI et al., 1999). In genere questi foraminiferi manifestano una taglia minuta, caratteristica non esclusiva di un ambiente marino relativamente profondo. Infine, gli ostracodi, rafforzano questa caratterizzazione litorale con faune prevalentemente marine (Associazioni O, Q, R e S da AMOROSI o. c.), abbinata ad alcune faune salmastre (Associazioni N, T e U dello stesso Autore e Associazioni a, b, c di MAROCCO et al., 1996). Anche nell'intervallo apicale del sondaggio i foraminiferi confermano le indicazioni dei molluschi, evidenziando forme tipiche dell'area posta nelle immediate vicinanze della linea di riva (Associazioni C, D ed E da AMOROSI et al., 1999). Stessa indicazione si trae dagli ostracodi che palesano la posizione più litorale della microfauna, avvalorata anche dalla presenza di forme lagunari e dulcicole (Associazione M; *Candonia neglecta*).

Cronostratigrafia

L'analisi radiometrica eseguita con l'acceleratore lineare sul campione GT 5/3 (torba) dà una età radiocarbonio non calibrata pari a 630 +/- 100 B.P. Dopo la calibrazione si ottiene una età espressa in anni del calendario gregoriano di 1.679 A.D. (età media o 271

cal. BP) e di 1.453 e 1.869 A.D. (81- 497 cal. BP) come range di valori minimo e massimo (calcolati per 2 Sigma). Quest'età evidenzia che a breve distanza temporale dai giorni nostri, il fondale della Trezza era interessato dalla crescita di piante acquatiche (fanerogame marine) che hanno lasciato testimonianza della loro presenza.

Ambiente di sedimentazione

La revisione di questo sondaggio ha permesso di definire la successione stratigrafica dei depositi di sottofondo della Trezza Grande, posti a pochi km di distanza dal recuperato relitto della Iulia Felix, la nave romana di Grado (MAROCCO, 1994). La terebrazione presenta carattere di continuità (sequenza continua) ed è interamente legata a facies marine-costiere (AMOROSI et al., 1999) che possono essere divise in sub-unità sedimentarie, soprattutto in base ai caratteri delle faune presenti e a quelle granulometriche dei depositi e alla loro modalità di sedimentazione.

Da 4,35 metri di profondità al letto del sondaggio si riscontra una sub-unità Ma, definita da un'alternanza di sabbia fine di colore grigio chiaro, distribuita in lamine, ma più spesso in plaghe e pelite grigio chiaro. Questa sub-unità, molto simile a quella definita M1 da AMOROSI o. c., presenta biofacies e caratteri sedimentologici del tutto simili agli attuali sedimenti marini che normalmente vengono depositi nelle aree litorali adriatiche tra i 13 e i 14 metri di profondità (figg. 4 e 5).

Segue con gradualità (senza bruschi cambiamenti di sedimentazione) un'ulteriore sub-unità Mb (da m 1,33 a 4,35 dal top), definita da una sequenza di sabbie fini di colore grigio scuro intercalate da millimetrici orizzonti di pelite che diventano sempre più frequenti e spessi procedendo verso il basso. Sono anche presenti tasche di materiale organico, ma non con un carattere d'abbondanza come quelle descritte da AMOROSI o. c. nella litofacies M2. Le faune evidenziano, dall'alto verso il basso, un progressivo aumento del battente d'acqua, segnalato da individui sempre litorali, ma che vivono attualmente a profondità rispettivamente di m 7-8 e di circa m 10-12. Anche la modalità di sedimentazione secondo il modello di PASSEGA (1957; 1964; PASSEGA et al., 1967; fig. 5) evidenzia la tendenza dei sedimenti a raggrupparsi verso una sospensione gradata che sfuma in un'incipiente sospensione uniforme, tipica dei sedimenti posti a queste profondità.

La sub-unità Mc (facies S, secondo AMOROSI o. c.), che rappresenta la parte sommitale della sequenza, è costituita da sabbie medio-fini di colore grigio scuro, con incluse grandi quantità di tritume conchigliare e rizomi, non rimaneggiati di fanerogame marine. L'associazione delle malacofaune (bivalvi e gasperopodi), delle microfaune (foraminiferi ed ostracodi), le dimensioni e la classazione dei sedimenti che sono simili a quelli della spiaggia sottomarina attuale del delta tilaventino (fig. 4) e la loro modalità di sedimentazione (diagramma CM di Passega; fig. 5) fanno ritenere che l'ambiente di sedimentazione corri-

sponde ad una fascia litorale, prossima ad una linea di riva con profondità inferiore ai 7 metri e, ipoteticamente, ubicata tra i 3 e i 5 metri. La vicinanza dalla costa viene inoltre riconfermata dalla presenza di faune di acqua dolce e salmastra.

L'età della sostanza organica datata evidenzia che questi fondali fino a pochi anni fa ospitavano una prateria di fanerogame marine, attualmente scomparse.

In conformità a quest'unico dato si può ritenere che l'aggradazione di questi ultimi depositi, si possa approssimare a circa 0,49 mm/anno (max 1,3; min 0,28 mm/anno). Questo dato che ha solamente un valore indicativo (in quanto la sedimentazione delle sabbie di piattaforma non è né continua, né recente e, oltretutto, alternata da fasi erosive) non differisce di molto dai valori ottenuti con il ^{210}Pb per i sedimenti della parte centrale del Golfo di Trieste (OGORELEC et al., 1991), mentre è notevolmente inferiore ai valori ricavati per il versante istriano (Baia di Pirano e Capodistria, rispettivamente 3 mm/anno e 5,3 mm/anno). Al di là di questi ratei che dovranno essere ampiamente verificati con nuovi dati, ci preme sottolineare che lungo tutto il sondaggio e soprattutto nella sua parte superiore si rinvengono ripetute tracce della presenza di praterie di vegetazione sottomarina. In altri termini la tipologia di fondale del passato non doveva discordarsi di molto da quella attuale e non si registra alcuna scomparsa repentina della prateria di *Cymodocea* come ipotizzato da numerosi autori (vedi ad es. ALEFFI et al., 1995).

Sondaggio GT3

È il sondaggio posto più al largo della linea di costa tra quelli presi in esame e si trova sulla scarpata a modesta pendenza che s'immette sui fondali più profondi del Golfo di Trieste, nelle vicinanze della linea di demarcazione delle acque con la Slovenia e Croazia.

Del sondaggio GT3 si sono potuti studiare tre spezzoni; SP1, SP2 e SP3, rispettivamente di 120, 69 e 78 centimetri, per una lunghezza complessiva di cm 267.

Anche in questo caso la parte più profonda del sondaggio risulta essere disturbata dalla penetrazione del vibrocarotatore.

Litostratigrafia

Da cm 267 a 153 sono presenti peliti sabbiose omogenee, di color grigio cenere (2,5 Y 5/0 - 2,5 Y 6/0) con livelletti grigio-marrone (2,5 Y 6/4 - 2,5 Y 6/6). Da cm 219 a 221 si possono osservare cristalli di gesso (in abito tavolare e aggregati a rosetta) di alcuni millimetri di grandezza.

Alla profondità di cm 153 si osserva un contatto netto, distorto dalla campionatura.

Verso il top della carota e precisamente da cm 153 a cm 123, si registrano peliti che assumono una gradazione sempre più chiara (2,5 Y 4/0), mentre a cm 132 è presente una

plaga di sabbia. Anche in questo orizzonte si rinvennero (a cm 128) cristalli di gesso di dimensioni minori rispetto a quelli visti prima.

A cm 123 dal top, una lamina media di sabbia (2,5 Y 5/4) è delimitata superiormente da un contatto netto, modificato dalla campionatura e oltrepassato da un aggregato centimetrico, a rosetta, di gesso.

Da cm 123 circa fino a cm 108, si registra la presenza di una pelite, di colore scuro (2,5 Y 5/0), che ingloba a cm 111 una sottile lamina torbosa (10 YR 3/1).

Da cm 108 a 94 si rinviene una pelite ricca di sostanza organica (10 YR 4/1), con grossi cristalli di gesso (anche centimetrici), plaghe sabbiose e punte di torba (10 YR 3/1).

