

GORTANIA - Atti Museo Friul. Storia Nat.	10('88)	81-100	Udine, 31.VII.1989	ISSN: 0391-5859
--	---------	--------	--------------------	-----------------

R. MAROCCO, D. STOLFA †, M.L. ZUCCHI STOLFA †, G. LENARDON

CONSIDERAZIONI SEDIMENTOLOGICHE, PALEOECOLOGICHE E GEOCHIMICHE SUL SONDAGGIO S 15 (CANALE DI MORGO - LAGUNA DI GRADO)*

*SEDIMENTOLOGICAL, PALEOECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL
CONSIDERATIONS ON THE BORING S 15 (MORGO INLET - GRADO LAGOON)*

Riassunto breve — Vengono presentati i risultati di una indagine interdisciplinare svolta su un sondaggio spinto fino alla profondità di circa m 29 dal p.c. in località Canale di Morgo - Laguna di Grado. Sulla base di dati sedimentologici e geochimici controllati e integrati dall'analisi di associazioni faunistiche (malacofauna) è stato possibile evidenziare il succedere, nel tempo, di facies continentali (piana alluvionale) che caratterizzano la maggior parte del sondaggio e di facies paludose e lagunari (piana di marea e barena) nella parte sommitale (da m 4.60 di profondità). L'evoluzione recente dell'area in esame pertanto è definita da una trasgressione dell'ambiente lagunare su una piana alluvionale contigua.

Parole chiave: Sedimentologia, Paleoecologia, Geochimica, Evoluzione quaternaria, Laguna di Grado.

Abstract — *The results of an interdisciplinary research carried out on a boring reaching a depth of 29 m from the field plain at the Morgo Inlet - Grado Lagoon are presented. On the basis of the sedimentological and geochemical data checked and integrated by the analysis of benthic associations (malacofauna in particular), it was possible to identify the succession in time of continental environments (of alluvial plain) typical of most of the boring, as well as lagoonal-swampy facies (of tidal flats and marshes) in its upper section (from 4.60 m upwards). The recent evolution of the area examined is, therefore, defined by transgression of the lagoonal environment onto an adjacent alluvial plain.*

Key words: *Sedimentology, Paleoecology, Geochemistry, Recent evolution, Grado Lagoon.*

Premessa

La presente nota illustra i risultati ottenuti dallo studio sedimentologico, geo-

* Lavoro eseguito con il contributo M.P.I. 60% (Ambienti umidi costieri) diretto da A. Brambati.

chimico e paleoecologico dei terreni attraversati da un sondaggio a carotaggio continuo, eseguito in località Canale di Morgo nella Laguna di Grado (quota + m 0.30) e spinto fino alla profondità di m 29.00.

Lo studio rientra in un programma di ricerca a carattere interdisciplinare finalizzato alla ricostruzione delle recenti vicende del territorio attualmente occupato dalla laguna di Marano e Grado e dai delta dei fiumi Tagliamento e Isonzo. A tal fine sono stati programmati ed effettuati nell'area sopradefinita 20 sondaggi, eseguiti a carotaggio continuo, e spinti fino alla profondità di circa m 30 dal piano campagna, allineati lungo traverse perpendicolari alla laguna e raccordati tra loro da sondaggi intermedi, ubicati lungo la fascia litorale (fig. 1A).

Il programma di ricerca, diretto da A. Brambati Direttore dell'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste, prevedeva:

- indagini di tipo paleontologico, coordinate da M.L. Zucchi Stolfa;
- indagini di tipo micropaleontologico, coordinate da C. Pirini-Radrizzani e in seguito da N. Pugliese;
- indagini di tipo geochimico, coordinate da D. Stolfa;
- indagini di tipo sedimentologico, coordinate da R. Marocco;
- indagini di tipo mineralogico, coordinate da G. Lenardon;
- indagini di tipo palinologico, coordinate da L. Rizzi Longo.

Data l'estensione dell'area, ma soprattutto la rilevante quantità di materiale da analizzare sotto diversi punti di vista ($\approx$ m 600 di carote), si è deciso di articolare la ricerca in due fasi:

- una prima fase che prevede una analisi estremamente dettagliata di una serie di sondaggi "guida" (S12, S15, S19 e S20) ubicati nella laguna di Grado e nel delta del F. Tagliamento;
- una seconda fase che prevede lo studio dei rimanenti sondaggi per confronto e correlazione macroscopica con i sondaggi "guida", previe verifiche paleontologiche puntuali e con l'ausilio di datazioni radiometriche.

In precedenti lavori (STOLFA ZUCCHI & TOPAZZINI, 1976; MAROCCO, PUGLIESE & STOLFA, 1983 e GIOVANNELLI, RIZZI LONGO, STOLFA & ZUCCHI STOLFA, 1985) sono stati rispettivamente illustrati i risultati delle ricerche eseguite sui sondaggi S12 e S19, S20.

A completamento della prima fase della ricerca, la presente nota è rivolta alla definizione, attraverso l'analisi dei caratteri paleoecologici, geochimici e sedimentologici, dell'ambiente di sedimentazione e della provenienza dei depositi attraversati

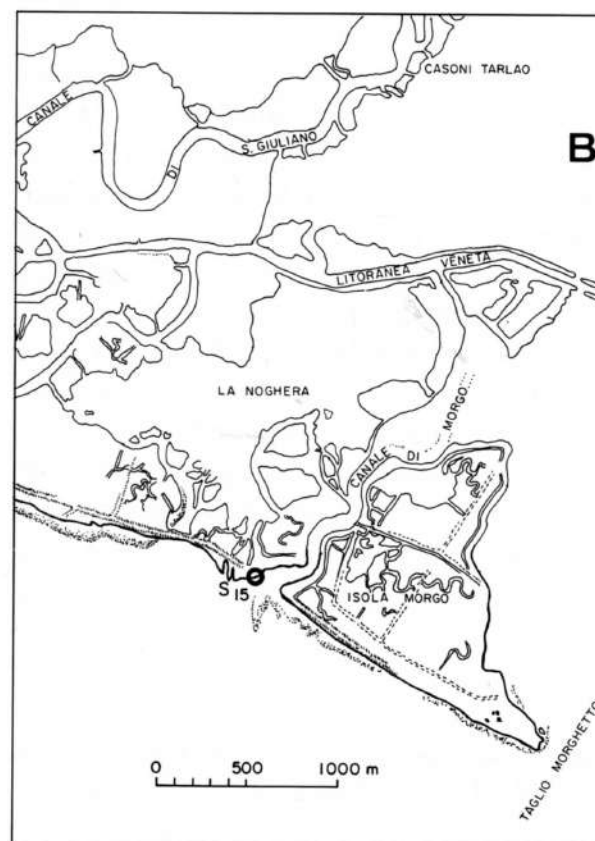
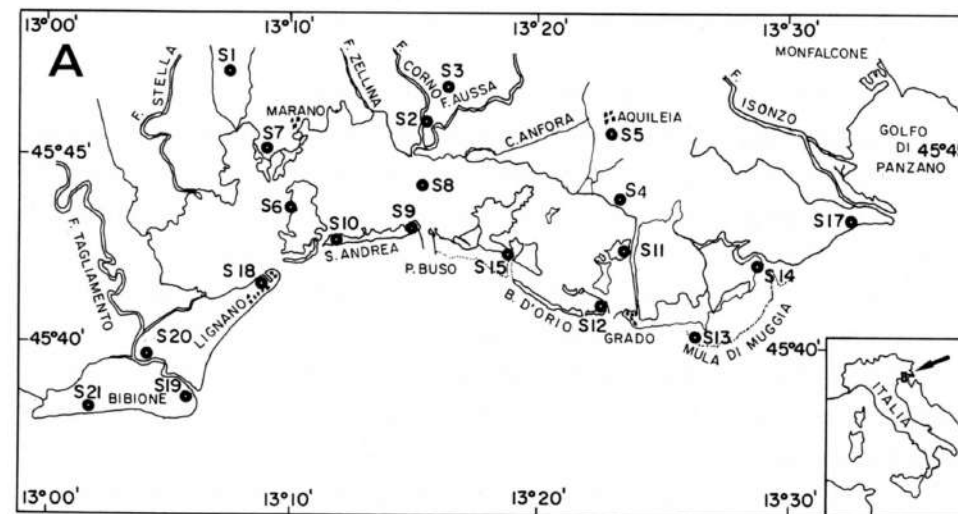


