

Il vecchio e il nuovo delta del Tevere (Fiumicino e Ostia, la spiaggia e il porto di Roma)

The old and the recent Tiber Delta

(Fiumicino and Ostia, the beach and harbour of Rome)

A. PRATURLON*

RIASSUNTO - Dopo un breve *excursus* sulle vicende di Ostia, Portus e dei porti romani ad esse collegati, viene presentata una sintesi delle informazioni disponibili sulla stratigrafia, la sedimentologia, la struttura, l'evoluzione morfologica, l'analisi sequenziale del delta del Tevere. Si tratta di un delta oggi a prevalente dominio ondoso, della cui storia vengono descritte le tappe fondamentali. In sintesi il Tevere, nel corso della risalita eustatica dell'ultimo postglaciale, sbocca inizialmente in una laguna di ampiezza variabile più o meno isolata dal mare da una barra sabbiosa. Qui man mano costruisce un delta che avanza all'interno della laguna. Infine la supera, dividendola in due e sboccando direttamente in mare, lasciando ai lati due stagni residui destinati a venire colmati da sedimenti o a venire nel tempo prosciugati dall'uomo. Tale storia ha avuto momenti singolari in età storica, dapprima con il taglio artificiale del canale di Fiumicino e la formazione di una seconda foce, in seguito con un veloce avanzamento della cuspidi deltizia, perdurato quattro secoli, con molta probabilità a seguito del taglio di meandro presso Ostia nel 1557.

La successione sedimentaria del delta, sepolta sotto l'attuale piana deltizia emersa (150 km²) e sommersa (500 km²), ha uno spessore massimo di 80 m, e giace in discordanza sulla piattaforma continentale laziale. Tenendo presente che tettonica e subsidenza sono stati insignificanti nell'area nel corso della sedimentazione, essa rappresenta l'ultimo ciclo glacio-eustatico sul tratto di margine continentale tirrenico che comprende le foci del Tevere. Il corpo deltaico rappresenta una sequenza ad alta frequenza sviluppata nel corso degli ultimi ventimila anni a partire dall'ultima fase di low-stand. Tale sequenza deposizionale di quinto ordine giace su un limite di sequenza di Tipo 1 ed è ancora incompleta, in quanto tuttora in evoluzione. Essa rappresenta la porzione superiore della più recente di otto sequenze deposizionali di quarto ordine, ciascuna della durata di 100.000 anni, appartenenti a loro volta alle due sequenze di terzo ordine di Monte Mario e di Ponte Galeria.

Un cenno è riservato all'evoluzione recente della spiaggia e ai tentativi di porre rimedio ai processi erosivi in atto.

PAROLE CHIAVE: Fiume Tevere, delta, paleogeografia, stratigrafia sequenziale, Olocene.

ABSTRACT - *A brief history of Ostia, Portus and the related Roman harbours introduces a review of the available information on the stratigraphy, sedimentology, structure, morphological evolution, sequence analysis of the Tiber delta. The main steps of the evolution of this nowadays wave dominated deltaic system are outlined. During the last post-glacial sea-level rise, Tiber River had at first its mouth into a lagoon of variable extent, more or less isolated from the sea by a sandy bar. Then gradually built a prograding delta into the lagoon and finally crossed it, reaching directly the open sea. The lagoon remained cut in two parts, forming small marshes destined to be filled by sediments or to be reclaimed lately by man. This history had peculiar moments in historical time, when the excavation of a canal connecting Tiber with the harbours gave rise to a second mouth (Fiumicino) and when, probably as a consequence of the meander cut near Ostia in 1557, began a fast progradation of the deltaic cusp, lasted four centuries.*

The sedimentary succession buried under the delta plain (150 km²) and the submarine delta (500 km²) has a maximum thickness of 80 m and is unconformably lying on the Latium continental shelf. Taking into account that tectonics and subsidence were negligible in the area during sedimentation, it represents the most recent glacio-eustatic cycle recognized on the Tyrrhenian continental margin including the Tiber mouths. The deltaic body represents a high-frequency sequence deposited approximately over the past 20.000 yr, beginning from the last low-stand phase. This depositional sequence of fifth order lies on a Type 1 sequence boundary and is incomplete, as still in evolution. It represents the upper portion of the most recent of eight fourth-order sequences lasted about 100.000 yr each, grouped into the two third-order sequences of Monte Mario and Ponte Galeria.

Brief mention is made of the recent evolution of the beach and of the attempts to face the present day erosional processes.

KEY WORDS: Tiber River, delta, palaeogeography, sequence stratigraphy, Holocene.