Da cm 94 a 89 è presente una lamina di pelite molto sabbiosa di colore 2,5 Y 5/2, delimitata da contatti netti. Sopra (cm 89 a 85) si osserva un sedimento torboso, analogo al precedente, seguito verso l'alto fino ai cm 12 circa, da una pelite molto sabbiosa (2,5 Y 5/2 - 2,5 Y 5/0), contornata ai bordi da aloni di colore 2,5 Y 4/4. Internamente all'orizzonte si rinvennero a cm 83 un grosso aggregato a rosetta di gesso, quindi a 81, 74, 65, 49,5, 44 e 42 centimetri sottili lamine discontinue di materiale torboso (10 YR 2/2) e nella parte più alta diffusi resti organogeni di piccoli gasteropodi (tra cui *Turritella communis*) e lamellibranchi.

Infine, a circa cm 12-14 dal top, un contatto graduale inclinato, delimita un intervallo di sabbia medio fine con una lieve gradazione positiva. Il sedimento è ricco di materiale organogeno costituito da gusci di lamellibranchi (valva ben conservata d'*Arca noae*), gasteropodi, ecc.

Biostratigrafia

Malacofaune

Sono stati analizzati quattro campioni, corrispondenti alle seguenti profondità dal top del sondaggio: 9-13, 34-35, 141-144 e 209-212 centimetri. Al top del sondaggio sono presenti specie appartenenti alla biocenosi SFBC, SFMC, DC, MI, ma soprattutto AF. Segue alla profondità immediatamente successiva un'associazione di faune marine essenzialmente della biocenosi AF, rappresentata nel complesso, da meno specie rispetto al livello precedente. Alle profondità maggiori si rinvennero solamente frammenti di molluschi di provenienza continentale (Pulmonata).

Microfaune

I due campioni analizzati in modo speditivo sono ubicati alle profondità di 58-59 e cm 90-91 dal top. Nel primo campione sono presenti foraminiferi (*Ammonia beccarii*, *A. tepida*, *Asterigerinata*, *Buccella*, *Cribioelphidium* sp., *Elphidium* spp., *Rosalina*, *Triloculina*) delle Associazioni C, D e E, francamente marine, definite da AMOROSI o. c.

ed ostracodi, infralitorali, abbinati a semi di Characeae e spicole di spugna. Il campione più profondo, oltre ai foraminiferi visti sopra, viene contraddistinto dalla presenza di ostracodi dulcicoli.

Cronostratigrafia

L'analisi dell'unico campione di torba datato (GT3-SP2-8/10 di 32 g), ubicato alla profondità di cm 86-88 dal top, da un'età convenzionale di 18.630 +/- 60 BP. La calibrazione 2 Sigma (95% di probabilità) ha fornito un range di età compreso tra 22.610 e 21.650 BP e un'età media calibrata di 22.120 BP.

La torba, in conformità a questa datazione si è deposta nel periodo dell'ultimo glaciale (Würm III).

Ambiente di sedimentazione

Il sondaggio è composto sinteticamente dalle stesse unità sedimentarie (M, A) del sondaggio GT1 bis. Un'unità superficiale d'ambiente marino poco profondo (dal top a circa cm 85) che sormonta depositi continentali (da cm 85 a 267) con torbe e, al tetto, con foraminiferi rimaneggiati.

L'unità inferiore inizia con una litofacies di tipo A1 determinata da sedimenti pelitico-sabbiosi, ricchi di grossi cristalli di gesso, caratteristici di uno stagno o di acquitrini in una piana fluviale esondabile. Particolare significato sembra assumere in questo contesto i grossi cristalli di gesso rinvenuti. L'ambiente riducente della piana alluvionale e degli stagni e l'abbondanza di gesso in soluzione degli apporti del F. Tagliamento, segnalata da STEFANINI (1978) e MOSETTI (1983), dovrebbero aver determinato le condizioni ottimali per la loro formazione e per il loro forte accrescimento. Segue una litofacies di tipo A2, con alternanze di sabbie e peliti, sempre con cristalli di gesso e poi, al tetto peliti che passano gradualmente a sabbie (A3) con foraminiferi rimaneggiati e quindi torbe.

L'unità sommitale viene costituita da sedimenti pelitici molto sabbiosi al letto che passano a sabbie medio-fini, quasi totalmente organogene, al tetto. Le malacofaune presenti nell'intervallo, manifestano biocenosi molto simili a quelle dell'omonima facies M del sondaggio GT 1bis e Mc del sondaggio GT2.

L'intero sondaggio, pertanto, presenta forti analogie con le sequenze analizzate in GT 1bis e indica un insieme di sub-ambienti continentali al letto che passano con alterne vicende, ad un piana alluvionale più prossima al mare e quindi ad un orizzonte torboso che chiude l'unità. Sulla torba, sopra un contatto erosivo si impostano depositi di un ambiente infralitorale, relativamente profondo, che passano, a seguito dell'innalzamento del livello del mare, a depositi del dominio circalitorale attuale.

Sondaggio GT4

Il sondaggio in esame si trova in un basso morfologico localizzato tra l'attuale delta tilaventino e l'alto della Trezza Grande. Si trova ad una profondità di circa quattordici metri.

È costituito da cinque spezzoni, SP1, SP2, SP3, SP4 e SP5, rispettivamente di lunghezza: 110, 110, 110, 110 e 125 centimetri, per un totale di cm 565. Le carote fanno vedere fenomeni di disturbo, riconducibili all'operazione di carotaggio.

Litostratigrafia

Da cm 565 a 481 è presente una sabbia fina pelitica di colore marroncino-giallastro (2,5 Y 5/6) e con screziature di colore arancione ocra (7,5 YR 4/4). A cm 532 si rinviene una lamina sottile carboniosa (10 YR 3/2), mentre a cm 485 si può osservare una plaga, centimetrica, di pelite.

Da cm 481 a 449, attraverso una gradazione normale (positiva), la sabbia pelitica di colore 2,5 Y 5/4 passa a pelite omogenea (di colore 2,5 Y 5/0 al centro e 2,5 Y 6/2 ai bordi), notevolmente disturbata dalle operazioni di carotaggio. A cm 476 è ben evidente una screziatura ad andamento verticale (7,5 YR 3/4), probabilmente determinata da fenomeni di ossidazione post-deposizionali.

Un contatto netto disturbato a 449 ed a 440 centimetri, delimita un sottile strato di sabbia pelitica di colore 2,5 Y 6/4. Segue, fino ad un ulteriore contatto netto disturbato (cm 395), un sedimento notevolmente rimaneggiato, contraddistinto al letto da uno strato di pelite omogenea (2,5 Y 6/2 con cuore di colore 2,5 Y 6/0) e ai bordi sabbia fine che caoticamente vengono intercalate da brandelli di pelite ad andamento irregolare e di colore 2,5 Y 6/0. Il tetto è costituito da pelite sabbiosa di colore marroncino chiaro (2,5 Y 6/6).

Da cm 395 a 335, succede nella parte basale, un sedimento pelitico contraddistinto da intercalazioni sabbiose a geometria "piano discontinua parallela" (di colore 2,5 Y 6/4). Nella parte centrale, i depositi sono pelitici sabbiosi con grosse tasche pelitiche omogenee di colore 2,5 Y 6/2 e 2,5 Y 5/0, ed infine nella parte sommitale, pelitici sabbiosi omogenei, chiusi a cm 335 da un contatto di tipo sfumato.

Da cm 335 a 316, si rinviene un sedimento pelitico omogeneo (2,5 Y 5/2 e 2,5 Y 5/0) con ai bordi sabbia fine chiusa da un contatto netto disturbato a geometria convessa. Segue, da cm 316 a 283, una sabbia pelitica (2,5 Y 5/4), caratterizzata dalla presenza di plaghe appiattite di piccole dimensioni (cm 1,0-1,5) di pelite. Verso l'alto il sedimento passa con una lieve gradazione inversa (negativa) a sabbia pelitica di colore 2,5 Y 5/6.