Fig. 1 - A) Laguna di Marano e Grado: ubicazione dei sondaggi.
B) Laguna di Grado: ubicazione del sondaggio S15.
- A) Marano and Grado Lagoon: location of borings.
B) Grado Lagoon: location of boring S15.

dal sondaggio S15, ubicato in località Canale di Morgo-Laguna di Grado (fig. 1B)⁽¹⁾.

In pubblicazioni successive verranno trattati i risultati dell'indagine sedimentologica eseguita sui sondaggi del delta del F. Tagliamento (S19 e S20) (R. MAROCCO, nello stesso volume) e sulla stratigrafia ed evoluzione del sottosuolo della Laguna di Marano (S2, S3, S8 e S9) (R. MAROCCO, in corso di stampa).

A conclusione di questo capitolo, ultimo in termini di trattazione ma non certo per importanza, va precisato che questa nota è stata scritta dopo la tragica scomparsa dei coniugi Dario Stolfi e Maria Luisa Zucchi Stolfi che avevano coordinato rispettivamente le tematiche geochimiche e paleontologiche del programma di ricerca sopradefinito.

Questa nota pertanto vuole essere una piccola testimonianza e una doverosa "continuazione" della loro ricerca da parte di chi, per anni, ha collaborato con loro e da loro ha ricavato insegnamento.

Materiali e metodi di lavoro

Le carote del sondaggio S15, costituite da 37 spezzoni di lunghezza variabile dal metro ai 30 centimetri, sono state aperte, fotografate e descritte minuziosamente, usando particolare attenzione alle variazioni di litologia e di colore e alla presenza di strutture sedimentarie. In fase successiva si è eseguita una campionatura per analisi granulometriche, geochimiche, paleontologiche e micropaleontologiche.

Le analisi granulometriche sono state condotte con il metodo dei setacci per la frazione sabbiosa (intervallo $1/4 \Phi$) e della pipetta per quella pelitica (intervallo 1Φ). La classificazione tessiturale adottata è quella di NOTA (1958).

Le analisi mineralogiche sono state eseguite sulla frazione μm 210-50 (2.25Φ - 4.32Φ); i minerali pesanti sono stati separati per sedimentazione in un liquido di densità di 2.96 (tetrabromoetano). Le analisi sono state eseguite per conteggio su almeno 100 granuli distinguendo i minerali pesanti in minerali opachi e trasparenti secondo il sistema di GAZZI (1962).

(1) L'indagine sedimentologica è stata condotta da R. Marocco, quella mineralogica da G. Lenardon. I dati geochimici e paleoecologici pubblicati nel presente lavoro si riferiscono a tesi di laurea (in ordine Rizzi e Nicoletti) curate dagli scomparsi D. Stolfi e M.L. Zucchi Stolfi, rivisti e aggiornati da R. Marocco, con l'aiuto, per quanto attiene alle malacofaune di E. Vio del Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste. R. Marocco ha curato inoltre la stesura della presente nota.

L'analisi chimica sui sedimenti è stata effettuata previo attacco con HCl 2% dei campioni opportunamente centrifugati. Si sono determinate rispettivamente le quantità di CO_2 , Ca e Mg (al fine di definire i contenuti in calcite e dolomite) e Fe, Mn, Zn e Cu.

La determinazione del CO_2 è stata eseguita per via gas-volumetrica con il calcolatore Dietrich-Fruhling. La determinazione del Ca e Mg è stata eseguita per titolazione con E.D.T.A. 0.01 M, previa aggiunta di soluzione tampone ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$) e "Nero T Eriocromo" per Ca + Mg; KOH 8M e "Pattom & Reeder" per il Ca. I valori di calcite e dolomite sono stati controllati insieme alle quantità di quarzo e feldspati mediante diffrattometria a raggi X. Il Fe, Mn, Zn e Cu sono stati determinati con spettrofotometria ad assorbimento atomico.

Le analisi malacologiche sono state eseguite previo trattamento del campione (1560 cc/500 cc) con H_2O_2 a 120 vol. e quindi setacciatura ad umido con vagli da 50 maglie/cm² e 6400 maglie per cm². Le due frazioni sono state analizzate al microscopio adottando le sistematiche proposte da WENZ (ristampa 1961) per i Gasteropodi, da THIELE (ristampa 1963) per le sottoclassi degli Opisthobranchi e Pulmonati e da MOORE (ristampa 1963) per i Bivalvi.

Risultati

I risultati delle analisi granulometriche e geochimiche vengono sintetizzati in fig. 2. Nelle tabelle I e II sono invece riportati in ordine i risultati delle analisi mineralogiche e paleontologiche.

In base alle analisi eseguite si possono chiaramente distinguere tre principali intervalli del sondaggio analizzato che si presentano in continuità di sedimentazione (fig. 2):

- 1) da m 29.10 a m 18.40 (dal p.c.);
- 2) da m 18.40 a m 4.60 (dal p.c.);
- 3) da m 4.60 a m 0.30 (dal p.c.).

