

R. MAROCCO

CONSIDERAZIONI SEDIMENTOLOGICHE
SUI SONDAGGI S19 E S20
(DELTA DEL F. TAGLIAMENTO)*

*SEDIMENTOLOGICAL CONSIDERATIONS ON THE BORINGS S19 AND S20
(RIVER TAGLIAMENTO MOUTH)*

Riassunto breve — In questo lavoro vengono riportati i risultati di uno studio sedimentologico effettuato su 2 sondaggi, eseguiti con carotaggio continuo fino alla profondità di circa 30 m dal p.c. nel delta del F. Tagliamento. La presente ricerca completa il quadro delle conoscenze sull'evoluzione recente dell'area in questione (GIOVANNELLI et al., 1985) ed in particolare evidenzia una serie di sequenze sedimentarie definite da un ciclo trasgressivo-regressivo, determinato quest'ultimo dalla progradazione recente del F. Tagliamento.

Parole chiave: Sedimentologia, Evoluzione quaternaria, Sondaggi, Delta del F. Tagliamento.

Abstract — *This paper reports the results of a sedimentological study carried out on two borings, drilled with continuous-coring to a depth of about 30 m from the field plain at the Mouth of the River Tagliamento. This research completes the information available on the recent evolution of the region examined (GIOVANNELLI et al., 1985) and, in particular, underlines a series of sedimentary sequences defined by a transgressive-regressive cycle of which the last was originated by the recent progradation of the River Tagliamento.*

Key words: *Sedimentology, Quaternary evolution, Borings, River Tagliamento Mouth.*

Introduzione

In questa nota viene riportato lo studio sedimentologico effettuato sui sondaggi S19 e S20 e viene completata l'indagine interdisciplinare condotta sui sondaggi "guida" del delta del F. Tagliamento (GIOVANNELLI, RIZZI LONGO, STOLFA & ZUCCHI STOLFA, 1985).

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

La finalità della ricerca, come evidenziato nella precedente nota (MAROCCO, STOLFA, ZUCCHI STOLFA & LENARDON nello stesso volume), è quella di definire l'evoluzione recente della pianura costiera del Friuli-Venezia Giulia ed in particolar modo della laguna di Marano e Grado e dei delta dei fiumi Tagliamento e Isonzo. Per la modalità di ricerca si rimanda alla sopraccitata nota, in cui vengono espone le principali tematiche seguite, la modalità di esecuzione, l'ubicazione dei sondaggi (fig. 1A) e le articolazioni adottate per l'espletamento della ricerca coordinata da A. Brambati, Direttore dell'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste.

In riferimento alla ubicazione dei sondaggi (fig. 1B), viene precisato che il sondaggio S19 è ubicato alla destra del F. Tagliamento, all'interno del suo apparato deltilizio (in un'area elevata tra il terzo e quarto ordine di dune a partire dal mare) e ad una quota di m 2.5 dal l.m.m.

Il sondaggio S20 (località Bevazzana) è localizzato alla sinistra del F. Tagliamento in vicinanza di un recente meandro, in un'area pianeggiante ($q = m 0.7$ dal l.m.m.), posta immediatamente alle spalle dell'apparato deltilizio.

Materiali e metodi

I sondaggi S19 e S20 sono stati eseguiti a carotaggio continuo a percussione fino alla profondità rispettivamente di m 29.40 e di m 29.70 dal piano di campagna.

Gli spezzoni di carota così ricavati (28 per entrambi i sondaggi) sono stati tagliati, fotografati, descritti minuziosamente e quindi campionati.

Nella descrizione si sono evidenziate le caratteristiche litologiche dei terreni attraversati, i contatti tra le unità litologiche e il loro spessore, e via via, la struttura interna, la pigmentazione dello strato e il loro contenuto organico e/o organogeno. Dopo la descrizione e solamente nei tratti di sondaggio non disturbati dalle operazioni di carotaggio, sono state eseguite campionature (per analisi granulometriche, mineralogiche e per datazioni con il metodo del ^{14}C) facendo attenzione che il campione raccolto fosse il più possibile rappresentativo di un unico episodio sedimentario.

Complessivamente, per le sole analisi granulometriche, sono stati studiati 57 campioni di sedimento del S19 e 40 campioni di sedimento del S20. Dette analisi sono state condotte con il metodo dei setacci (frazione sabbiosa $2000-50 \mu\text{m}$; $-1/4.32 \Phi$) e della pipetta (frazione pelitica $< 50 \mu\text{m}$; $> 4.32 \Phi$). La classificazione tessiturale adottata è quella di NOTA (1958). L'indagine sedimentologica è stata finalizzata prin-

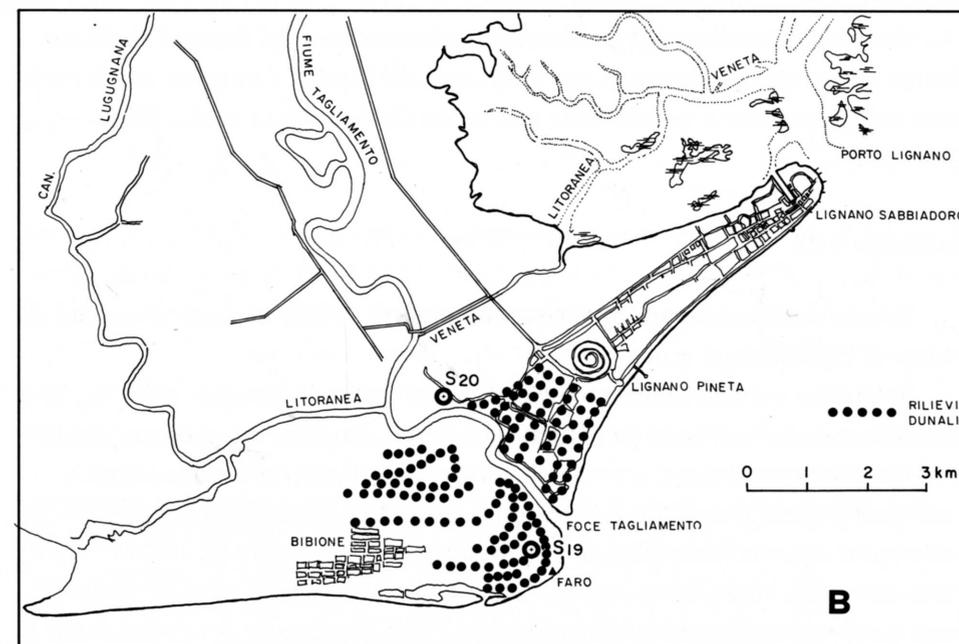
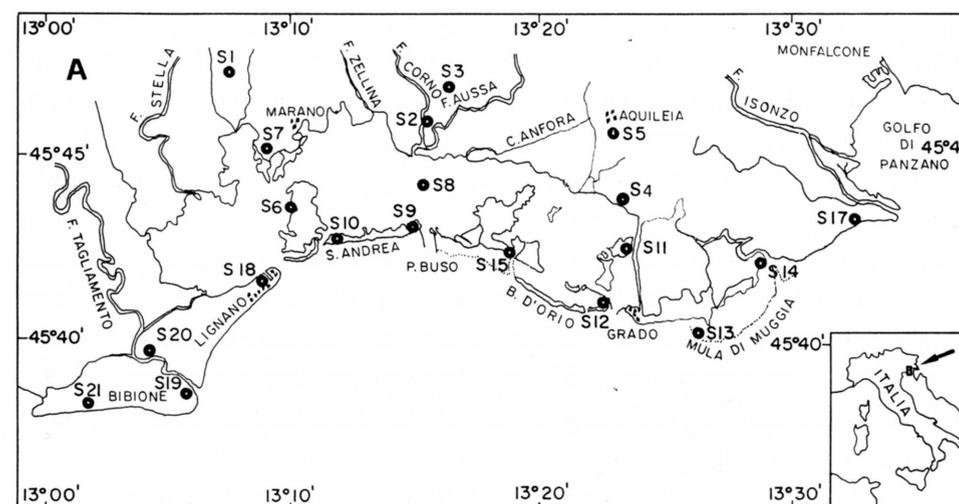


Fig. 1A - Laguna di Marano e Grado: ubicazione dei sondaggi.