Da cm 283 a 185 si registra ancora la presenza di una sabbia pelitica, di colore marroncino-arancione (10 YR 6/8). A cm 215, troviamo una tasca di sabbia di colore più scuro (10 YR 5/8), probabilmente dovuta alla presenza di sostanza organica. Anche da cm

185 a 175 si registra la presenza diffusa nel sedimento di puntature, di color scuro, riconducibili a frustoli carboniosi.

Infine, da cm 175 a 132 troviamo una pelite molto sabbiosa di colore 2,5 Y 5/6 che presenta numerose screziature di colore arancione ocra e aloni grigio-marrone chiaro (2,5 Y 6/2). L'orizzonte termina a cm 132 con un contatto netto lineare.

Da cm 132 a 90, si osserva una sabbia fine pelitica (2,5 Y 5/4) che passa gradualmente a pelite molto sabbiosa color marroncino (2,5 Y 5/6 e 2,5 Y 6/0), parzialmente disturbata verso il contatto sfumato superiore.

Da cm 90 a 34 il sedimento è costituito da pelite sabbiosa, in parte disturbata, di colore marroncino (2,5 Y 5/4) e grigio cenere (2,5 Y 5/0). Segue, fino a cm 24 circa, una pelite sabbiosa, grigio cenere, con sottili livelli organici di colore bruno scuro, e fino a cm 17 dal top, da torba disturbata (10 YR 2/1).

Infine, l'orizzonte apicale (da cm 17 al top) è costituito da un sedimento pelitico sabbioso, ricco di resti organogeni (gasteropodi e scafopodi, di cui uno di cm 3 di lunghezza) con, alla profondità di cm 7,5, un cristallo di gesso di dimensioni millimetriche.

Biostratigrafia

Malacofauna

È stato analizzato solamente un campione superficiale (cm 8-11), che ha evidenziato la presenza di pochi frammenti di molluschi, appartenenti, in ordine di abbondanza, alle biocenosi DC, FTC, MI e SFS.

Microfauna

Sono stati analizzati 11 campioni, rappresentativi dell'intero sondaggio. I campioni relativi all'intervallo di profondità cm 565-125 sono risultati completamente sterili, mentre quelli inerenti allo spezzone SP5 che va da cm 125 al top del sondaggio, hanno rilevato una ricca presenza di fauna a foraminiferi e ostracodi, passibile di un'elaborazione più dettagliata.

In particolare, a cm 94-95 dal top della carota, si riscontra una scarsa presenza quantitativa di microfauna: su g 7,76 di campione di sedimento sono stati, infatti, rilevati esemplari di foraminiferi bentonici (in stato di cattiva conservazione) e d'ostracodi (ben conservati) con una densità pari a 0,35 individui/grammo. Tra i foraminiferi prevalgono le specie *Ammonia beccarii* ed *Elphidium* spp., per gli ostracodi si trovano forme tipicamente marine quali *Semicytherura incongruens* (segnalata nell'Associazione Q e R da AMOROSI o. c.) e *Loxococoncha oculata*, accanto a forme d'acqua dolce come *Candona candida* e *Candona neglecta* (Asso-

ciazione M, dello stesso Autore) ed individui giovanili di *Candona sarsi*. Il fatto di riscontrare forme o solo adulte o solo giovanili, induce a supporre una situazione di alloctonia.

Il campione posto a cm 26-27 dal top manifesta una maggiore varietà specifica e presenza di individui, raggiungendo valori di densità pari a 188 individui/grammo. Le condizioni di conservazione dei microfossili sono discrete, prevalendo la presenza tra i foraminiferi di *Ammonia beccarii* ed *Elphidium granosum*, e in subordine di *Adelosina* spp. e *Ammonia tepida*. Rappresentate in misura decisamente minore troviamo: *Buccella granulata*, *Quinqueloculina* spp., *Polymorphyna* spp., *Rosalina* spp. e *Triloculina* spp. Forme queste che spaziano da ambienti parali a quello francamente marino di acque poco profonde. Tra gli ostracodi si osserva la presenza di *Aglaiocypris complanata*, *Aurila* spp., *Carinocythereis antiquata*, *Cytheridea neapolitana*, *Ilyocypris gibba* (forma iscritta nell'Associazione M, d'acqua dolce di AMOROSI, o.c), *Leptocythere ramosa*, *Loxococoncha stellifera* (Associazione N e R dello stesso Autore), *Semicytherura inversa* e testimoni di condizioni autoctone anche: *Pontocythere turbida* e *Xestoleberis* spp., forme francamente marine.

Il campione prelevato in coincidenza dell'orizzonte torboso (a cm 22-23 dal top) viene contraddistinto da una discreta presenza di microfauna (345 individui/grammo) con un evidente impoverimento della varietà specifica. Si osservano molti individui della specie *Ammonia beccarii*, *Elphidium granosum* ed *Elphidium* spp. e la scomparsa dei foraminiferi porcellanacei. Tra gli ostracodi si segnala la presenza di sole forme marine quali *Pontocythere turbida* e *Semicytherura incongruens*.

Nel campione di sedimento più superficiale (cm 11-12 dal top della carota) si registra la più alta varietà specifica, nonché la maggiore densità complessiva, pari a 800 individui/grammo e uno stato di conservazione dei gusci generalmente discreto. I foraminiferi presenti sono *Adelosina* spp., *Ammonia beccarii* ed *Elphidium granosum* (forme marine infralitorali); tra gli ostracodi, prevale la specie *Semicytherura incongruens* ed altre forme marine considerate autoctone quali *Aurila* spp., *Cistacythereis turbida* e parali, *Loxococoncha stellifera*.

Cronostratigrafia

Il controllo cronostratigrafico è stato effettuato su un unico campione di torba di g 32, ubicato alla profondità di cm 17-21 dal top. Presenta un'età convenzionale di 18.240 +/- 50 BP e un'età calibrata di 21.670 cal. BP con un range compreso tra 22.120 e 21.230 cal. BP. Anche in questo caso, pertanto, si tratta di materiale organico deposto in un periodo freddo e in particolare durante l'evento glaciale alpino del Würm III.

Ambiente di sedimentazione

Il sondaggio può essere suddiviso in due unità fondamentali: la prima, più superficia-

le, con caratteri deltizio-salmastri (da cm 0 a 17 dal top) e una seconda, interamente continentale (da cm 17 a 564).

La parte più superficiale del sondaggio è costituita da pelite sabbiosa ricca di resti organogeni che evidenziano biocenosi DC, FTC e MI, tipiche del circo-litorale costiero (ambiente attuale). Il diagramma CM di Passegga (fig. 5) mette in evidenza per questi sedimenti un prevalente trasporto per sospensione uniforme che concorda con le risultanze macrofaunistiche ed è compatibile con l'ambiente attuale. Analoga considerazione si trae dai foraminiferi, mentre, gli ostracodi, indicatori molto più sensibili alle condizioni ambientali, palesano una condizione dulcicolo-salmastra a cm 11-12 dal top della carota.

La seconda unità che assume i caratteri della facies continentale A da AMOROSI et al. (1999), è suddivisibile in ulteriori sub-facies, per l'alternanza di depositi, a volte evidenziati superiormente e inferiormente da contatti netti di erosione. Uno di questi episodi è ben rappresentato da cm 132 a 316 dal top del sondaggio. Qui, dal basso verso l'alto si rinviene uno strato di pelite molto sabbiosa caratterizzata dalla presenza di piccole plaghe di pelite appiattita, che testimoniano una fase erosiva ad opera di una corrente di notevole intensità che ha ripreso un substrato di probabile ambiente acquitrinoso. Segue una sabbia pelitica di colore marroncino arancione con sacche di pelite più scura, probabilmente dovuta alla presenza di sostanza organica deposta e sepolta rapidamente in un ambiente di piana d'esonazione. I sedimenti prelevati rispettivamente a 221-222 e 248-249 centimetri di profondità dal top, pur presentando dimensioni e una classazione compatibile con i depositi di spiaggia (camp. 12, 15 e 18 di fig. 4) e una modalità di trasporto e di sedimentazione da una sospensione gradata (fig. 5), sono in realtà, fluviali. Ciò a dimostrazione che i caratteri granulometrici dei sedimenti sono condizioni necessarie, ma non sufficienti per la determinazione di un ambiente sedimentario. Le microfaune, infatti, o sono assenti o sono presenti solo in rarissimi frammenti di foraminiferi rimaneggiati (A4 da AMOROSI o. c.). Continuando verso l'alto si rinviene uno strato decimetrico di sabbia pelitica con numerose punte di colore scuro (sostanza organica), che termina al tetto con una pelite molto sabbiosa di colore marroncino-arancione. Sub-facies di questo tipo si possono intravedere (anche se in certi casi solo parzialmente), per tutta la lunghezza dell'unità.