1) La parte basale della serie (intervallo m 29.10-18.40) è costituita da un complesso di sedimenti essenzialmente sabbiosi di color grigio-giallastro (sabbie, sabbie pelitiche e peliti molto sabbiose), a prevalente granulometria media, con dispersi nella matrice (e in particolare alla profondità di m 20.00) ciottolotti silicei che raggiungono-

no al massimo dimensione di un centimetro. Intercalati alle sabbie si rinvencono sottili livelli di pelite (e segnatamente argilla); alla base della serie (m 29.10-21.90) sono ubicati orizzonti torbosi e strutture pelitiche laminari interrotte da strutture di tipo organico (piste di scavatori).

I sedimenti, sotto un profilo composizionale, sono prevalentemente carbonatici e subordinatamente quarzosi. Tra i carbonati la calcite e la dolomite assumono valori di poco discordi (calcite da 26.02% a 57.17%; dolomite da 20.66% a 59.75%), anche se dalla distribuzione verticale dei valori (fig. 2) si può distinguere una zona più profonda, ove si assiste ad una discontinua prevalenza della calcite sulla dolomite, e una zona superiore, ove predomina la dolomite.

Per quanto attiene ai contenuti degli elementi minori, il Fe varia da valori minimi di 1500 ppm a massimi di 7536 ppm; il Mn da 130 a 432 ppm; lo Zn da 10 a 36 ppm e infine il Cu da 6 a 58 ppm. La loro distribuzione verticale manifesta (fig. 2) una spiccata correlazione di proporzionalità diretta tra loro e inversa rispetto alla concentrazione della dolomite.

Nella frazione sabbiosa si registrano (tab. I) tenori di Granato piuttosto stabili e tenori di Picotite crescenti dal letto al tetto dell'intervallo. Tali minerali comunque non raggiungono mai valori simili a quelli degli attuali apporti sabbiosi del F. Tagliamento e del F. Isonzo (GAZZI et al., 1973).

Sotto un punto di vista paleontologico, l'intervallo è contraddistinto da una generale assenza di faune, ad eccezione della puntuale presenza, in corrispondenza di episodi pelitici (m 26.50-26.90), di una associazione di Gasteropodi continentali (tab. II) definita essenzialmente da *Succinea oblonga* e individui giovani di *Lymnaea* sp. e *Vertigo* sp.

P a l o a m b i e n t e: continentale, configurabile in una piana alluvionale con aree acquitrinose-paludose evidenziate dalla presenza di depositi torbosi, associati a materiali pelitici e a gasteropodi dulcicoli m 26.50-26.90. Verso il top dell'intervallo si passa a depositi prevalentemente sabbiosi-ghiaiosi, ben classati, privi di malacofauna, attribuibili in termini di affinità mineralogica più agli attuali depositi del F. Isonzo che a quelli del F. Tagliamento. Sotto un profilo geochimico, l'andamento degli elementi analizzati evidenzia, accanto ad un apporto prevalentemente carbonatico, lievi oscillazioni del regime fluviale, contraddistinte da fasi di deposizione ove si registra il prevalere del residuo solubile (quarzo) rispetto al detrito carbonatico. Residuo che

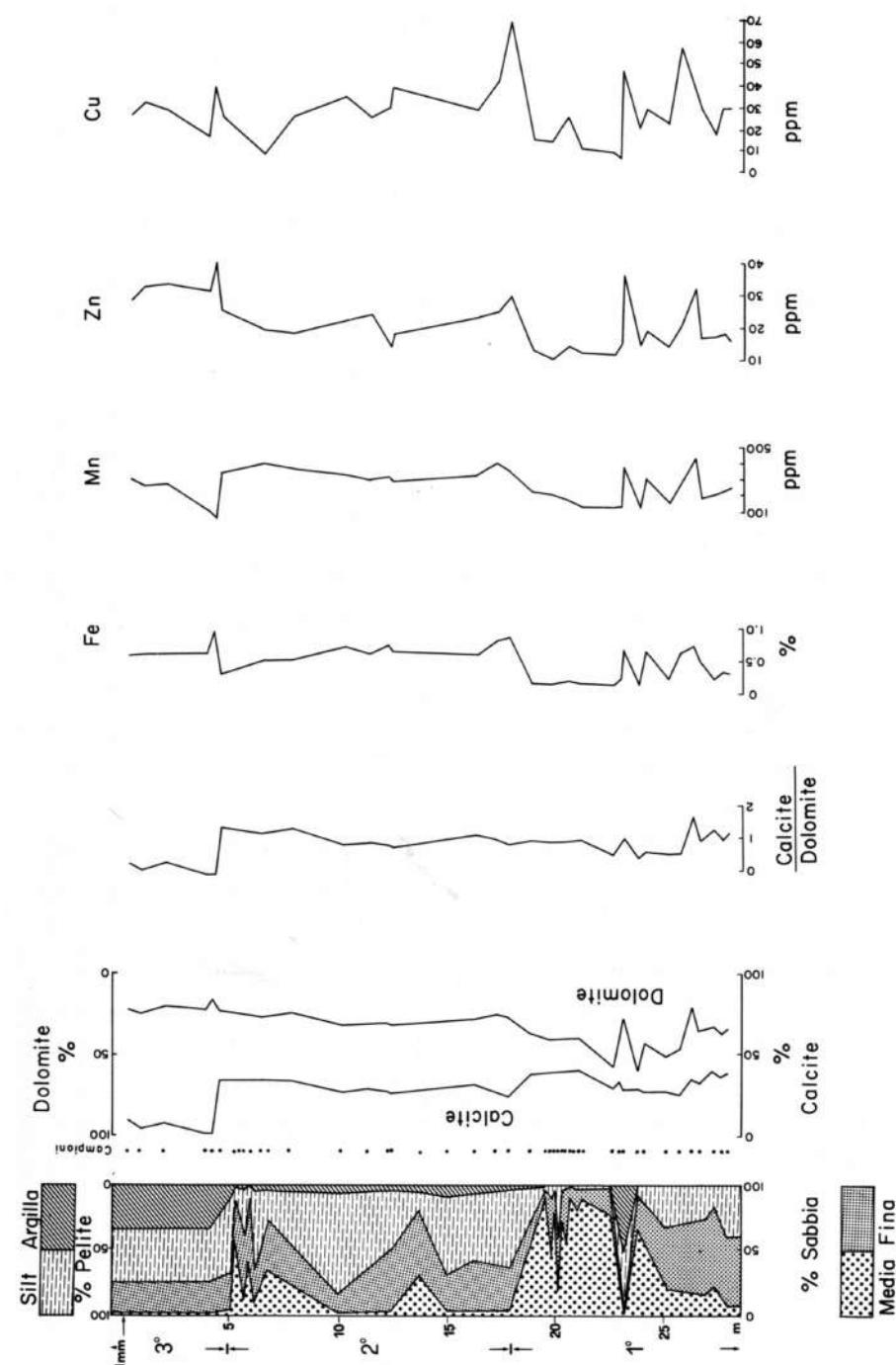


Fig. 2 - Caratteristiche tessiturali e geochimiche del sondaggio S15.
- Textural and geochemical features of boring S15.