- Marano and Grado Lagoon: location of borings.

B - Delta del F. Tagliamento: ubicazione dei sondaggi S19 e S20 e dei rilievi dunali (parte relitti) dell'apparato deltilizio.

- River Tagliamento Mouth: location of borings S19 and S20 and dune reliefs (partly debris) of the delta.

cialmente alla definizione delle caratteristiche tessiturali dei sedimenti, alla loro modalità di trasporto e di sedimentazione (analisi dei parametri C e M), e all'analisi della loro distribuzione modale, secondo le metodiche già adottate da BRAMBATI, 1969; BRAMBATI et al., 1979, ecc.

A completamento dell'indagine sedimentologica, al fine di definire la provenienza dei sedimenti, sono state eseguite determinazioni dei minerali pesanti (segnatamente del contenuto in Picotite e Granato) sulla frazione sabbiosa degli orizzonti più significativi del sondaggio S19 con la modalità espressa nella precedente nota (MAROCCO et al., stesso volume). Infine, su materiale torboso e su conchiglie marine (*Turritella communis*), rinvenuti rispettivamente negli orizzonti a m 3.00 e a m 15.60 dal p.c. del S19 e nell'orizzonte conchigliare (costituito da bivalvi euritermi ed eurialini) posto a m 7.50 dal p.c. del S20, sono in corso, presso il Laboratorio di Idrologia e di Geochimica Isotopica dell'Università di Parigi Sud, analisi radiometriche del ¹⁴C con l'acceleratore lineare.

Per l'individuazione dell'ambiente di sedimentazione dei depositi analizzati, i risultati dello studio sedimentologico sono stati confrontati e integrati con le risultanze paleoecologiche e geochimiche emerse da GIOVANNELLI et al., 1985.

Sondaggio S 19

In conformità al lavoro di GIOVANNELLI et al., 1985, le quote di seguito riportate si riferiscono al p.c.

Sulla base dei dati sedimentologici riportati in forma sintetica nella fig. 2, il sondaggio eseguito sull'apice dell'attuale delta del F. Tagliamento può esser suddiviso in quattro zone distinte, a loro volta suscettibili di ulteriori suddivisioni:

- una parte basale (intervallo compreso tra m 29.40 e 16.80 dal p.c.);
- una parte centrale (intervallo m 16.80 - 9.45);
- una parte intermedia (intervallo m 9.45 - 4.85);
- una parte sommitale (da m 4.85 al top).

La parte basale del sondaggio è costituita da un complesso di sedimenti pelitici, a predominante composizione siltosa, interrotto da episodi di sedimentazione sabbiosa che si sovrappongono con un netto contatto erosivo ai depositi sottostanti. Nel complesso pelitico sono presenti orizzonti torbosi compattati, con inclusi Gastropodi e Ostracodi dulcicoli (a m 28.70, 19.60 e 17.50) e frustoli carboniosi dispersi

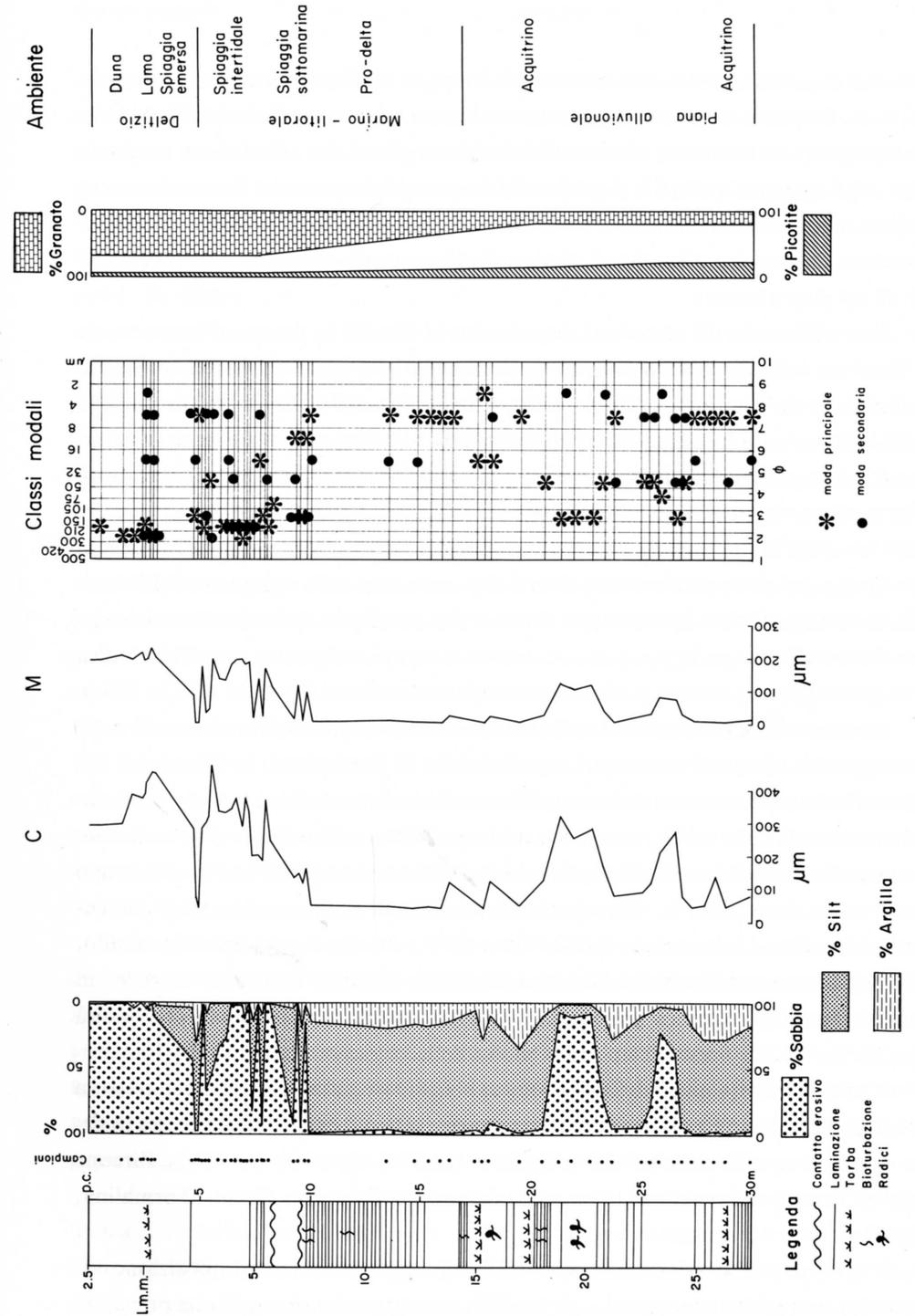


Fig. 2 - Caratteristiche tessiturali e mineralogiche del sondaggio S19. - Textural and mineralogical features of boring S19.

nella matrice siltosa, particolarmente evidenti a m 18.00. Sempre nel complesso pelitico, sono frequenti strutture laminari che sfumano verso la sommità dell'intervallo ad alternanze centimetriche di materiali siltosi e argillosi. La colorazione predominante degli orizzonti pelitici è il grigio che diviene grigio-scuro in concomitanza di livelli ricchi di sostanza organica. La colorazione negli orizzonti sabbiosi è il grigio-nocciola. Sono evidenti fenomeni di bioturbazione negli orizzonti posti a m 20.00 e m 17.00 di profondità.