La parte basale del sondaggio, fino a pochi centimetri dal top, nel suo complesso, rappresenta un variegato sistema continentale, determinato dalla presenza di un corso d'acqua che periodicamente esonda, creando aree di ristagno delle acque che poi ricopre con sedimenti più grossolani, anche se intercalati da livelli ricchi di sostanza organica.

Al tetto, dopo un'ennesima fase erosiva determinata da una trasgressione marina che incide depositi torbosi, si rinvengono pochi centimetri di una pelite sabbiosa, con macroforme di un ambiente circo-litorale ed ostracodi dulcicolo-salmastri che fanno pensare ad un deposito lagunare, parzialmente eroso o ad ambiente prodeltizio (situazione attuale).

Sezioni stratigrafiche della bassa piana veneto-friulana-Trezza Grande

Le risultanze emerse dal presente studio assommate ai dati acquisiti sulla stratigrafia della piana d'Aquileia, Laguna di Grado (MAROCCO et al., 1984) e sul delta del Tagliamento (MAROCCO, 1988), hanno permesso la costruzione di due transetti stratigrafici terra-mare (figg. 6 e 7) che hanno interessato la porzione più meridionale della bassa pianura friulana e il fondale marino più occidentale del Golfo di Trieste.

Transetto delta del F. Tagliamento-Trezza Grande

I caratteri litostratigrafici del sottosuolo mettono in evidenza una marcata predominanza di sedimenti pelitici sabbiosi e pelitici, nella parte basale della sezione e solo localmente una modesta presenza di piccole lenti sabbiose (fig. 6). Nell'ambito dei depositi pelitici, si rinvencono livelli di torba che continuano verso mare, mantenendo un'inclinazione molto prossima a quella della piana alluvionale sovrastante. La parte sommitale del transetto, mostra, sia nel versante litorale, sia in quello più a mare, un palese arricchimento nella componente sabbiosa e sabbioso-pelitica dei sedimenti. Nel primo caso questi corpi sabbiosi corrispondono al prisma sedimentario costiero del delta del Tagliamento, mentre nel secondo caso, al corpo sabbioso della Trezza Grande. Quest'ultimo ha un'estensione di 154 km², si presenta allungato in senso NW-SE ed è costellato da una serie di affioramenti rocciosi che si rinvencono solamente nel suo versante meridionale (profondità comprese tra 14 e 20 metri; CARESSA et al., 2001). In dimensioni ed estensione più ridotte, analoghi depositi sabbiosi, sempre con annegati affioramenti rocciosi, si riconoscono anche su un alto morfologico relativo, ubicato alle spalle della sommità della Trezza. A riguardo della presenza di questi affioramenti rocciosi, si rimarca che anche all'interno del corpo sedimentario pelitico del delta del F. Tagliamento, si riconoscono formazioni di "caranto" (peliti cementate) che, però, sembrano diverse per composizione, dimensione e diffusione rispetto ai depositi cementati marini.

L'alta risoluzione biostratigrafica dei depositi del sottosuolo permette di riconoscere un substrato continentale (contraddistinto da faune francamente continentali con polmonati ed altre forme d'acqua dolce) su cui si sono impostati, verso terra, ambienti lagunari-deltizi (con faune di transizione salmastro-dulcicole) e, verso mare, ambienti litorali e di mare basso con predominanti faune marine e con la sporadica presenza di faune salmastre e dulcicole a testimoniare una relativa vicinanza di una foce fluviale o sottofondi di paleo-lagune erose dal mare. Il passaggio dall'ambiente continentale a quello litorale e in parte a quello lagunare è netto ed è ben evidenziato da una superficie trasgressiva.

Alcune datazioni radiometriche riportate dagli studi precedenti (MAROCCO, 1991) e quelle eseguite nel presente lavoro, permettono di delineare la cronostratigrafia del sottosuolo.

I depositi continentali alla base del transetto si allineano lungo la linea-tempo o l'isocrona 22.000 anni che corrisponde alla pendenza verso mare degli orizzonti torbosi. Sopra questi depositi, soprattutto verso mare, ma anche in parte sotto l'attuale delta del Tagliamento, si riconosce un'estesa superficie trasgressiva che mantiene l'inclinazione delle torbe basali. All'estremità nord occidentale del transetto si registra l'instaurarsi, circa 5.000 anni fa, di una paleo-laguna, successivamente ricoperta da depositi deltizi recenti. Nel corpo sedimentario deltizio è evidente la progradazione dei depositi fluviali che vengono marcati dalle isocrone 2000, 1000 e 300 anni.

Transetto piana d'Aquileia-Trezza Grande

La sezione litostratigrafica compresa tra la piana d'Aquileia e la Trezza Grande (fig. 7) rileva sostanziali differenze rispetto alla precedente. Depositati per lo più sabbiosi sono ubicati in ampie zone del sottosuolo della piana alluvionale e della laguna di Grado, mentre nel versante a mare, prevalgono i depositi pelitici e pelitico-sabbiosi. Anche in questo transetto sono presenti livelli di torba che sembrano mantenere la pendenza tipica della paleopianura alluvionale friulana. I corpi sabbiosi superficiali della piana d'Aquileia (le dune di Belvedere-San Marco) esibiscono, al loro interno, livelli tabulari di "caranto o maltone" (qui rappresentati da sabbie cementate) e concrezioni carbonatiche, che sono diversi da quelli rinvenuti nel sottosuolo del delta tilaventino. Questi rilievi sabbiosi continuano a meridione e formano le attuali isole della laguna di Grado. A volte, all'interno di questi corpi sedimentari o immediatamente sepolti dal suolo attuale, sono presenti resti archeologici d'età neolitica e romana. Verso mare è evidente l'attuale corpo sedimentario costiero dell'attuale cordone litorale e altri due lembi sabbiosi separati da una zona quasi pianeggiante, drappeggiata da sabbie. Anche qui si segnala la presenza d'affioramenti rocciosi che emergono dal fondale marino a profondità comprese tra 13 e 20 metri (CARESSA et al., 2001).

Sotto un profilo biostratigrafico, anche in questo transetto più orientale, sono presenti nel settore marino, due corpi sedimentari di ambiente marino-litorale, disposti a profondità diverse (e quindi, presumibilmente, non coevi), che sormontano un substrato continentale che inizia con una torba rasata.

I depositi lagunari, meno potenti rispetto al precedente transetto, si rinvencono al centro dell'area, negli spazi attualmente occupati dalla laguna di Grado. Questi depositi paralicci mostrano generalmente passaggi graduali con i sottostanti depositi continentali.