	Zirconio	Augite	Orneblenda	Brookite	Rutilo	Anatasio	Staurolite	Epidoto	Tormalina	Granato	Iperstene	Cloritoide	Corindone	Picotite	Tremolite-Actinolite	Titanite	Apatite	Xenotimo
F. Tagliamento	4.3	2.6	—	7.9	1.7	—	6.1	11.3	—	61.7	—	—	—	1.7	—	0.9	—	—
F. Isonzo	19.0	2.0	1.0	7.0	2.0	—	—	12.0	2.0	13.0	—	—	9.0	33.0	—	—	—	—
S 15 (profondità)																		
21.40 m	11.4	20.8	2.7	6.0	3.3	—	0.7	23.6	2.7	18.8	—	—	—	10.0	—	—	—	—
19.30 m	14.8	2.2	0.2	3.6	11.4	—	2.0	6.0	0.8	17.6	—	0.6	—	37.8	—	3.0	—	—
14.00 m	9.9	6.4	1.1	7.2	8.8	0.9	0.9	6.4	3.1	14.9	—	1.5	—	35.6	—	3.3	—	—
10.70 m	4.8	6.4	1.9	13.0	9.6	1.1	1.1	8.3	0.7	13.8	—	2.4	—	27.9	—	6.9	—	—
8.50 m	7.7	3.9	1.6	7.0	9.4	0.5	1.6	13.3	6.8	12.7	—	1.8	—	30.4	—	0.9	2.0	0.4
S 12 (profondità)																		
24.10 m	11.7	5.6	4.0	4.7	8.4	0.9	0.9	12.0	8.0	12.1	—	0.2	—	20.3	0.9	2.8	7.5	—
16.20 m	7.1	3.3	2.2	4.9	7.1	—	1.6	19.0	0.5	15.2	—	1.1	—	35.3	—	—	2.2	0.5
14.50 m	2.1	2.5	2.0	6.1	7.7	0.5	0.7	9.2	4.3	13.4	—	2.1	—	45.7	0.7	3.0	—	—
6.00 m	31.8	2.0	1.0	3.3	6.2	—	1.0	7.5	3.6	19.9	—	0.6	—	22.5	0.3	0.3	—	—
3.30 m	24.5	20.1	4.0	3.1	4.4	0.4	2.7	12.4	0.9	19.1	—	1.3	—	6.2	0.9	—	—	—

Tab. I - Composizione mineralogica degli apporti sabbiosi dei fiumi Tagliamento e Isonzo (da GAZZI et al., 1973) e dei sedimenti sabbiosi attraversati dai sondaggi S15 e S12.

- Mineralogical composition of sandy deposits from the Rivers Tagliamento and Isonzo (to GAZZI et al., 1973) and sandy sediments by borings S15 and S12.

è costituito da materiali dalla granulometria delle peliti e a cui risultano essenzialmente associati gli elementi minori e in tracce analizzati.

Nel complesso, pertanto, l'intervallo è caratterizzato da una sequenza di facies continentali ad energia crescente che culmina in depositi di canale fluviale probabilmente di tipo meandriforme.

2) La parte centrale della serie (intervallo m 18.60-4.60) è rappresentata da un complesso di sedimenti prevalentemente sabbiosi (sabbie pelitiche e peliti molto sabbiose), con al letto e al tetto sequenze di sedimenti pelitici sabbiosi di non trascurabile potenza. Superiormente (m 6.05-4.60 dal p.c.), si sono rinvenuti ciottolotti di circa 1/2 centimetro di diametro, ciottoli di fango e tracce di torba. La colorazione predominante dei sedimenti è grigia tendente al beige. Con riferimento alle strutture sedimentarie e ai contatti, si segnala che nella parte basale dell'intervallo (m 18.60-11.30 dal p.c.) sono presenti strutture laminari alternate a livelli disturbati da rimaneggiamento organico (piste di escavatori, m 18.30-18.60), a cui si associano alcune strutture a gradazione positiva e negativa. I contatti in generale sono di tipo irregolare indistinto e lineare distinto.

Da un punto di vista geochemico (fig. 2), i sedimenti presentano valori di calcite variabili da 24.22% a 34.42%, di dolomite da 23.97% a 39.09% e del residuo insolubile (in prevalenza quarzo e feldspati) compreso tra il 37.97% e il 47.56%. Il Fe, Mn, Zn e Cu presentano lievi oscillazioni del contenuto in elemento (e specialmente per il Fe, Mn e Zn) con valori medi superiori a quelli registrati nell'intervallo inferiore. Anche per il rapporto calcite-dolomite si registrano valori oscillanti all'unità con lievi aumenti della calcite nella parte basale e sommitale dell'intervallo e decrescenti in quella media. Da un punto di vista mineralogico, la frazione sabbiosa analizzata presenta (tab. I) elevati valori di Picotite (prossimi al 30%) e mediamente bassi valori di Granato, decrescenti dal bottom al top dell'intervallo. La distribuzione mineralogica (Picotite prevalente con Granato ed Epidoto subordinati) è molto simile a quella rinvenuta da GAZZI et al., 1973 alle foci del F. Isonzo.

La frazione organica, assente negli orizzonti sabbiosi e pelitici più bassi, è stata rinvenuta associata a sedimentazione pelitica-torbosa dalla profondità di circa m 9.40 al top dell'intervallo.

La fauna è costituita essenzialmente da Gasteropodi continentali (tra cui predominano *Oxychylus* sp., *Succinea oblonga* e *Vallonia* sp.), Ostracodi continentali e frustoli carboniosi. Tale associazione permane fino alla profondità di m 4.80, dove

Profondità in m	dal l.m.m. dal p.c.	5					10					15					20					25					30											
		5					10					15					20					25					30											
Spezzoni		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Gasteropodi																																						
<i>Gibbula adansonii</i> (PAYRAUDEAU)		rr	rr																																			
<i>Perngia ulvae</i> (PENNANT)		ff	ff	ff	rr																																	
<i>Truncatella subcylindrica</i> (LINNÉ)		rr																																				
<i>Rissoa ventricosa</i> DESMAREST		f	f	ff	rr																																	
<i>Bitium reticulatum</i> (DA COSTA)		ff	ff	ff	ff	f																																
<i>Cerithium vulgatum</i> BRUGUIÈRE		rr																																				
<i>Chrysallida interstincta</i> (MONTAGU)		f	f	ff																																		
<i>Ebala pointeli</i> (DE FOLIN)		rr	r	r																																		
<i>Turbonilla lactea</i> (LINNÉ)		f	f	ff																																		
<i>Hinia incrassata</i> (MÜLLER)		rr																																				
<i>Cyclope neritea</i> (LINNÉ)		rr	r	rr																																		
<i>Retusa perstriata</i> (CERULLI-IRELLI)		r	f	f																																		
<i>Littorina</i> sp.		rr																																				
<i>Lymnaea</i> sp.								rr	rr																												f	
<i>Succinea oblonga</i> (DRAPARNAUD)								rr																													ff	
<i>Columella</i> sp.																																					f	
<i>Vertigo</i> sp.																																						
<i>Pupilla</i> sp.								rr																													r	
<i>Vallonia</i> sp.																																						
<i>Oxychilus</i> sp.								ff																													rr	
<i>Vitrinobrachium breve</i> (FERUSSAC)																																					rr	
<i>Trichia</i> sp.								rr																													rr	
Continentali indeterminabili										f																											rr	