Con riferimento ai parametri granulometrici (fig. 2) va precisato innanzitutto che il valore della mediana risente ovviamente delle variazioni tessiturali anzidette, oscillando da un valore max di μm 140 (in coincidenza della fase di sedimentazione sabbiosa) a valori min di μm 6. Lo stesso vale per l'1 Percentile che assume valori massimi in concomitanza degli episodi di sedimentazione sabbiosa (μm 330) e minimi in corrispondenza di quelli pelitici (da μm 50 a 90). Va segnalato a riguardo del C che, a volte, in sedimenti pelitici si riscontrano valori intorno a μm 120, quindi delle dimensioni delle sabbie medio-fini, a dimostrazione della variabilità della competenza dell'agente di trasporto dei sedimenti. Dal confronto della distribuzione verticale del C e M emerge, in generale, una buona proporzionalità tra i valori, che indica un trasporto per sospensione gradata secondo le metodiche di PASSEGA (1957 e 1964).

La distribuzione modale dei sedimenti manifesta una netta prevalenza dei campioni bimodali su quelli unimodali o polimodali. In particolare, la bimodalità dei sedimenti viene determinata dalla associazione di mode (o di classi modali) nel campo dimensionale delle sabbie, con mode nel campo della pelite. Meno frequenti sono le associazioni modali (moda principale e secondaria) coesistenti nell'ambito del campo dimensionale della pelite ($< 50 \mu\text{m}$); non sono presenti sedimenti bimodali con entrambe le mode nel campo delle sabbie. Così, dal fondo alla sommità dell'intervallo, si rinvengono essenzialmente sedimenti unimodali e bimodali con classe modale μm 8-4, associata negli ultimi a μm 50-32. L'orizzonte sabbioso posto alla profondità di m 22.50 - 21.00, presenta un'unica moda nella classe modale μm 150-105.

L'analisi mineralogica della frazione sabbiosa, eseguita nell'orizzonte posto a m 26.00, rende manifesta una notevole presenza di Picotite (23.1%) associata in ordine decrescente a Granato (17.8%), Epidoto (14.8%), Brookite (13.0%) e Zirconio (12.2%). Sono inoltre presenti in quantità del tutto subordinata Rutilo, Tormalina, Augite, Apatite e Titanite.

L'orizzonte sabbioso sommitale (m 22.50 - 21.00) mostra una composizione mineralogica non molto dissimile da quella dell'orizzonte inferiore, con una prevalen-

za, però, dello Zirconio (27.7%) sul Granato (19.4%) e sulla Picotite (14.1%); prevalenza che sembra essenzialmente esser dettata da variazioni granulari. Si assiste pertanto, procedendo dal basso verso l'alto del sondaggio (fig. 2), e per quanto riguarda i minerali traccianti i depositi sabbiosi del F. Tagliamento (Granato) e dell'Issonzo (Picotite), ad una lieve diminuzione percentuale della Picotite a favore del Granato, che però non raggiunge valori percentuali uguali a quelli degli attuali apporti tilaventini.

La parte centrale del sondaggio (intervallo m 16.80 - 9.45) è definita da una serie di sedimenti pelitici a granulometria in prevalenza siltosa, fittamente laminata a partire dalla profondità di m 15.60, con laminazione piano parallela che si evolve verso la sommità dell'intervallo ad alternanze siltose argillose di dimensioni centimetriche. La colorazione prevalente è la grigia. La componente organica del sedimento registra una netta diminuzione rispetto all'intervallo sottostante e viene sostituita da micro e malacofauna di ambiente marino-salmastro (GIOVANNELLI et al., 1985). Sono inoltre presenti bioturbazioni determinate da gallerie centimetriche (*Upogebia pusilla?*) che incidono obliquamente la stratificazione piano-parallela. Per quanto attiene ai parametri granulometrici, la mediana mostra valori pressoché costanti, intorno ai μm 10; uguale andamento evidenzia il parametro C (μm 40-50) che manifesta però, nella parte più bassa dell'intervallo, puntuali valori intorno a μm 120. La modalità di trasporto risultante è in parte identica a quella dell'intervallo sottostante (sospensione gradata) con una forte componente di sedimenti trasportati per sospensione uniforme.

Le classi modali sono essenzialmente concentrate su valori di μm 8-4, con in subordine classi modali μm 50-32 e μm 32-16.

La parte intermedia (m 9.45-4.85) è costituita da orizzonti sabbiosi interrotti da sequenze con strutture laminate di pelite sabbiosa. La serie sabbiosa al letto dell'intervallo si presenta laminata, mentre al tetto diviene compatta, priva di strutture sedimentarie. Il tipo di contatto tra i livelli pelitici e quelli sabbiosi è lineare distinto. La colorazione dei sedimenti pelitici e pelitici sabbiosi è grigia; quella delle sabbie grigio-nocciola/ nocciola. L'intervallo in generale è caratterizzato da una discreta presenza di resti organogeni e segnatamente di malacofaune marino-litorali.

I parametri C e M evidenziano un andamento simile con una notevole alternanza di valori (da μm 50 a 470 e da μm 7 a 195 rispettivamente). Questo trend sottolinea una notevole variazione della capacità di trasporto e delle competenze dell'agente fluviale, con momenti ove vengono deposti materiali trasportati per sospensione

gradata-saltazione e altri in cui si sedimentano le peliti trasportate per sospensione uniforme.

Anche la distribuzione modale dei sedimenti sottolinea l'alternanza delle fasi di sedimentazione con sedimenti unimodali (quasi sempre sabbiosi con classi modali distribuite essenzialmente in μm 300-210/210-150/150-105) e subordinatamente pelitici (μm 8-4), ma soprattutto la sovrapposizione dei regimi diversi segnalati da sedimenti bimodali con classe modale μm 150-105 e classe modale secondaria μm 8-4 o μm 32-16 o μm 50-32⁽¹⁾.

La composizione mineralogica della frazione sabbiosa del sedimento prelevato alla profondità di m 7.70 è definita da una consistente presenza di Granato (66.2%) e quindi, in modo molto subordinato, di Zircone (9.8%), di Epidoto e Tormalina (3.5%) e Staurolite (3.1%), con percentuali pressoché identiche a quelle degli attuali contributi terrigeni del F. Tagliamento (GAZZI et al., 1973).

La parte sommitale (da m 4.85 al top) è caratterizzata da sabbie medie e medio-fini di color nocciola, attraversate da due livelletti di pelite sabbiosa e da due orizzonti torbosi. In generale il complesso sabbioso si presenta ben classato e privo di qualsiasi struttura interna. Nella matrice sabbiosa sono inclusi rari frustoli vegetali e frammenti di conchiglie marino-litorali.