Le età radiometriche (non calibrate), palesano una certa continuità della sedimentazione continentale, con le linee-tempo 30.000 e 22.000 anni che si sovrappongono seguendo la pendenza regionale. Sopra queste isocrone che definiscono l'aggradazione della pianura

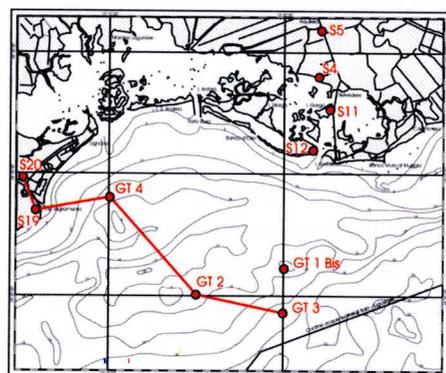
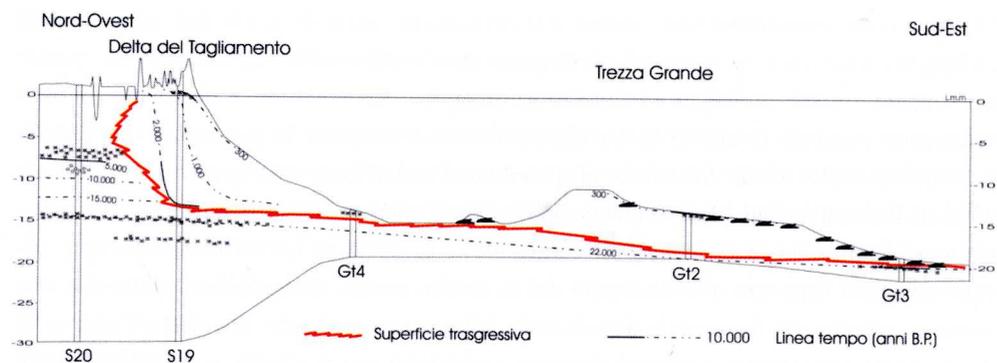
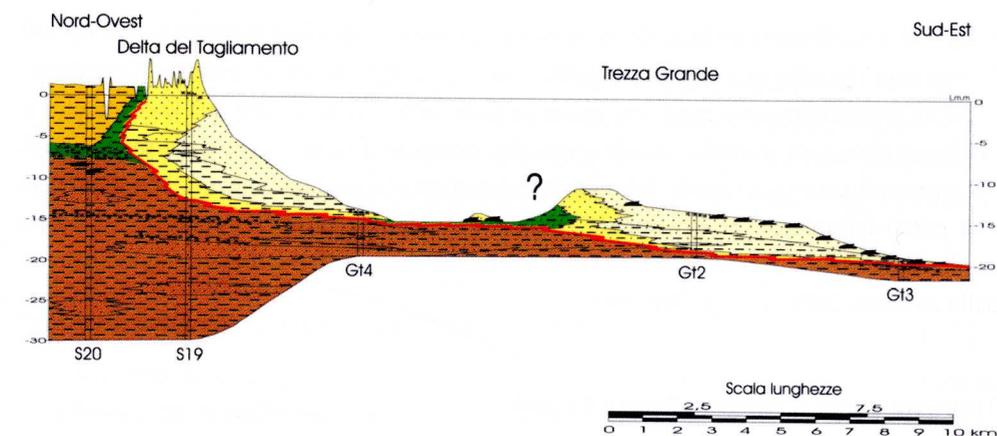


Fig. 6 - Sezione stratigrafica terra-mare "Delta del Tagliamento-Trezza Grande". Sono rappresentate le distribuzioni delle litofacies, gli ambienti di deposizione e le linee-tempo (anni B.P.).
 - Land-sea stratigraphic cross-section: "Tagliamento river delta-Trezza Grande". Lithofacies, depositional environments and time-lines (years BP) are reported.

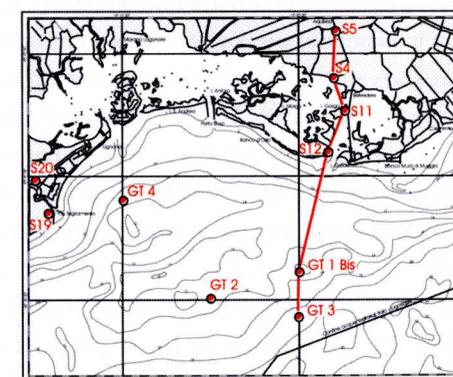
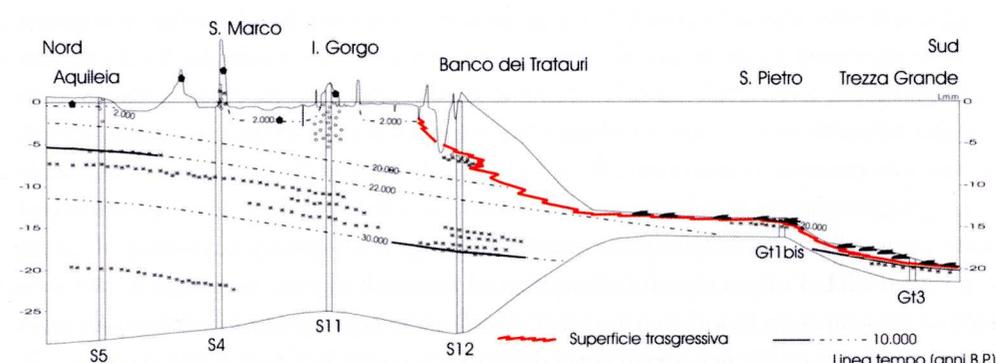
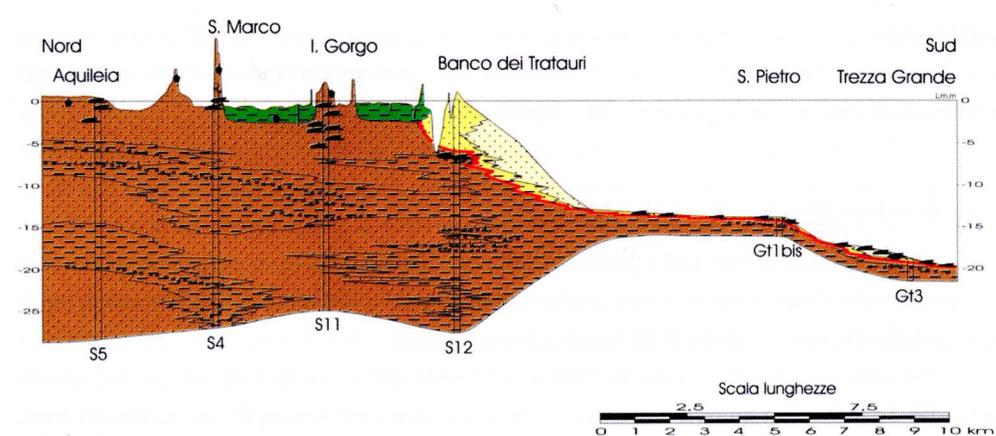


Fig. 7 - Sezione stratigrafica terra-mare "Piana d'Aquilaia-Trezza Grande". Sono rappresentate le distribuzioni delle litofacies, gli ambienti di deposizione e le linee-tempo (anni B.P.).
 - Land-sea stratigraphic cross-section: "Aquilaia alluvial plain-Trezza Grande". Lithofacies, depositional environments and time-lines (years BP) are reported.

nel periodo glaciale, si registra la presenza di una superficie trasgressiva che ha eroso in parte i sedimenti continentali più giovani. L'isocrona dei 2.000 anni è stata costruita in base alla documentazione archeologica dei resti e reperti rinvenuti nella laguna.

Ricostruzione stratigrafica delle Trezze

In base ai risultati ottenuti è possibile delineare il quadro delle vicende geologiche dalle quali consegue l'attuale assetto stratigrafico e bati-morfologico del Golfo di Trieste (in particolare della Trezza Grande) e della bassa pianura friulana.

Per quanto riguarda il transetto "delta del Tagliamento-Trezza Grande", si può speculare che 22.000 anni fa circa, durante l'evento climatico del Würm III, il livello del mare fosse molto più basso dell'attuale e che l'area oggi occupata dal Golfo di Trieste fosse una steppa, con abbondanza di paludi e acquitrini in cui si accumulava la sostanza organica, dando così origine alle torbe che si rinvencono su più livelli all'interno dei sedimenti continentali. Queste torbe hanno età del tutto simile a quella degli analoghi depositi del retroterra e d'altri orizzonti rinvenuti nel sottofondo dell'Adriatico (CORREGGIARI et al., 1996). I livelli torbosi che presentano una pendenza verso mare, simile a quella della piana alluvionale attuale, rappresentano la sommità d'aree depresse o subsidenti delle piane inondabili, in parte erose dalla trasgressione successiva. Significativa è la presenza nell'ambito di questi depositi di LST d'orizzonti con foraminiferi ed ostracodi marini, rimaneggiati che sono sempre presenti sotto le torbe continentali. Ciò farebbe pensare ad una relativa vicinanza con il mare, cosa questa non appurata nei depositi posti più a Sud, nell'Adriatico e in quelli sloveni e croati dell'Istria (OGORELEC et al., 1997).