Profondità in m	dal l.m.m. dal p.c.	5					10					15					20					25					30											
		5					10					15					20					25					30											
Spezzoni		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Bivalvi																																						
<i>Modiolus</i> sp.																																						
<i>Loripes lacteus</i> (LINNÉ)			rr	rr	r																																	
<i>Ctena</i> sp.			rr	rr	rr																																	
<i>Lepton nitidum</i> TURTON			r	r	f																																	
<i>Mysella bidentata</i> (MONTAGU)			rr		rr																																	
<i>Cerastoderma edule</i> (LINNÉ)			f	f	f																																	
<i>Donax</i> sp.			rr																																			
<i>Abra alba</i> (WOOD)			ff	ff	ff	rr																																
<i>Abra nitida</i> (MÜLLER)			rr		f	r																																
<i>Venerupis aurea</i> (GMELIN)																																						
<i>Chamelea gallina</i> (LINNÉ)			rr																																			

Tab. II - Composizione della malacofauna rinvenuta nel sondaggio S15 (rr = rarissimo; r = raro; f = frequente; ff = frequentissimo).
 - Composition of the malacofauna found in boring S15 (rr = very rare; r = rare; f = frequent; ff = very frequent).

si registra la scomparsa delle forme continentali (le ultime molto rovinare, quindi rimaneggiate) e la presenza di notevoli quantità di ossidi di ferro.

Paleoambiente: ancora continentale, configurabile in una piana alluvionale dove, ad episodi sedimentari contraddistinti da depositi di rilevanti quantità di sabbie, si passa gradualmente ad una sedimentazione pelitica-torbosa con faune continentali e frustoli carboniosi. In particolare, i dati geochimici ricavati indicano un apporto piuttosto costante della fase carbonatica, in condizioni di regime in generale molto più stazionarie dell'intervallo sottostante. Le oscillazioni minori, messe in evidenza soprattutto dal Fe, Mn e Zn, darebbero ragione a locali variazioni di regime con la deposizione di materiali pelitici, con una netta prevalenza della Picotite sul Granato.

Dal basso verso l'alto, pertanto, si assiste ad una sequenza positiva che passa da un ambiente continentale prossimo ad un fiume meandriforme (senza comunque risentire di influenze marine o lagunari) ad un ambiente contraddistinto da acquitrini, dove predomina una sedimentazione per decantazione di materiali fini ricchi di sostanza organica (diversione graduale del corso d'acqua?).

3) Nella parte sommitale della serie (intervallo m 4.60 - top) inizia una successione abbastanza omogenea di peliti sabbiose, con una pigmentazione grigio-verde, grigio-scura alternata. La colorazione scura è legata ad un marcato aumento della sostanza organica costituita prevalentemente da frustoli vegetali, radici ecc.. Nella fig. 3, che riproduce lo spezzone 5 del sondaggio analizzato, viene evidenziata la trasformazione graduale dell'ambiente continentale che al top lascia posto a depositi tidali. Nell'ambito dei depositi lagunari le strutture più diffuse sono quelle di tipo organico determinate da gusci di conchiglie e da animali limivori; seguono, al top dell'intervallo, contatti erosivi ondulati e ciottoli di fango.

Da un punto di vista geochimico, si segnala l'azzeramento del contenuto di calcite che raggiunge al massimo valori di 9.26%, e valori di dolomite e residuo insolubile rispettivamente varianti tra 17.29-23.97% e tra 66.13-82.71%. L'andamento di questi elementi dal bottom al top dell'intervallo (fig. 2) evidenzia per la calcite una lieve tendenza al recupero dei valori dopo l'abbattimento registrato al bottom, una minima diminuzione della dolomite e un notevole decremento nello stesso verso del residuo insolubile costituito da quarzo e minerali argillosi. Per quanto attiene agli elementi in tracce, si segnala un forte sbalzo del Fe nell'orizzonte prossimo ai m 4.60,

che raggiunge il max valore riscontrato nel sondaggio, quindi una lieve flessione fino a portarsi su valori di 6000 ppm.

L'orizzonte dei m 4.60, che segnala una notevole disomogeneità dei dati geochimici, evidenzia inoltre minimi valori di Mn e massimi valori di Zn (max relativo) e Cu (max assoluto). Dal letto al tetto dell'intervallo si manifesta una non perfetta correlazione sia tra Fe, Mn, Zn e Cu, sia tra questi e il residuo insolubile, come era invece la norma negli orizzonti sottostanti.

Da un punto di vista paleontologico, l'intervallo in oggetto rappresenta il passaggio da faune dulcicole a faune salmastre. In particolare, la variazione dell'ambiente testimoniata dalla presenza di organismi bentonici salmastri non avviene bruscamente, ma gradualmente a partire dalla base all'intervallo (m 4.60 dal top), attraverso un primo orizzonte sterile, seguito da un secondo orizzonte definito da una minima presenza di individui bentonici, fino ad arrivare, a m 3.00 dalla sommità, ad una ricca associazione di molluschi marino-lagunari associati ad Ostracodi, spicole di spugna, frustoli carboniosi e foraminiferi alloctoni, che continua fino al piano campagna.

A partire da questo ultimo livello si rinviene, associata a forme marino-salmastre, una popolazione bentonica di ambiente euritermico ed eurialino (L.E.E. di PERES & PICCARD, 1964). Tale associazione è evidenziata dalla presenza di *Cerastoderma edule*, *Venerupis aurea* e *Loripes lacteus* (ZUCCHI STOLFA, 1979).

Le facies marino-salmastre indicano rispettivamente:

- un biotopo a *Cymodocea*, segnalato essenzialmente da *Bittium reticulatum*, forma epibionte sulle foglie di *Cymodocea* e su alghe (OREL & VIO, 1985), e subordinatamente da *Rissoa ventricosa* e *Hinia incrassata*;
- un biotopo delle sabbie fini di moda calma (S.F.M.C.), definito dalla associazione *Loripes*, *Lepton*, *Ctena*, *Mysella*, *Peringia ulvae* ecc.;
- un biotopo delle sabbie fini ben calibrate (S.F.B.C.), manifestato dalla presenza di *Chamelea gallina*.