I sedimenti sabbiosi sono unimodali con classi modali μm 300-240 e subordinatamente μm 240-150, quelli pelitici sabbiosi bimodali con classi modali μm 8-4 e μm 4-2. La mediana presenta una certa omogeneità dei valori che oscillano tra μm 190 e 220.

L'1Percentile varia con valori che segnano un progressivo aumento dal letto dell'intervallo fino a circa m 3.15 (valore μm 455), quindi un progressivo calo fino a portarsi alla sommità del sondaggio su valori di μm 290. L'andamento del parametro C, pertanto, in questa parte terminale del sondaggio non segue il trend della mediana a dimostrazione di un avvenuto trasporto per saltazione-rotolamento.

Ambiente di sedimentazione

I risultati dell'analisi sedimentologica effettuata sul sondaggio S19, abbinati ed

(1) La bimodalità dei sedimenti pelitici più che ad effetti di bioturbazione determinata da animali limivori (biomodalità secondaria, Brambati 1969) sembra esser determinata da deposizione contemporanea di materiali diversi.

integrati con le risultanze dell'indagine paleoecologica compediata in GIOVANNELLI et al., 1985, permettono di affermare che alla base del sondaggio è presente un ambiente continentale (m 29.40-16.80) contraddistinto da episodi di sedimentazione pelitico-torbosa e alluvioni sabbiose con composizione mineralogica che, se confrontata a quelle riportate da GAZZI et al., 1973, sembra molto più vicina all'attuale composizione dei depositi isontini che a quelli tilaventini. La piana alluvionale in cui doveva gravitare un fiume meandriforme, era interessata da vaste aree acquitrinose evidenziate dalla presenza di torbe associate a Gasteropodi e Ostracodi dulcicoli, correlabili alla base del sondaggio alla "fase e" della formazione steppica a Graminacee riconosciuta nella laguna veneta (BORTOLAMI et al., 1977) e collocata 23.000-18.000 anni B.P..

La presenza di scarse faune marine rinvenute alla profondità di m 24.55-23.40, abbinate a faune dulcicole, considerata l'assenza di specie marine sia negli orizzonti inferiori che superiori, può considerarsi accidentale e legata probabilmente a violente mareggiate (ZUCCHI STOLFA et al., 1984).

Va segnalato inoltre che la sedimentazione nella piana alluvionale non è continua ma interrotta da ricorrenti lacune. D'altra parte, alla base dei principali episodi di alluvionamento sabbioso si riscontrano contatti netti che presuppongono una erosione dei depositi pelitici o torbosi preesistenti. In altri termini, nella piana alluvionale si è verificata una serie di eventi erosivi o non deposizionali che rendono difficile una valutazione della serie in termini cronologici.

Dopo questo ambiente di sedimentazione succede, senza una apparente discontinuità stratigrafica⁽²⁾, una serie pelitica priva di malacofaune, ma contraddistinta da una associazione di foraminiferi planctonici e bentonici, Ostracodi e radioli di Echinidi ascrivibili più che ad una facies intertidale (GIOVANNELLI et al., 1985) ad una litorale (infralitorale?).

Segue un ambiente prettamente marino-litorale (m 15.60-14.75) evidenziato da forme che si riscontrano anche attualmente nelle biocenosi a "Fanghi Terrigeni Costieri" (PERES-PICARD, 1964), con elementi di "Detritico Costiero e Sabbie Fini Ben Calibrate". Con tutta probabilità l'ambiente di sedimentazione è assimilabile ai fondi marini prevalentemente pelitici, antistanti un delta e quindi soggetti ad una instabilità sedimentaria.

(2) Si fa presente che all'atto dell'esecuzione del sondaggio le estremità delle fustelle (circa cm 5) sono state asportate, per dar spazio alla sigillazione con paraffina. È possibile pertanto che il contatto erosivo di cui si ha evidenza stratigrafica sia stato asportato.

Tutto ciò trova motivazione in una serie di elementi sedimentologici (laminazioni piano-parallele, bioturbazioni, tessitura del sedimento e parametri granulometrici: fig. 2), ma anche nella presenza di forme malacologiche e in particolare di *Corbula gibba* e *Tellina distorta*, colonizzatrici di fondi instabili (pro delta).⁽³⁾

Segue (da m 14.75 a m 4.45) una sequenza marino-litorale che gradualmente passa ad una spiaggia sottomarina e intertidale. Così da fondali più bassi di quelli precedentemente analizzati, caratterizzati da una sedimentazione alterna sabbioso-pelitica associata e in parte determinata dalla presenza di praterie di *Cymodocea* (o altre fanerogame, su cui si insediano *Bittium reticulatum*, *Rissoa ventricosa*, *Hinia sucinata* ecc.), si passa ad una biocenosi a "Sabbie Fini di Moda Calma" (scarso idrodinamismo, materiali pelitici su cui si muovono preferenzialmente *Loripes lacteus*, *Ctena*, *Lepton nitidum*, *Lucinella* ecc.) ed infine ad una spiaggia intertidale (profondità m 7.75-4.45) con una composizione mineralogica simile a quella degli attuali depositi tilaventini.

Il sondaggio termina con sedimenti sabbiosi di spiaggia emersa (sabbie mediofini, ben classate, con biocenosi "spiaggiate") che passa gradualmente a depositi interdunali di "lama" costiera (torbe e peliti alla profondità di circa m 3) e quindi di duna, evidenziata da tutti gli elementi tessiturali e in particolar modo dalla classe modale, simile a quella degli attuali apparati dunali tilaventini (BRAMBATI, 1966; BRAMBATI, 1969).

In sintesi, nel sondaggio S19 si assiste ad un ciclo trasgressivo-regressivo determinato da una sequenza di una piana alluvionale sempre più prossima ad un ambiente deltizio-litorale, troncata dalla trasgressione marina, su cui succedono facies marine di pro-delta⁽⁴⁾, che gradualmente passano a spiaggia sottomarina-intertidale-emersa e ambiente dunale.

La sequenza regressiva, come si vedrà meglio in seguito, è determinata dalla diversione e progradazione deltizia del F. Tagliamento.

(3) Attualmente caratteri tessiturali e malacologici simili si rinvencono di fronte al delta del F. Tagliamento, alla profondità di circa m 12 (OREL et al., 1987).

(4) Situazione stratigrafica analoga a quella che si riscontra sulla piattaforma continentale dell'Alto Adriatico di fronte al delta del F. Tagliamento.

Sondaggio S 20

Anche questo sondaggio può essere suddiviso in almeno tre intervalli a loro volta suscettibili di ulteriore distinzione. Così si sono evidenziati:

- una parte basale (da m 29.70 a 11.90);
- una parte centrale (da m 11.90 a 7.50);
- una parte sommitale (da m 7.50 al top). Questo intervallo può essere suddiviso in una parte inferiore (da m 7.50 a 3.50) e una superiore (da m 3.50 alla sommità).