In seguito al miglioramento climatico, lo scioglimento dei ghiacciai ed il relativo innalzamento del livello del mare (iniziato 18.000 anni fa ca. e verificatosi probabilmente attraverso momenti di stabilità, seguiti da rapidi innalzamenti) hanno prodotto sistemi costieri (paleolinee di riva, paleolagune e paleodelta) che sono stati traslati sempre più verso terra e rielaborati dall'erosione marina successiva. Questa è la situazione delle Trezze del Golfo di Trieste che rappresentano i relitti esumati del sistema TST che si trova nella sua parte terminale, quasi a contatto con la terraferma. A ben vedere, comunque, questi rilievi evidenziano momentanee stasi dell'arretramento del sistema costiero, controbilanciate dalla messa in posto di considerevoli apporti dei fiumi del retroterra. Rispetto alla situazione conosciuta nella zona antistante il delta del Po e Ravenna (COLANTONI et al., 1990; CORREGGIARI et al., 1996) la Trezza Grande, più che un corpo di depositi di cordone litorale, presenta caratteri litorali, con forti influenze di acque dolci, tipiche di un ambiente deltizio e prodeltizio. Anche il volume dei depositi della Trezza e la sua morfologia, sotto molti aspetti simili a quelli del prisma sedimentario del delta del

Tagliamento, suggerisce una genesi deltizia. Probabilmente, le aree retrostanti al delta erano ambienti lagunari che esistono solamente in forma dubitativa all'apice del sondaggio GT4. Una fase successiva d'innalzamento del mare, non contrastata da input sedimentari costieri, ha portato all'inondamento e abbandono dell'apparato deltizio, con la formazione di sistemi intermedi, posti via via più a settentrione e con configurazioni morfologiche compatibili con sistemi di cordoli litorali. La rapidità con cui è avvenuta la sommersione e le notevoli dimensioni del corpo sedimentario, hanno in gran parte impedito il suo smantellamento, favorendone una buona conservazione, come, infatti, è possibile osservare attualmente. I depositi del complesso trasgressivo, come detto, poggiano sulle sottostanti alluvioni tardo-pleistoceniche con contatti netti e generalmente discontinui. Il loro spessore varia da pochi centimetri del sondaggio GT4 ai 6 metri di GT2; la loro età non è stata determinata ma, almeno dai dati raccolti nel retroterra dell'area, sembra improbabile una loro collocazione in corrispondenza del periodo di formazione dei cordoni litorali più meridionali (ca. 7-8.000 anni fa) di COLANTONI et al. (1990).

Ipoteticamente il loro annegamento è avvenuto in coincidenza con i momenti di massimo innalzamento relativo del livello marino secondo FAIRBANKS (1989; 1990) che ha determinato le superfici trasgressive regionali S1 e S2, rinvenute in centro Adriatico (rispettivamente ca. 16.000 e 11.300 anni fa; CATTANEO & TRINCARDI, 1999). L'ulteriore evoluzione del paraggio, determinata sempre dall'innalzamento relativo del livello del mare, ha comportato la migrazione della linea di costa in posizione ancora più settentrionale, con l'instaurarsi circa 5.000 anni fa, di un ambiente lagunare alimentato lateralmente (ad Ovest, in posizione intermedia tra Caorle e Bibione) da una foce fluviale. Questa paleo-laguna è riconoscibile a circa 6-7 metri di profondità rispetto l'attuale livello medio mare nel sottosuolo dell'attuale delta del F. Tagliamento, mentre un'altra, più vecchia, è posta a 8-9 metri di profondità, nel sottosuolo di Caorle. L'ambiente lagunare è stato successivamente seppellito dai depositi deltizi progradanti del F. Tagliamento, fino a raggiungere la configurazione attuale (HST). La superficie di maximum flooding corrisponde, quindi, al tetto dei depositi della sopra citata laguna, seppellita da cuneo sedimentario costiero rappresentato dall'attuale delta tilaventino. I depositi olocenici, pertanto, formano qui un completo ciclo trasgressivo e regressivo.

Il transetto "piana d'Aquileia-Trezza Grande", registra condizioni simili a quello precedente, almeno per quanto riguarda la parte meridionale che è legata ai depositi del corpo sedimentario trasgressivo (TST). Quest'area è caratterizzata da una sottile copertura marino-litorale, soprastante i depositi continentali del tratto LST. A differenza del transetto precedente i depositi di TST sono poco potenti. La parte settentrionale che comprende la fascia costiera attuale è costituita essenzialmente da depositi marini, sovrastati da depositi litorali caratterizzati da un forte gradiente (4,0 m/km circa), impostatisi sopra ad un substrato

continentale molto spesso. I resti archeologici che si rinvenivano all'interno della "giovane" laguna di Grado (formatasi circa 2.000 anni fa), insieme alle informazioni provenienti dai sondaggi eseguiti nelle maggiori isole della laguna (Gorgo, San Giuliano, Morgo, ecc. e le dune San Marco), mettono in evidenza come tali aree non siano mai state interessate da eventi marini e dunque la superficie di "maximum flooding" si colloca grossomodo al limite settentrionale della laguna. Nell'area attualmente occupata dal sistema mareale, il sottosuolo è formato da depositi continentali, con livelli torbosi che trovano una discreta/buona correlazione tra sondaggi vicini; essi definiscono pendenze della paleo-pianura prossime a quelle valutabili nella parte più settentrionale. Al tetto dei depositi continentale si individuano orizzonti cementati (Isola Gorgo e dune S. Marco) che emergono nella laguna e a volte vengono sepolti da depositi mareali. L'intero transetto, quindi, viene definito dalla sola fase trasgressiva che ha portato alla costruzione dell'attuale laguna.

Da rimarcare che in entrambi i transetti, è evidente sull'attuale fondo marino una superficie pianeggiante, posta a circa -14/-15 metri che rappresenta il limite tra i due momenti evolutivi che hanno portato alla formazione dei corpi sabbiosi trasgressivi della Trezza Grande e dei rilievi retrostanti. All'interno di questi depositi poco spessi e lungo la scarpata a maggiore acclività che porta a profondità maggiori, si registra una forte concentrazione di affioramenti rocciosi, probabilmente venuti a giorno o dall'erosione del corpo sedimentario TST o dal sottostante LST.

La cronologia degli eventi sopra riportata è frutto essenzialmente della datazione radiocarbonio di livelli torbosi che rappresentano momenti di decantazione in ambiente tranquillo, capace di conservare la sostanza organica. L'analisi dei resti organogeni, soprattutto di quelli attribuibili al sistema TST è stata scartata a priori poiché le malacofaune non sempre sono in posizione fisiologica e quindi possono essere rimaneggiate. Le combinazioni di facies più svariate riconosciute nei depositi fanno ritenere questa ipotesi più che valida. Ulteriori elementi cronologici che possono spiegare l'età dei depositi di TST, verranno ricercati attraverso l'analisi isotopica del cemento degli affioramenti rocciosi, attualmente in programma di esecuzione, una volta appurata la continuità o meno di questi affioramenti semiseppolti con i depositi sottostanti. Come appurato da LENARDON et al. (2001), anche i livelli di torba non sono immuni da contaminazioni e quindi sono possibili errori legati essenzialmente alla differenza d'età della sostanza organica che si decanta in questi acquitrini. Resta scontato, pertanto, che l'età delle torbe è quasi sempre più vecchia del momento di sedimentazione che viene definito in laboratorio.

Stante queste incertezze, molti di questi problemi possono essere parzialmente risolti confrontando i risultati di altre datazioni già eseguite in passato o, ancora meglio, attraverso il raffronto con altri metodi di datazione diretta o indiretta (palinologia). Que-

sta taratura è stata fatta recentemente e l'età radio-carbonio corrisponde abbastanza bene alle cronozone polliniche dell'area in esame (MAROCCO, 1991; LENARDON et al., 2001). Inoltre, la distribuzione spaziale dei livelli torbosi analizzati si conformano con le inclinazioni tipiche della paleo-pianura alluvionale investigata nel retroterra (MAROCCO et al., 1984; MAROCCO, 1988; 1989; 1991).