Tutti questi biotopi si rinvencono attualmente in prossimità della linea di riva dell'Alto Adriatico (OREL & VIO, 1985), nelle immediate vicinanze dei cordoni litorali delle lagune di Marano e Grado.

Da segnalare che nella parte sommitale dell'intervallo sono presenti *Littorina* sp. e *Truncatella subcylindrica*, forme che vivono nella fascia sopralitorale a testimonianza della autoctonia delle faune rinvenute.

Paleoambiente: i dati sedimentologici, geochimici e paleoecologici concorrono nel definire che da m 4.60 dal top inizia una graduale trasformazione che da un ambiente continentale paludoso porta ad ambiente lagunare (m 3.10 dal top). Ambiente quest'ultimo che prosegue fino al piano campagna, con caratteristiche simili a quelle identificabili anche oggi nella laguna di Grado. In particolare, la brusca discontinuità dei dati geochimici e granulometrici registrati nell'orizzonte posto a m 4.60 dal top, e segnatamente la massima percentuale di residuo insolubile e l'andamento discordante degli elementi Fe e Mn (fig. 2), indicano una netta distinzione nel processo di deposizione dei due elementi, legata all'instaurarsi di condizioni riducenti.

Valutando criticamente l'associazione faunistica rinvenuta ed evidenziando le



Fig. 3 - Particolare della carota 5 (top 4.20 m, bottom 5.20 m).

A) Orizzonte di pelite sabbiosa grigio-verde con incluse concrezioni carboniose e tracce di torba. Sterile.

B) Dopo un contatto graduale, pelite sabbiosa di color grigio-scuro con incluse concrezioni carboniose. L'orizzonte termina con un contatto piatto distinto che evidenzia una decantazione del materiale pelitico. Presenza di gasteropodi continentali indeterminabili.

C) Orizzonte di pelite verde con inclusi numerosi frustoli torbosi. Sterile.

- Detail of core sp. 5 (top 4.20 m, bottom 5.20 m).

A) Greyish-green sandy pelitic horizon with carbonate concretions and traces of peat. Sterile.

B) After a gradual contact, dark grey sandy pelite with carbonate concretions. The horizon ends with a different flat contact indicating the decantation of pelitic material. Presence of undefinable continental gastropods.

C) Green pelitic horizon including several peaty frustules. Sterile.

faune autoctone da quelle alloctone, si può distinguere, nell'ambito del sistema lagunare, un primo subambiente di piana di marea contraddistinto da praterie di *Cymodocea* con una sedimentazione organica in prossimità di una bocca lagunare (presenza di forme alloctone) e, al top del sondaggio, un secondo subambiente di barena indentificabile come "salt marshes". E ciò basandosi soprattutto sulla presenza di forme che vivono sulla vegetazione lagunare o a breve distanza da essa (*Loripes lacteus*, *Abra ovata* e *Venerupis aurea*, da OREL & VIO, 1985) e di quelle che predominano sulle aree libere da vegetazione, a forte sedimentazione pelitica (essenzialmente *Cerastoderma* sp., indicatore di "mixed flats", DÖRJES, 1970).

Considerazioni e conclusioni

Sulla base degli elementi emersi dall'analisi dei terreni terebrati nel sondaggio S15 è possibile definire l'evoluzione paleogeografica del tratto occidentale della Laguna di Grado.

In sintesi, dal fondo alla sommità del sondaggio sono state individuate le seguenti facies continentali e lagunari: paludi-acquitrini in una piana alluvionale; episodi fluviali in una piana di un fiume meandriforme, con al tetto depositi siltosi-argillosi con torba e ossidi di ferro; depositi lagunari di piana di marea-barena (situazione attuale). Trattasi pertanto di una fase trasgressiva con alla base una sequenza negativa, quindi una classica sequenza di "fining upward" che si chiude con sedimenti lagunari. Nella sequenza così definita sono assenti i depositi litorali come invece evidenziato poco a SE, nella stessa laguna di Grado, nel sondaggio S12 (ZUCCHI STOLFA & TOPPAZZINI, 1976; MAROCCO, PUGLIESE & STOLFA, 1984).

Una analisi comparata tra i sondaggi S12 e il sondaggio analizzato nella presente nota, evidenzia una notevole differenza tra i due.

In particolare, nel sondaggio S12 sono stati riconosciuti 4 paleoambienti:

- una piana alluvionale con vaste aree acquitrinose e/o paludose (m 29.10-17.00);
- un ambiente continentale con episodi salmastri (piana deltizia?) (m 17.00-9.90);
- un ambiente lagunare di piana di marea (m 9.90-6.55);
- un ambiente litorale che passa a retrolido (da m 6.55 al top).

Pertanto, solo nella parte basale dei due sondaggi si riscontra una analogia negli ambienti di sedimentazione, mentre a partire da circa m 17 dal p.c. i due sondaggi

segnalano vicende dissimili anche se culminano con una generale ingressione dell'ambiente lagunare su una piana alluvionale.

La diversità dei due sondaggi nel loro tratto superiore è avvertibile anche macroscopicamente ed è dettata da una certa gradualità nel succedersi delle facies registrate nel sondaggio S15 che non trova riscontro negli episodi discontinui e alternati del sondaggio S12.

In riferimento alla provenienza dei depositi sabbiosi, le indagini mineralogiche hanno permesso di definire che i depositi del sondaggio S15, come quelli del sondaggio S12, non si discostano di molto dalla composizione mineralogica degli attuali contributi del F. Isonzo. Si può ritenere quindi che i terreni attraversati dai due sondaggi siano imputabili alle divagazioni del F. Isonzo o del "Paleoisozzo" che gravitava nell'area gradese.

Per quanto attiene all'età dei sedimenti attraversati, va segnalato che misure radiometriche eseguite con il metodo standard del ^{14}C su depositi torbosi posti alle profondità di circa m 18 nel sondaggio S12 e m 7 nel S5, hanno fornito, rispettivamente, un'età di circa 29.600 e di 21.700 ± 580 anni B.P.

Queste età corrispondono, secondo lo schema cronologico proposto da PANIZZA (1985), all'interstadiale Würm II - Würm III (Pandord) e all'ultimo stadio glaciale Würm III. Analisi polliniche (GIOVANNELLI et al., 1985) su torbe basali dei sondaggi eseguiti sul delta del F. Tagliamento mostrano una spiccata analogia con le associazioni della "fase e" (fase steppica a Graminacee 23.000 - 18.000 B.P.), riconosciuta nei terreni sottostanti la laguna di Venezia (BORTOLAMI et al., 1977). Tutti questi dati concordemente definiscono che i depositi continentali dell'area in studio hanno età simili e hanno registrato vicende climatiche analoghe ai depositi analizzati da BORTOLAMI et al., 1977 della laguna di Venezia.