La parte basale del sondaggio presenta forti analogie con il tratto più profondo del sondaggio S19. Trattasi (fig. 3) di un complesso pelitico-sabbioso con inclusi livelli torbosi da centimetrici (a m 28.40 di profondità) a decimetrici (a m 15.70) e livelli sabbiosi, radi al letto dell'intervallo e più frequenti e potenti al tetto dello stesso. La sostanza organica, oltre che negli orizzonti torbosi, è presente in forma diffusa dall'inizio del carotaggio a m 26.60 e da m 16.40 a 14.30, sottoforma di frustoli vegetali e resti carboniosi; frammenti organogeni si sono rinvenuti da 19.80 a 18.70 metri di profondità. Nella parte più profonda dell'intervallo si manifestano strutture laminate che si fanno marcate da m 25.30 a 17.50 con laminazione piano-parallela. I passaggi tra i vari livelli sono in genere irregolari indistinti e lineari distinti. Segnatamente, sono irregolari indistinti da m 29.70 a 19.70, quindi più netti tra la profondità di 19.70 e 17.70 metri, per tornare poi irregolari indistinti alla sommità dell'intervallo.

La colorazione dei sedimenti dipende essenzialmente dalla loro granulometria; alle sabbie sono generalmente associate colorazioni nocciola, mentre alle peliti colorazioni grigie con tonalità sempre più scura a seconda dell'incremento della sostanza organica. La mediana presenta alla base dell'intervallo valori di μm 100, in corrispondenza a livelli sabbiosi, e valori medi di μm 15 in quelli pelitici. Seguono nella parte centrale dell'intervallo valori che oscillano in un campo ristretto (μm 12-42), quindi alla sommità si osservano notevoli variazioni del parametro determinate dall'alternanza di sabbie pelitiche ($\approx \mu\text{m}$ 150) e peliti molto sabbiose ($\approx \mu\text{m}$ 40).

Anche il parametro C segue l'andamento della mediana, salvo rare eccezioni rappresentate da notevoli incrementi, come ad esempio il valore, μm 480 alla profondità di m 21 (fig. 3).

Dal confronto dei parametri emerge che i sedimenti vengono trasportati per sospensione gradata senza rotolamento (sabbie) e per sospensione uniforme (pelite). Sempre nell'intervallo considerato, i sedimenti presentano una distribuzione di fre-

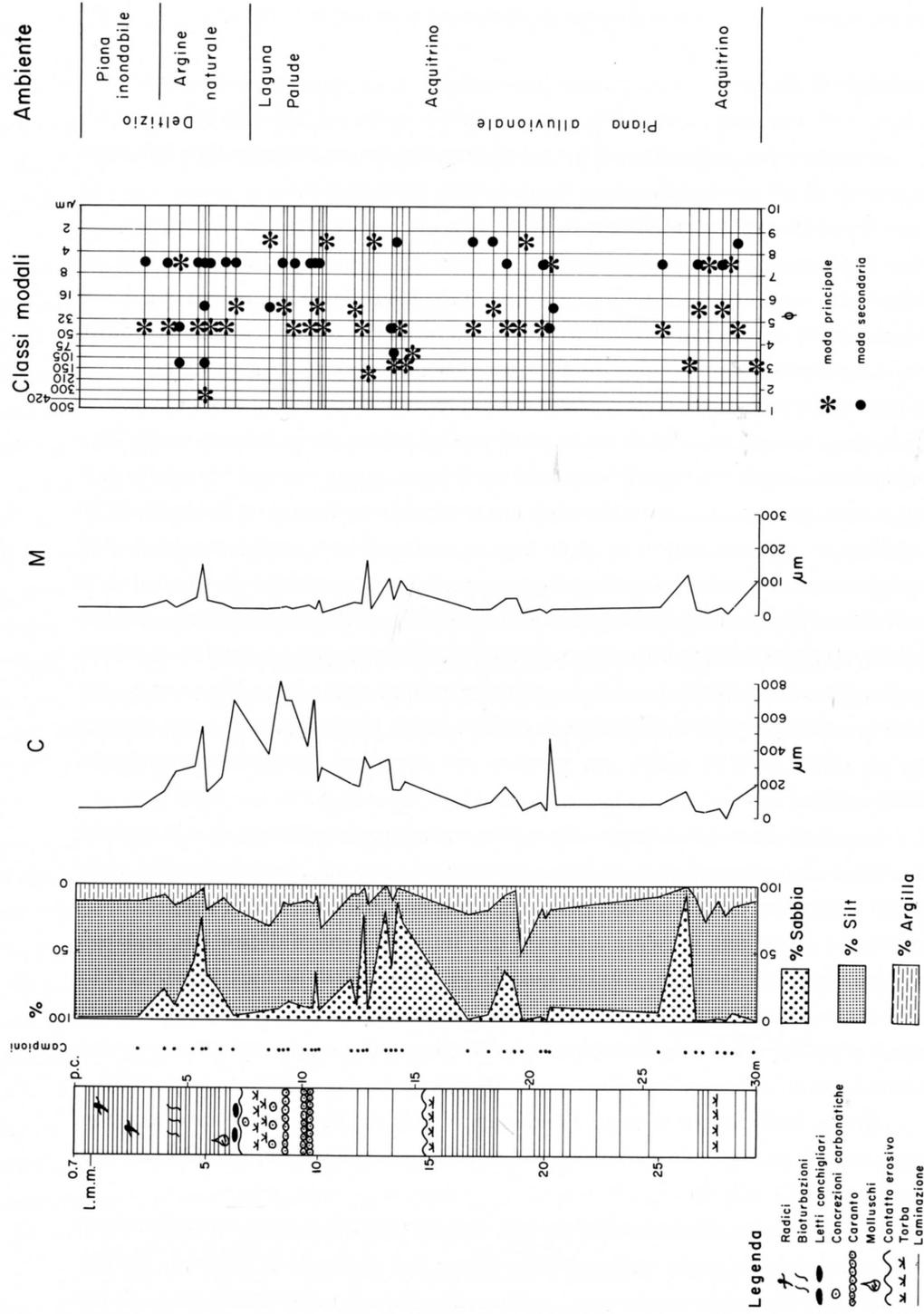


Fig. 3 - Caratteristiche tessiture del sondaggio S20. - Textural features of boring S20.

quenza per lo più bimodale con mode più frequenti nel campo delle peliti. In corrispondenza di orizzonti sabbiosi sono presenti classi modali μm 150-105 e μm 210-150. Generalmente nel campo delle peliti la classe modale μm 50-32 prevale sulle altre (μm 32-16), ed è associata alle classi modali μm 8-4 e 4-2.

L'alta bimodalità dei sedimenti riscontrata nell'intervallo è una ulteriore dimostrazione del rapido succedersi di regimi diversi di trasporto e di sedimentazione dei materiali.

La parte centrale (da m 11.90 a m 7.50) è definita da un graduale passaggio da sedimenti sabbiosi a sedimenti pelitici (sequenza positiva). Il motivo deposizionale si attua con depositi pelitico-sabbiosi a volte cementati (fig. 4) che gradualmente sfumano a peliti con notevole contenuto organico e quindi, dopo un contatto netto lineare che evidenzia un processo di decantazione degli stessi, a pelite di colorazione grigia con inclusi frustoli carboniosi. La sequenza è interrotta a m 7.50 da un contatto netto erosivo su cui poggia un letto di Bivalvi e Gasteropodi litorali-lagunari.