Eustatismo, progradazione costiera e subsidenza sono i fattori che hanno portato alla definizione delle sequenze stratigrafiche delineate in questo lavoro. A confronto con la situazione riscontrata nell'area marina e costiera romagnola (COLANTONI et al., 1990; AMOROSI et al., 1999) si rimarca che sotto analoghe condizioni eustatiche, diversa è stata la risposta dei fondali marini e della costa di quest'area rispetto a quella veneto-friulana. Il fatto è inevitabilmente legato alla differenza dei valori di subsidenza regionale e dell'ammontare degli apporti terrigeni fluviali in gioco nelle due zone.

Per quanto riguarda gli apporti terrigeni si sottolinea che mentre il Po presenta attualmente un apporto solido di materiali in sospensione di $1,5 \times 10^7$ t/anno (TRINCARDI et al., 1994), contro un apporto complessivo dei fiumi settentrionali (Brenta, Adige, Piave, Tagliamento e Isonzo) di 3×10^6 t/anno (stessi Autori). Secondo stime di grande massima il contributo del Tagliamento in questo annovero può essere valutato in $0,5-0,6 \times 10^6$ t/anno, quindi con un rapporto di ca. 27 a 1, rispetto ai contributi del Po.

Per quanto attiene ai valori di subsidenza regionale, un semplice confronto delle profondità di sedimenti lagunari coevi, dimostra che i depositi trasgressivi del sottosuolo romagnolo, datati 9.000-8.000 anni fa, si rinvenivano a m 25-30 dal l. m. (a mare, analoghi depositi si trovano a 35-40 metri di profondità), mentre nell'area costiera in prossimità del delta del F. Tagliamento, i depositi lagunari coevi a quelli romagnoli, si rinvenivano a ca. m 8,0 di profondità dal l. m. (MAROCCO et al., 1996). In base a questi dati, ammessa una certa stabilità per il litorale veneto-friulano (cosa non sempre appurata, vedi GAMBOLATI, 1998; GALASSI & MAROCCO, 1999), quello romagnolo dovrebbe aver subito un abbassamento per subsidenza pari a ca. 20 metri nel solo Olocene (che corrisponde a ca. 2,3 mm/anno, di media). Questo dato di subsidenza che ricade nel range dei valori riportati per l'area ravennate (2,0-3,2 mm/anno; BONDESAN et al., 1995; 1,5-2,5 mm/anno GAMBOLATI, 1998), spiega perché il mare è trasgredito ben oltre l'attuale linea di riva lungo il litorale romagnolo, mentre ciò non si è verificato nel litorale veneto-friulano (al contrario di quanto riportato da TRINCARDI et al., 1994; CORREGGIARI et al., 1996). Qui, ad eccezione della recente progradazione del delta tilaventino, l'architettura dei depositi costieri mostra con chiarezza una sola fase trasgressiva che si è esaurita, con alterne vicende nel periodo storico, ai giorni nostri. Questa fase di progradazione fluviale ha un'estensione areale e lineare del tutto limitata rispetto a quella del delta del Po ed è avvenuta in tempi più recenti.

Conclusioni

I risultati dell'analisi di facies condotta su 4 sondaggi eseguiti nel Golfo di Trieste, sommati alle conoscenze già acquisite sull'evoluzione dell'area costiera veneto-friulana, permettono di arrivare alle seguenti conclusioni:

- Il sottofondo del tratto più occidentale del Golfo di Trieste è formato da depositi alluvionali (LST) con torbe, d'età Pleniglaciale (da 19.945 a 22.120 anni BP), sormontate da depositi trasgressivi (TST) di mare basso con uno iato di sedimentazione non quantificato;
- All'interno dei depositi trasgressivi si rinvencono numerosi affioramenti rocciosi di genesi in fase di definizione;
- La sottile coltre dei depositi TST assume, in corrispondenza dell'alto morfologico della Trezza Grande, massima potenza (m 6) e definisce un cono costiero deltizio annegato in seguito all'innalzamento del livello marino nel Tardiglaciale. Segnatamente la sequenza continua dei depositi che costituiscono la Trezza, mostra dal basso verso l'alto, depositi circolitorali (13-14 metri di profondità), sormontati sempre da sedimenti circolitorali via via meno profondi (da 10-12 e 7-8 metri di profondità), chiusi al tetto da sedimenti infralitorali di spiaggia sottomarina (m 3-5 di profondità). Anche la morfologia e il volume del corpo sabbioso della Trezza Grande fanno propendere verso l'origine deltizia della "secca".

L'età dei depositi trasgressivi della Trezza non è stata determinata. Considerazioni climatiche, i picchi d'innalzamento del mare su scala globale e l'età di formazione della laguna di Caorle nel retroterra (ca. 9.000 anni) fanno ritenere che l'annegamento del corpo sedimentario sia avvenuto dopo i 16.000 e gli 11.300 anni fa.

Il processo trasgressivo che ha determinato la formazione della Trezza, ha generato alle sue spalle una superficie sub-pianeggiante ed alti morfologici più limitati, con caratteri di un cordone litorale.

L'ulteriore evoluzione del paraggio del delta del Tagliamento-Trezza Grande, determinata sempre dall'innalzamento relativo del livello del mare, ha comportato la migrazione della linea di costa in posizione ancora più settentrionale con l'instaurarsi, circa 5.000 anni fa, di un ambiente lagunare in seguito trasgredito dalle alluvioni del Tagliamento che si è costruito il suo delta bilobato in circa 2000 anni;

- Più ad oriente nell'area di Grado, invece, i depositi del transetto terra-mare evidenziano una unica fase trasgressiva che ha determinato la formazione dell'attuale laguna, probabilmente in epoca post-romana;
- Il sottofondo del Golfo di Trieste e della piana costiera mostrano un'evoluzione sedimentaria sensibilmente diversa da quella della pianura romagnola e determinata da valori di subsidenza e di quantità di apporti terrigeni del tutto inferiori rispetto ai valori dell'area padana;

- Si rimarca che il livello del mare 5.000 anni fa, al contrario di quanto si è verificato lungo il litorale romagnolo, non ha superato la posizione dell'attuale linea di riva, ad eccezione della limitata area del lobo deltizio del Tagliamento.

Manoscritto pervenuto il 25.II.2002.

SUMMARY - The litho-biofacies analysis of four vibrocores collected in the Gulf of Trieste along with results already obtained from previous research on venetian-friulian coastal area evolution, have allowed to define the sedimentological response of the northernmost sector of the Adriatic area to Postglacial sea-level increase.

The seabed of the Gulf is composed by a thin layer of marine-littoral transgressive deposits (TST system). These deposits, at Trezza Grande, appear about 6 metres thick, characterised by a continuous sequence of circolittoral sediments at the bottom and infralittoral sediments of deltaic environment at the top. Behind Trezza, a sub-planar surface with restricted morphological relieves can be observed; its features are similar to littoral deposits, thus defining a second stasis of sea progression towards inland. An alluvial layer (LST) with pleniglacial peat levels has been recognised below the transgressive deposits, which align with similar horizons located underground within venetian-friulian area, following the gradient direction of the present alluvial plain.

In comparison with the palaeogeographical reconstruction of Emilia-Romagna coastline, e.g., it is remarkable that the stratigraphical sequence within Friuli shows an evident transgressive stage, surmounted by a local regressive phase, only recognisable at delta lobe progradation of Tagliamento river. Besides, Versilian transgression has never overcome the present coastline in these locations (except Tagliamento river delta). This coastal evolution determined by post-glacial sea level increase has been subject to very low regional subsidence values and to limited terrigenous supplies in comparison with the littoral zone located south of Po river delta.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è frutto della collaborazione di geologi che si sono occupati della parte sedimentologica-stratigrafica (E. Gordini e R. Marocco), di malacologi (E. Vio) e di micropaleontologi (ostacofaune, N. Pugliese; foraminiferi R. Melis) che si sono interessati della parte biostratigrafica. Si ringraziano i colleghi Pugliese e Melis del DISGAM per l'aiuto prestato e per la lettura critica del manoscritto. Anche se non compaiono (per loro scelta) come coautori, il loro apporto è risultato determinante per la definizione dell'ambiente di sedimentazione delle microfaune riconosciute nei sondaggi stratigrafici.