Per quanto attiene ai depositi lagunari sommitali del sondaggio S15, analisi radiometriche con il metodo ^{14}C su molluschi eurialini sono in corso di esecuzione. Data l'impossibilità di eseguire correlazioni stratigrafiche con i depositi lagunari attraversati più ad Est nel sondaggio S12 (impossibilità dettata dalla non perfetta conoscenza delle linee-tempo nei due sondaggi), allo stato attuale della ricerca si può solo affermare che, all'interno dell'ambiente lagunare gradese, riscontri archeologici fanno presumere una formazione in epoca storica, almeno della parte verso terra del suddetto ambiente (MAROCCO et al., 1984).

In conclusione, sulla base dei risultati emersi dallo studio interdisciplinare dei terreni attraversati nel sondaggio S15, è stato possibile evidenziare il succedersi nel

tempo, almeno dopo l'ultima fase glaciale del Würm III, di facies continentali dapprima di piana alluvionale con episodi palustri o acquitrinosi, da episodi fluviali e quindi da un complesso con sequenza positiva di depositi alluvionali che gradualmente lasciano posto a depositi lagunari di piana di marea e di barena. Questi risultati se confrontati con la risultanza di analoghi studi eseguiti più ad Est sui sondaggi S12, S11, S4 e S5 (MAROCCO et al., 1984) permettono di tratteggiare i punti essenziali dell'evoluzione recente del sottosuolo della laguna di Grado.

Durante l'ultima fase glaciale del Würm III, l'area dell'attuale laguna gradese era una vasta piana alluvionale con aree acquitrinose-palustri e con una vegetazione di tipo steppico. Nel Tardiglaciale inizia una fase trasgressiva che non ha direttamente interessato l'area, che è invece caratterizzata da alluvionamenti della bassa pianura e da ricorrenti fenomeni di diversione fluviale dei corsi d'acqua della provincia petrografica del F. Isonzo (specificatamente Isonzo, Natisone e Torre). Questo periodo non termina con una emersione dell'area, come invece è stato appurato per la laguna di Venezia con la formazione di paleosuoli o/e "Caranto" (datati 14.750 ± 400 B.P. da BORTOLAMI et al., 1977), ma continua fino ad una data imprecisata dell'Olocene, quando i due sondaggi registrano una rapida trasgressione dell'ambiente lagunare su una piana alluvionale; ad essa segue una trasgressione marino-litorale sull'ambiente lagunare parzialmente eroso (S12). Analoga trasformazione è stata segnalata da ALBEROTANZA, FAVERO & SERANDREI BARBERO (1977) nella laguna di Venezia (passaggio intervallo B-intervallo A).

Con la laguna di Venezia, pertanto, si riscontrano forti analogie nel processo di formazione dell'ambiente lagunare, ma non sembrano esistere, allo stato attuale della ricerca e senza il conforto di un numero significativo di datazioni assolute, analogie per quanto attiene movimenti del suolo per subsidenza regionale. Tali fenomeni, nella laguna di Grado, sembra si siano verificati solo localmente e in conseguenza del consolidamento dei terreni che sono stati interessati da diversioni fluviali.

Con riferimento all'eustatismo, sempre nei termini sopradefiniti, si esclude l'ipotesi proposta da numerosi autori, tra i quali DORIGO (1965), SEGRE (1969), BRAMBATI (1970 e nei lavori successivi), di un innalzamento del livello del mare al di sopra della posizione attuale, seguendo le variazioni proposte da FAIRBRIDGE (1961). Sulla base dei dati finora raccolti, l'innalzamento del livello marino sembra sia avvenuto gradualmente, fino a portarsi alla posizione attuale, secondo l'ipotesi di SHEPARD (1964) ma soprattutto di JELGERSMA (1961, 1966).

A conclusione di questo lavoro e riprendendo e completando i risultati già noti

(MAROCCO et al., 1984), che potrebbero essere suscettibili di ulteriore perfezionamento in termini cronostatigrafici sulla base di datazioni assolute in corso di esecuzione, si può sintetizzare quanto segue:

- la laguna di Grado si è formata in epoca recente, per ingressione su una piana alluvionale;
- i cordoni litorali si sono formati per trasgressione di sedimenti litorali su sedimenti lagunari;
- la parte settentrionale della laguna di Grado si è formata in epoca storica, probabilmente romana;
- alle spalle della laguna non esiste alcuna linea di riva di età Versiliana, come invece ipotizzato da DORIGO (1965), SEGRE (1969) e BRAMBATI (1970 e nei lavori successivi);
- nell'area della laguna di Grado gravitava in tempi diversi e con continue diversioni da W ad E, un corso d'acqua di notevole apporto solido con contributi sabbiosi di composizione simile a quella degli attuali depositi del sistema isontino (Fiumi Isonzo-Natisone-Torre).

Manoscritto pervenuto il 10.XI.1988.

Ringraziamenti

Si ringraziano i proff. A. Brambati e C. Pirini-Radrizzani per la revisione critica del manoscritto e N. Pugliese per i consigli nella stesura del testo.

ZUSAMMENFASSUNG - Die Ergebnisse der mehrere Fachbereiche umfassenden Untersuchung der Böden der Sondierung S15 lassen darauf schließen, daß der südlichste Teil der Lagune von Grado am Ende der letzten Würmeiszeit (Würm III) eine Anschwemmungsebene mit Sumpf- und Moorland war. Von der Späteiszeit an bis zum Oligozän entwickelte sich diese Ebene in ein zwar weithin kontinentales jedoch nun in der Nähe eines Flußdeltas gelegenes Gebiet und wurde damit zum Sumpfland. Letzteres verwandelte sich stufenweise in eine Lagunenlandschaft einer Gezeitebene und schließlich in Marschland (oberste Schicht der Sondierung). Wenn man diese Ergebnisse mit denen ähnlicher Untersuchungen in der Lagune von Grado (MAROCCO et al., 1984) vergleicht, lassen sich die wesentlichen Punkte der jüngeren Entwicklung des Lagunenuntergrunds wie folgt zusammenfassend darstellen:

- die Lagune von Grado ist in der jüngeren Epoche durch den Meeresspiegelanstieg (transgressive Tendenz) in einer Anschwemmungsebene entstanden;
- die Uferdämme haben sich durch die Überlagerung von Ufersedimenten und lagunäre Sedimenten gebildet;
- der nördlichste Teil der Lagune hat sich erst in jüngster Epoche, vermutlich zur Römerzeit gebildet;

- landeinwärts der Lagune existiert keine versilianische Strandlinie. Das Gegenteil wurde in Arbeiten von SEGRE (1968), BRAMBATI (1970) und späteren Veröffentlichungen angenommen;
- auf dem Gebiet der Lagune von Grado befand sich einst ein Fluß mit beachtlicher Sedimentzufuhr, dessen Lauf sich stufenweise von West nach Ost verlegte. Die sandigen Ablagerungen aus der Zufuhr dieses Wasserlaufs haben eine ähnliche Zusammensetzung wie die heutige Sedimentzufuhr des isontinischen Systems (Flüsse Isonzo, Natisone und Torre).