La parte centrale della sequenza in oggetto è analoga, per quanto attiene alla gradualità degli eventi, a quella riscontrata nel sondaggio S15 alla profondità di m 5.20-4.20 (MAROCCO et al., stesso volume). Più in particolare, gli orizzonti coesivi riscontrati alla base della sequenza sopradescritta sono peliti a cemento essenzialmente carbonatico, del tutto simili agli orizzonti di "Caranto" riscontrati nella laguna veneta (MATTEOTTI, 1962; GATTO & PREVIATELLO, 1974; BORTOLAMI et al., 1977). Nella sequenza sopra riportata gli orizzonti cementati presentano potenze decimetriche alla profondità di m 10 circa (da m 10.20 a 9.98), diventano centimetrici alla profondità di m 9.30, venendo sostituiti alle profondità minori da minute concrezioni carbonatiche, moderatamente arrotondate, incluse nella matrice pelitica torbosa. Questi clasti sembrerebbero testimoniare l'avvenuta erosione degli orizzonti cementati e la successiva rielaborazione e trasporto degli stessi. La mediana presenta limitati campi di variabilità oscillando attorno a μm 18 (max μm 40; min μm 7) con una lieve tendenza a decrescere verso l'alto. L'1Percentile risente della presenza delle concrezioni carbonatiche avendo valori compresi tra μm 210 e 700. La distribuzione modale della successione mette in luce una certa prevalenza delle classi modali μm 32-16 sulle altre e una associazione con la classe μm 8-4.

Al letto conchigliare, succede un intervallo caratterizzato da alternanze sabbioso-pelitiche bioturbate e di color nocciola che, a m 3.50 dalla sommità, diventano sottili laminazioni siltoso-argillose con resti che interrompono la stratificazione piano-parallela. La serie presenta un'abbondante frazione organogena con malacofauna

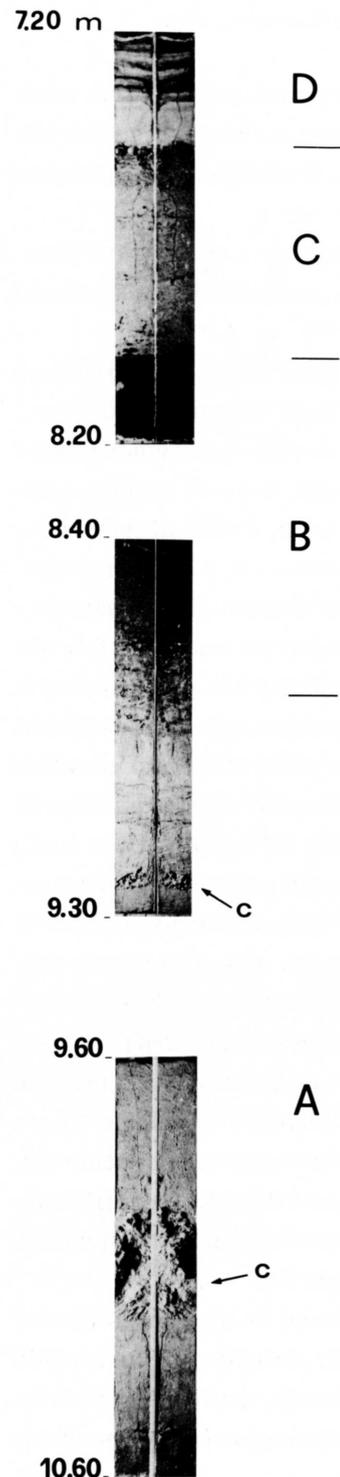


Fig. 4 - Sequenza trasgressiva del sondaggio S20.

Fase A - Emersione dell'area con la formazione di "Caranto" (c);

Fase B - Impaludamento con deposito per decantazione di materiale organico;

Fase C - Viraggio da un ambiente paludoso in lagunare.

La sequenza è interrotta a m 7.40 della erosione dell'ambiente lagunare e sostituzione con depositi di argine naturale.

- *Transgressive sequence of boring S20.*

Phase A - Emergence of the area with the "Caranto" formation (c);

Phase B - The area turns swampy with deposits formed by the decantation of organic material;

Phase C - Change from a swampy to a lagoonal environment.

The sequence is interrupted at 7.40 m by the erosion of the lagoonal environment and the substitution with deposits from natural-levee.

deltizie-lagunari, che si fanno meno frequenti alla sommità del sondaggio.

La mediana manifesta una gamma di valori compresi tra μm 12 e 44, con valori medi attorno ai μm 35. L'1Percentile evidenzia un netto calo dal letto al tetto dell'intervallo, determinato sia dalla scomparsa dei clasti carboniosi sia di quella dei granuli quarzosi che rappresentano la massima competenza fluviale. Le classi modali individuate variano a seconda della tessitura dei sedimenti da μm 420-300 e μm 150-105 (sabbie) a μm 50-32 associate a μm 32-16 e μm 8-4 (peliti).

Ambiente di sedimentazione

Nella parte inferiore del sondaggio di Bevazzana si riscontrano situazioni analoghe a quelle accertate alla base del sondaggio S19.

L'ambiente di sedimentazione risulta essere continentale, ascrivibile ad una piana alluvionale di un fiume meandriforme, caratterizzata ciclicamente da impaludamenti che determinano la formazione di torbe. L'analisi pollinica (GIOVANNELLI et al., 1985) eseguita su questi depositi ubicati a m 28.40 di profondità, evidenzia uno spettro pollinico analogo a quello riscontrato per le torbe basali del sondaggio S19, a loro volta simili alla espressione vegetazionale della "fase e" riscontrata nella laguna di Venezia e datata 23.000-18.000 anni B.P. (BORTOLAMI et al., 1977). A conferma dell'età della piana alluvionale in oggetto, datazioni con il metodo del ^{14}C eseguite su torbe, rinvenute alla profondità di circa m 30 dal p.c. a circa 4 km a monte del sondaggio S20 (quindi più profonde delle torbe sopraccitate), hanno rilevato un'età di 28.100 ± 250 B.P. (S. Stefanini, comunicazione personale). Anche in questo sondaggio sono segnalate presenze, all'interno dell'ambiente continentale, di frammenti di conchiglie marine (*Lentidium mediterraneum* alla profondità di m 26.25-26.45) che sono da ritenersi legate ad eventi eccezionali (GIOVANNELLI et al., 1985). L'alluvionamento della piana, con fasi alterne di sedimentazione sabbiosa e pelitica, prosegue fino a m 11.90 di profondità, dove si avverte una graduale trasformazione in un ambiente prossimo a un delta, con episodi di emersione e cementazione dei sedimenti essenzialmente pelitici (formazioni di Caranto), cui segue un progressivo impaludamento dell'area e un viraggio verso un ambiente lagunare. Tale motivo evolutivo, già riconosciuto in altri sondaggi analizzati sia nella laguna di Grado (MAROCCO et al., stesso volume), sia in quella di Venezia (ALBERTANZA et al., 1977), è evidenziato, oltre che dai caratteri d'insieme dei sedimenti, anche dalla associazione faunistica. Questa palesa un ambiente subacqueo a bassa profondi-

tà, caratterizzato dalla presenza di praterie di *Cymodocea* o altre fanerogame marine, su cui gradualmente si insedia una biocenosi euriterma ed eurialina di ambiente lagunare. Questa sequenza è troncata alla profondità di m 7.50 da un episodio erosivo che ha asportato parte dei depositi lagunari sovrastanti, lasciando un letto di conchiglie di grosse dimensioni (per lo più *Cerastoderma glaucum*).