Bibliografia

- ALEFFI E., DELLA SETA G., GORIUP F., LANDRI P. & OREL G., 1995 - Fattori climatici ed edafici e popolamenti bentonici dell'Adriatico Settentrionale e del Golfo di Trieste. *Atti Convegno Evoluzione dello stato trofico in Adriatico. Marina di Ravenna*, 28-29 settembre: 81-99.
- 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.
- BARNABA P.F., 1990 - Considerazioni geologiche sul sottosuolo e sulle risorse idrotermali della zona di Latisana - foce del Tagliamento (Province di Udine e Venezia). *Mem. Sc. Geol. Pd.*, 42: 343-359.

- BONDESAN M., CASTIGLIONI G.B., ELMI C., GABBIANNELLI G., MAROCCO R., PIRAZZOLI P.A. & TOMASIN A., 1995 - Coastal Areas at Risk from Storm Surges and Sea-Level Rise in Northeastern Italy. *Jorn. Coastal Research*, 11: 1354-1379.
- BRAMBATI A., CATANI G. & MAROCCO R., 1977 - Indagini sedimentologiche sulla spiaggia sottomarina dell'Adriatico settentrionale tra i fiumi Brenta e Tagliamento. *Boll. Soc. Geol. It.*, 96: 69-86.
- BRAMBATI A., CATANI G. & MAROCCO R., 1981 - Il litorale sabbioso del Friuli-Venezia Giulia: trasporto, dispersione e deposizione dei sedimenti della spiaggia sottomarina. *Boll. Soc. Adriat. Sc.*, 65, suppl. 1-32.
- CAMPBELL C.V., 1967 - Lamina, laminaset, bed and bedset. *Sedimentology*, 8: 7-26.
- CARESSA S., GORDINI E., MAROCCO R. & TUNIS G., 2002 - Caratteri geomorfologici degli affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste (Adriatico Settentrionale). *Gortania*, 23 (2001): 5-29.
- CATTANEO A. & TRINCARDI F., 1999 - The late quaternary trasgressive record in the Adriatic epicontinental Sea: Basin widening and facies partitioning. *SEPM*: 127-146.
- COLANTONI G.P., PRETI M. & VILLANI B., 1990 - Sistema deposizionale e linea di riva olocenica sommersi in Adriatico al largo di Ravenna. *Giorn. Geol.*, 52: 1-18.
- CORREGGIARI A., ROVERI M. & TRINCARDI F., 1996 - Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea. *Il Quaternario*, 9 (2): 697-704.
- FAIRBANKS R.G., 1989 - A 17.000-year glacio-eustatic sea level record: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 342: 637-642.
- FAIRBANKS R.G., (1990) - The age and origin of the "Younger Dryas climate event" in Greenland ice cores. *Paleoceanog.*, 5: 937-948.
- FRANGIPANI E., 1984-85 - I sedimenti recenti del sottofondo marino antistanti il delta del F. Tagliamento e la loro evoluzione. Tesi di laurea in Sedimentologia. Relatore A. Brambati; correlatori G.P. Fanzutti e R. Marocco, pp. 139.
- FOLK R.L. & WARD W.C., 1957 - Brazos River bar: a story in the significance of the grain size parameters. *Journ. Sed. Petr.*, 43: 224-237.
- GALASSI P. & MAROCCO R., 1999 - Relative sea-level rise, sediment accumulation and subsidence in the Caorle Lagoon (northern Adriatic Sea, Italy) during the Holocene. *Il Quaternario*, 12 (2): 249-256.
- GAMBOLATI G., 1998 - Coastline evolution of the upper Adriatic Sea due to sea level rise and natural and anthropogenic land subsidence. *CENAS*, Kluwer Academic Publishers, pp. 344.
- LENARDON G. & MAROCCO R., 1994 - Le dune di Belvedere-San Marco. Una antica linea di riva? 2) Considerazioni sedimentologiche. *Gortania*, 16: 5-24.
- LENARDON G., MAROCCO R. & PUGLIESE N., 2001 - L'aggradazione Tardiglaciale-olocenica della piana di Portogruaro (Italia settentrionale). *St. Trent. Sc. Nat., Acta Geol.*, 77: 137-148.
- MAROCCO R., 1988 - Considerazioni sedimentologiche sui sondaggi S19 e S20 (Delta del F. Tagliamento). *Gortania*, 10: 101-120.
- MAROCCO R., 1989 - Evoluzione quaternaria della laguna di Marano (Friuli-Venezia Giulia). *Il Quaternario*, 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., 1994 - Il mare e la laguna di Grado: 10.000 anni di storia di un territorio. *Operazione Iulia Felix*, Ed. Della Laguna: 19-28.
- MAROCCO R., PUGLIESE N. & STOLFA D., 1984 - Some remarks on the origin and evolution of the Grado lagoon (Northern Adriatic Sea). *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, 2 (1): 11-17.
- MAROCCO R., MELIS R., MONTENEGRO M.E., PUGLIESE N., VIO E. & LENARDON G., 1996 - Holocene evolution of the Caorle barrier-lagoon (northern Adriatic Sea, Italy). *Riv. Ital. Pal. Strat.*, 102 (3): 385-396.

- MARTINIS B., 1956 - Osservazioni stratigrafiche sul sottosuolo di Lignano (Udine). *Riv. It. Pal. Strat.*, 63: 159-178.
- MOSETTI F., 1983 - Sintesi sull'idrografia del Friuli-Venezia Giulia. *Quaderni ETP*, 6, pp. 295.
- NOTA D.J.G., 1958 - Sediments of the Western Guiana shelf. *Thesis, Mededel. Landbouwhogeschool, Wageningen*, pp. 98.
- OGORELEC B., MISIC M. & FAGANELI J., 1991 - Marine geology of the Gulf of Trieste (northern Adriatic): Sedimentological aspects. *Mar. Geol.*, 99: 79-92.
- OGORELEC B., FAGANELI J., MISIC M. & CERMEJ B., 1997 - Reconstruction of paleoenvironment in the Bay of Koper (Gulf of Trieste, northern Adriatic). *Annales*, 11: 187-200.
- OREL G. & VIO E., 1985 - Gli animali della spiaggia, dei fondali marini antistanti e della laguna. Da raccontare Lignano. *G.A. Benvenuto Ed.*: 97-109.
- PASSEGA R., 1957 - Texture as characteristic of clastic deposit. *Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 41: 1952-1984.
- PASSEGA R., 1964 - Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *Journ. Sed. Petr.*, 34: 830-847.
- PASSEGA R., RIZZINI A. & BORGHETTI G., 1967 - Transport of sediments by waves, Adriatic coastal shelf, Italy. *Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 51: 1304-1319.
- PERES J.M. & PICARD J., 1964 - Nouveau Manuel de Bionomie Benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. St. Mar. d'End.*, 47 (31): 5-138.
- SGARRELLA F. & MONCHARMONT ZEI M., 1993 - Benthic foraminifera of the Gulf of Naples (Italy): systematics and autoecology. *Boll. Soc. Paleont. Ital.*, 32 (2): 145-264.
- STEFANINI S., 1978 - Composizione chimica e inquinamenti delle acque freatiche dell'alta Pianura friulana tra i fiumi Tagliamento e Natisone. *Quaderni IRSA*, 34 (14): 307-337.
- STEFANON A. & WEZEL C.F., 1983 - Three geological puzzles of the Northern Adriatic Sea. 7th *International Diving Science Symposium*, Pd.: 189-196.
- STUIVER M. & REIMER P. J., 1993 - Expanded ¹⁴C data base and revised Calib 3.0 ¹⁴C age calibration program. *Radiocarbon*, 35 (1): 215-230.
- 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.

Indirizzo degli Autori - Authors' addresses:

- dott. Emiliano GORDINI
Via Buonarroti 15, I-34073 GRADO GO
- prof. Ruggero MAROCCO
Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine
dell'Università degli Studi
Via E. Weiss 2, I-34100 TRIESTE
e-mail: marocco@univ.trieste.it
- Ennio VIO
Dipartimento di Biologia
dell'Università degli Studi
Via A. Valerio 30, 32, 34, I-34127 TRIESTE