Bibliografia

- ALBEROTANZA L., FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R., 1977 - I sedimenti olocenici della Laguna di Venezia (Bacino Settentrionale). *Boll. Soc. Geol. It.*, 96: 243-269.
- BORTOLAMI G.C., FONTES J. CH., MARKGRAF V. & SALIEGE J.F., 1977 - Land sea and climate in the northern Adriatic region during late Pleistocene and Holocene. *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.*, 21: 139-156.
- BRAMBATI A., 1970 - Provenienza, trasporto e accumulo dei sedimenti recenti nella laguna di Marano e di Grado e nei litorali tra i fiumi Isonzo e Tagliamento. *Mem. Soc. Geol. It.*, 9: 281-329.
- BRAMBATI A., 1985 - Modificazioni costiere nell'arco lagunare dell'Adriatico Settentrionale. *Ant. Altoadriatiche*, 27, Studi Jesolani: 13-47.
- CECCHINI R., 1938 - Genesi delle spiagge venete e origine dei boschi litoranei. *Atti Congr. Geogr. It.*, Udine, 2: 229-241.
- COMEL A., 1954 - Monografia sui terreni della pianura friulana. I, Genesi della pianura orientale costruita dall'Isonzo e suoi affluenti. *N. Ann. Ist. Chim. Agr. Sper.*, Gorizia, 5, pp. 288.
- DESIO A., 1922 - Le variazioni della foce del fiume Isonzo. *Riv. Geol. It.*, 29: 249-268.
- DORIGO L., 1965 - La laguna di Grado e le sue foci. Ricerche e rilievi idrografici. *Uff. Idr. Mag. Acq.*, Venezia, pp. 231.
- DÖRJES J., 1970 - Das Watt als Lebensraum. In: REINEK H. - E., ed. - Das Watt, Ablagerungs- und Lebensraum: 71-105.
- FAIRBRIDGE R.W., 1961 - Eustatic changes in sea level. *Physics Chem. of the Earth*, Pergamon, London, 4: 99-185.
- FERUGLIO E., 1936 - I sedimenti marini nel sottosuolo della bassa friulana. *Boll. Soc. Geol. It.*, 55: 129-138.
- GAZZI P., 1961 - Ricerche sulla distribuzione dei minerali pesanti nei sedimenti arenacei dell'Appennino Tosco-Romagnolo. *Acta Geol. Alp.*, 8.
- GAZZI P., ZUFFA G.G., GANDOLFI G. & PAGANELLI L., 1973 - Provenienza e dispersione litoranea delle sabbie adriatiche tra le foci dell'Isonzo e del Foglia: inquadramento regionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 12: 1-37.
- GIOVANNELLI M.M., RIZZI LONGO L., STOLFA D. & ZUCCHI STOLFA M.L., 1985 - Considerazioni paleoecologiche sui sondaggi S19 - Lignano e S20 - Bevazzana (Delta del fiume Tagliamento). *Gortania - Atti Mus. Friul. St. Nat.*, 7: 87-112.
- GIRARDI G., 1841 - Storia fisica del Friuli. Tomo 1, 2, 3, *Pascatti*, San Vito al Tagliamento, pp. 582.
- JELGERSMA S., 1961 - Holocene sea-level changes in the Netherlands. *Meded. Geol. Stich.*, 6: 1-101.

- JELGERSMA S., 1966 - Sea-level changes during the last 10.000 years. Symposium world climate from 8.000 to 0 B.C. *R. Meteorol. Soc.*: 54-71.
- MAROCCO R., PUGLIESE N. & STOLFA D., 1984 - Some remarks on the origin and evolution of the Grado Lagoon (Northern Adriatic Sea). *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, 2: 11-17.
- NOTA D.J., 1958 - Sediments of the western Guiana shelf. Thesis, Medadel Landbonwhogeschool, Wagenigen, pp. 98.
- OREL G. & VIO E., 1985 - Gli animali della spiaggia, dei fondi marini antistanti e della laguna. In: "Raccontare Lignano", *G. Angelico Benvenuto*: 97-109.
- PANIZZA M., 1985 - Schemi cronologici del quaternario. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 8: 44-48.
- PERES J.M. & PICARD J., 1964 - Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. Sta. Mar.*, Endoume, 31 (47), pp. 137.
- SEGRE A.G., 1969 - Linee di riva sommerse e morfologie della piattaforma continentale italiana relative alla trasgressione marina versiliana. *Quaternaria*, 11: 1-14.
- SHEPARD F.P., 1964 - Sea level changes in the past 6000 years: possible archeological significance. *Scienze*, 143: 574-576.
- STOLFA ZUCCHI M.L., 1971 - Gasteropodi recenti dell'Adriatico Settentrionale tra Venezia e Trieste. *Mem. Mus. Trid. Sc. Nat.*, 18 (3): 1-27.
- STOLFA ZUCCHI M.L., 1972 - Lamellibranchi recenti dell'Adriatico Settentrionale tra Venezia e Trieste. *Mem. Mus. Trid. Sc. Nat.*, 19 (1): 123-243.
- STOLFA ZUCCHI M.L., 1976 - Gasteropodi recenti delle lagune di Grado e Marano. *Atti Soc. It. Sc. Nat. Mus. Civ. St. Nat.*, Milano, 118 (2): 144-164.
- STOLFA ZUCCHI M.L., 1979 - Lamellibranchi recenti delle lagune di Grado e Marano. *Gortania - Atti Mus. Friul. St. Nat.*, Udine, 1: 41-60.
- STOLFA ZUCCHI M.L. & TOPAZZINI C., 1976 - Dati paleoecologici preliminari dedotti dalla malacofauna del sondaggio S12 (Adriatico Settentrionale). *Boll. Soc. Geol. It.*, 95 (5): 981-990.

Indirizzi degli Autori - Authors' addresses:

- Prof. Ruggero MAROCCO
- Prof. Maria Luisa ZUCCHI STOLFA †
- Prof. Giovanni LENARDON
Istituto di Geologia e Paleontologia
dell'Università degli Studi
P.le Europa 1, I-34127 TRIESTE
- Prof. Dario STOLFA †
Istituto di Mineralogia e Petrografia
P.le Europa 1, I-34127 TRIESTE