Da questa profondità alla sommità del sondaggio si avvicendano fasi di sedimentazione sabbioso-pelitica, ricche di sostanza organica e di faune litorali-lagunari, con evidenti processi di bioturbazione. L'alternanza di classi modali nell'ambito delle sabbie e delle peliti, la laminazione parallela e lo spessore da centimetrico a millimetrico dei depositi fanno pensare al succedersi di fasi di "trabocco" alluvionale, con sedimentazione dei materiali sabbiosi, seguite da fasi di decantazione dei materiali più fini che sono la prerogativa di un ambiente deltizio di argine naturale.

Da m 3.50 al piano di campagna, si assiste ad una fitta sequenza di lamine pelitiche (silt e argilla), meno bioturbate degli orizzonti sottostanti, caratteri questi che, associati ed integrati dalla oligotopia della fauna e dalla presenza di pirite in sferule, coesistente con ossidi di ferro e cristalli di gesso (GIOVANNELLI et al., 1985), fanno ascrivere tale deposito ad un ambiente deltizio di piana inondabile.

Questo ambiente dovrebbe corrispondere alla situazione preattuale, prima cioè della bonifica dell'area lagunare e della arginatura dell'asta terminale del F. Tagliamento.

In sintesi, il sondaggio S20 manifesta una sequenza con sedimenti continentali che passano a sedimenti lagunari e, dopo una fase erosiva, a sedimenti deltizi di argine naturale e di piana inondabile. Quest'ultima serie è determinata dalla progradazione del delta del F. Tagliamento entro un sistema lagunare che viene parzialmente eroso e sostituito da depositi deltizi.

Discussione e conclusioni

L'analisi dei caratteri sedimentologici dei sondaggi S19 e S20 eseguiti sull'attuale apparato deltizio del F. Tagliamento, permette di integrare le considerazioni emerse dalle risultanze dello studio delle caratteristiche paleoecologiche e geochimiche riportate in GIOVANNELLI et al., 1985.

In particolare si è evidenziato che il sottosuolo del delta del F. Tagliamento si è andato via via formando, a partire dall'interstadio WII-WIII, per alluvionamen-

to sabbioso-pelitico in una piana di un fiume meandriforme, a volte interessata da episodi acquitrinosi con decantazione di materiale organico e formazione di torbe. Queste, nella parte basale della serie hanno imprigionato uno spettro pollinico analogo a quello della fase steppica a Graminacee ("fase e" BORTOLAMI et al., 1977) riscontrata nella laguna di Venezia. I depositi sabbiosi di questa fase di alluvionamento della Paleo-pianura friulana dipendono essenzialmente dai contributi terrigeni dei fiumi isontini (sistema Isonzo, Natisone e Torre). Ciò è evidenziato dalla netta prevalenza della Picotite sul Granato nei minerali pesanti. Pertanto, nella piana alluvionale gravitavano fiumi con una litologia dell'area madre abbastanza simile a quella degli attuali sedimenti isontini. Ne consegue che il Paleo-Tagliamento doveva scorrere ad occidente dell'area in esame, mettendo foce in un'area imprecisata dell'attuale Alto Adriatico.

L'alluvionamento della piana fluviale è continuata con fasi alterne di sedimentazione sabbiosa-pelitica e fasi di erosione per tutto il Tardiglaciale, in concomitanza della risalita eustatica del livello marino. A partire da m 16.80 di profondità, l'area definita dal sondaggio S19 assume caratterizzazione differente da quella del sondaggio S20. Mentre nel sondaggio più prossimo all'attuale linea di riva si assiste ad una trasgressione di un ambiente marino-litorale su sedimenti continentali (sequenza troncata), il sondaggio posto a circa km 3 a monte del S19 evidenzia una graduale trasformazione di un ambiente continentale prossimo a un delta, a volte emerso con formazione di "Caranto", in una piana paludosa e quindi in un ambiente lagunare. Si completa in tal modo un ciclo trasgressivo che ha visto l'ingredire del mare fino ad una posizione intermedia tra S19 e S20.

Da questo momento, evidenziato da fauna euriterma ed eurialina rinvenuta nel sondaggio S20 (in via di datazione con il metodo del ^{14}C), inizia una fase che si attua per progradazione deltizia all'interno di un ambiente lagunare che viene parzialmente eroso e sostituito da sedimenti di argine naturale e di piana inondabile. A valle, la fase regressiva si attua con sedimenti di spiaggia sottomarina-intertidale, emersa, di "lama" e di rilievo dunale litorale. Solo in questa fase i sedimenti sabbiosi palesano una composizione mineralogica del tutto simile alle attuali alluvioni tilaventine. Ciò sta a significare che il F. Tagliamento ha interessato solo di recente l'area in esame, su cui è gravato per diversione fluviale provenendo da una zona più occidentale; si è costruito il nuovo delta per progradazione all'interno della Paleo-laguna di Marano. Va da sé che la progradazione deltizia tilaventina doveva aver separato la Paleo-laguna di Caorle da quella di Marano e favorito l'interramento della prima, come già ipotizzato da BRAMBATI (1970 e nei lavori successivi).

Per quanto attiene alla data di inizio della progradazione tilaventina e all'età di formazione dell'attuale apparato deltizio, premesso che le principali fasi marcate da organismi bentonici o da torba di "lama" interdunale sono in corso di datazione, allo stato della ricerca si ritiene probabile l'ipotesi di MARINELLI (1924) che colloca la progressione della gittata deltizia in epoca romana. L'attuale configurazione del delta del F. Tagliamento e delle attigue lagune di Marano e in parte di Caorle dovrebbe pertanto essere recente e realizzata in epoca storica, come d'altra parte dovrebbe risultare recente la laguna di Grado che si è andata formando per ingressione del mare in un'area deltizia abbandonata dalla diversione verso Est del F. Isonzo (MAROCCO et al., 1984; MAROCCO et al., in questo volume).

Viene pertanto confermata sotto diversi punti di vista la migrazione verso Est dei principali fiumi friulano-isonzini come già evidenziato da DESIO (1922), CECCHINI (1938) e da BRAMBATI (1970 e nei lavori successivi). Rimane ancora da indagare sui meccanismi di attuazione ed in particolare sulle cause che determinano tali diversioni fluviali, ma soprattutto sul periodo in cui sono avvenute per verificare la sincronicità o non degli eventi. E tutto ciò perché la spiegazione della migrazione verso Est dei fiumi legata all'accumulo dei sedimenti alla foce, favorito dalla corrente litoranea da Est ad Ovest, non sembra dar ragione al fenomeno. Senza voler entrare in merito alle considerazioni soprariportate in relazione alle attuali conoscenze sul sistema dispersivo dei sedimenti sabbiosi e pelitici alle foci dei F. Tagliamento e Isonzo (BRAMBATI, CATANI & MAROCCO, 1981), si vuol qui evidenziare che con tutta probabilità la causa principale delle diversioni fluviali accertate non va ricercata nella dispersione dei sedimenti alla foce, bensì nel cambiamento di gradiente nella bassa pianura e nella piattaforma continentale, legato a subsidenza o a neotettonica. Indagini in tal senso costituiranno l'obiettivo principale di ricerca nei prossimi anni.

Manoscritto pervenuto il 10.XI.1988.

Ringraziamenti

Ringrazio sentitamente il prof. A. Brambati per avermi dato la possibilità di condurre questo studio e per la lettura critica del manoscritto.

Un ringraziamento ai dott. Paviz e Fedele per la raccolta dei dati e l'esecuzione delle analisi granulometriche, e ai proff. S. Stefanini e G. Lenardon che mi hanno fornito rispettivamente l'età delle torbe basali del delta del F. Tagliamento e i dati mineralogici riportati nella presente nota. Infine, un ringraziamento particolare va ad Ennio Vio del Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste per i suggerimenti e consigli nell'interpretazione delle faune individuate nei sondaggi.

ZUSAMMENFASSUNG — Die Analyse der sedimentologischen Merkmale der Sondierungen S19 und S20, die im heutigen Delta des Flusses Tagliamento bis zu einer Tiefe von 30 m von der Landebene durchgeführt wurden, erlaubt eine Vervollständigung der aus einer von GIOVANNELLI et al., 1985, veröffentlichten paläoökologischen und geochemischen Untersuchung hervorgegangenen Ergebnisse.

Von dem Zeitraum zwischen den Eiszeiten Würm II und Würm III (28.000 ± 250 Jahre B.P., Stefanini S. persönliche Mitteilung) an bildete sich eine Sequenz von kontinentalen Fazies, die der Anschwemmungsebene eines mäandrischen Flusses mit Sumpf- und Moorkomplexen zugeschrieben werden kann. Diese Fazies können mit der in der venezianischen Lagune vorgefundenen "Fazies e" der Steppenformation mit Gräsern (BORTOLAMI et al., 1977) in Zusammenhang gebracht werden. Die Sandablagerungen dieser Alluvionsphase der friaulischen Paläoebene sind im wesentlichen von der Sedimentzufuhr des isontischen Flußsystems (Isonzo - Natisone - Torre) bestimmt.

In der darauffolgenden Epoche trifft man auf eine transgressive Phase, während der in der Sondierung S19 eine Erosion der vermutlich kontinental-lagunären Ablagerungen und an deren Stelle die Bildung einer für die Seeküste bezeichnende pelitischen Sedimentschicht stattgefunden haben. In der von der Sondierung S19 3 km weiter landeinwärts gelegenen Sondierung S20 beobachtet man dagegen die stufenweise Verwandlung der für eine Anschwemmungsebene in Deltanähe typischen Landschaft, die auch von Überschwemmungen und demzufolge Caranto-Formation betroffen war, in ein Sumpfgebiet, das sich bereits zur Lagune hin entwickelt. Dem folgt eine regressive Phase, die durch die Progradation des Tagliamentodeltas gekennzeichnet ist. Dieser Fluß floß infolge einer Abweichung von seinem ursprünglichen Lauf durch das untersuchte Gebiet. Diese Entwicklungsphase des Deltas ist in der Sondierung S19 an einer stufenweisen Veränderung der Fazies abzulesen, welche der Reihe nach einem Prodelta, einem Vorstrand, einem nassen und einem trockenen Strand, einer Sandbarre und Dünen zuzuschreiben sind. In der Sondierung S20 kommt diese regressive Phase erst durch die Erosion der Lagune zum Ausdruck, an den betroffenen Landstrichen bauen sich daraufhin natürliche Dammsedimente als Ersatz für die abgetragenen Ablagerungen auch auf und schließlich bildet sich eine überschwemmbar Ebene.

Dies bestätigt die Annahme von BRAMBATI (1970), daß sich das heutige Tagliamentodelta durch die Progradation landeinwärts einer vorher bestehenden Lagune gebildet hat.

Bibliografia

- ALBEROTANZA L., SERANDREI BARBERO R. & FAVERO V., 1977 - I sedimenti 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., 1966 - Caratteristiche granulometriche di depositi eolici del delta del fiume Tagliamento. *Atti Acc. Rov. Agiati*, 6: 189-200.
- BRAMBATI A., 1969 - Sedimentazione recente nella laguna di Marano e di Grado (Adriatico Settentrionale). *St. Trent. Sc. Nat.*, 46: 142-239.
- BRAMBATI A., 1970 - Provenienza, trasporto e accumulo dei sedimenti recenti nella laguna di Marano e 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. Alto Adriatiche*, 27, Studi Jesolani: 13-47.

- BRAMBATI A., 1985 - Morfologia ed evoluzione del delta del fiume Tagliamento e delle sue spiagge. In: "Raccontare Lignano", *G. Angelico Benvenuto*: 30-51.
- 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. Adr. Sc.*, 65: 1-32.
- BRAMBATI A., FANZUTTI G.P., MAROCCO R., PANELLA S. & MAGAZZÙ G., 1979 - Caratteristiche sedimentologiche ed idrologiche della laguna di Orbetello (Toscana). *Arch. Oceanogr. Limnol.*, 19: 179-222.
- CECCHINI R., 1938 - Genesi delle spiagge venete e origine dei boschi litoranei. *Atti Congr. Geogr. It.*, Udine, 2: 229-241.
- DESIO A., 1922 - Le variazioni della foce del fiume Isonzo. *Riv. Geol. It.*, 29: 249-268.
- GATTO P. & PREVIADELLO P., 1974 - Significato stratigrafico, comportamento meccanico e distribuzione nella Laguna di Venezia di una argilla sovraconsolidata nota come "Caranto". *CNR - Lab. Stud. Din. Gran. Mas.*, T.R. 70, pp. 45.
- GAZZI P., ZUFFA G.G., GANDOLFI G. & PAGANELLI L., 1973 - Provenienza e dispersione litoranea della sabbia delle spiagge 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.
- 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.*, 1: 11-17.
- MAROCCO R., STOLFA D., ZUCCHI STOLFA M.L. & LENARDON G., 1988 - Considerazioni sedimentologiche, paleoecologiche e geochimiche sul sondaggio S15 (Canale di Morgo - Laguna di Grado). *Gortania - Atti Mus. Friul. St. Nat.*, 10: 81-100.
- MATTEOTTI G., 1962 - Sulle caratteristiche dell'argilla precompressa esistente nel sottosuolo di Venezia-Marghera. *Not. Ord. Ing. Prov. Padova*, 6, pp. 12.
- NOTA D.J.G., 1958 - Sediments of the Western Guiana shelf. Thesis, Medadel. Landbouwhogeschool, Wageningen, 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.
- OREL G., MAROCCO R., VIO E., DEL PIERO D. & DELLA SETA G., 1987 - Sedimenti e bioce-nosi bentoniche tra la foce del Po ed il Golfo di Trieste (Alto Adriatico). *Bull. Ecol.*, 2: 229-241.
- PASSEGA R., 1957 - Texture as characteristic of clastic deposits. *Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 41: 1952-1964.
- PASSEGA R., 1964 - Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *Jour. Sed. Petr.*, 34: 830-847.
- PERES J.M. & PICARD J., 1964 - Nouveau manuel de bionomie bentique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. Sta. Mar.*, Endoume, 31 (47), pp. 137.
- ZUCCHI STOLFA M.L., BREGANT D. & GIOVANNELLI M.M., 1984 - Stagni costieri del Mediterraneo: area di delta del F. Tagliamento (Adriatico Settentrionale). 1^a parte: caratteristiche generali e malacofauna. *Gortania - Atti Mus. Friul. St. Nat.*, 6: 83-104.

Indirizzo dell' Autore - Author's address:

— Prof. Ruggero MAROCCO
 Istituto di Geologia e Paleontologia
 dell'Università degli Studi
 P.le Europa 1, I-34127 TRIESTE