* Dipartimento di Scienze Geologiche - Università degli Studi "Roma Tre", Largo San Leonardo Murialdo, 1 - 00146 Roma

Gli archeologi della Sovrintendenza di Ostia Antica e della British School at Rome hanno di recente portato a termine la ricognizione, effettuata soprattutto attraverso indagini non distruttive (studi topografici, geofisici, di geomorfologia costiera, analisi di foto aeree) della grande città commerciale di Portus (KEAY, MILLETT, PAROLI & STRUTT, 2005; KEAY, MILLETT, 2006; ANONIMO, 2006). Magazzini, uffici, strade, canali navigabili, moli, darsene, acquedotto proveniente da ponte Galeria, si estendono per 140 ettari e giacciono attualmente sepolti sotto un sottile spessore di sedimenti, in un'area che si colloca tra la Portuense ed il Tevere, attorno al bacino esagonale del porto marittimo di Claudio e Traiano, che si presenta all'indagine ancora ben collegato al Tevere non solo attraverso quello che è oggi il canale di Fiumicino ma probabilmente anche con altri canali. Dopo l'abbandono del porto fluviale di Ostia e del relativo *castrum*, causa della decadenza e del parziale abbandono di Ostia Antica, rimase come unico porto di Roma solo Portus, che ebbe infatti modo di svilupparsi ulteriormente per qualche altro secolo, fino alla fine dell'Impero. Futuri scavi avranno quindi molto da dirci.

Con queste indagini si completa la traccia della storia portuale di Roma. Tale lunga storia ha inizio con un probabile primo approdo fluviale-lagunare (?) di epoca pre-romana o regia, forse da collegare in qualche modo alla storia della distrutta cittadella di Ficana, nei pressi di Acilia (CALAMANI, 2006), che secondo Festo possedeva uno scalo fluviale sul Tevere. Prosegue con la fondazione di Ostia e del suo porto fluviale in età repubblicana, tra la riva sinistra del fiume ed una laguna utilizzata come salina già da Anco Marzio (nonostante la tradizione, finora non è stata rinvenuta traccia di insediamenti di età regia ad Ostia Antica, mentre è recentissima e neppure ancora pubblicata la scoperta di imponenti strutture murarie portuali di età repubblicana nei pressi dell'attuale Idrovora del Consorzio di Bonifica). Prosegue infine con la creazione del più grande bacino marittimo del Mediterraneo di allora (secondo forse solo ad Alessandria d'Egitto), il Porto di Claudio e Traiano (per una dettagliata informazione su quest'opera si veda TESTAGUZZA, 1970 e soprattutto: SILENZI, 1998-a; KEAY, MILLETT, PAROLI & STRUTT, 2005; KEAY & MILLETT, 2006).

Roma aveva assoluta necessità di un porto adeguato alle dimensioni dei suoi traffici, e Claudio, come è noto, diede inizio alla realizzazione dell'opera nel 42 d.C. Il progetto iniziale fu infine comple-

tato da Nerone nel 66 d.C. L'ubicazione presso la foce del Tevere era condizionata dalla vicinanza alla città e dalle dimensioni richieste dal bacino. La posizione intermedia tra mare e fiume offriva a Roma la possibilità di trasferire il carico delle navi onerarie provenienti dalle più lontane regioni dell'Impero alle chiatte fluviali che potevano penetrare nel Tevere fino a raggiungere la capitale.

Come zona più adatta fu scelta la laguna che si apriva alla destra della foce del Tevere, protetta ad Ovest da un lungo cordone litorale. Per proteggere dall'insabbiamento il nuovo impianto, Claudio progettò la creazione di almeno una apposita fossa di collegamento col Tevere, che fu in seguito ampliata e modificata da Traiano (da cui il nome di Fossa Traiana). Secondo la tradizione storica, insabbiatosi in breve tempo il nuovo bacino, all'inizio del II Secolo Traiano tentò di recuperare l'imponente opera facendo scavare alle spalle di essa una darsena gigantesca, di forma esagonale, con i lati di 350 m e profondità di 5 m, per una estensione complessiva di 33 ettari. Il canale d'ingresso e di passaggio alla Fossa Traiana fu protetto da un molo trasversale. L'intera struttura portuale poteva consentire l'ormeggio di 350-400 navigli romani.

Recenti vedute (e i dati inaspettati provenienti dall'affresco del I Secolo d.C. rinvenuto nel 1998 al Colle Oppio) indurrebbero in realtà a ritenere che l'intera opera portuale fu progettata e realizzata da Claudio. Traiano ne avrebbe solo migliorato la funzionalità (SILENZI, 1998-a,b).

Comunque stiano le cose, è un fatto che neanche il nuovo complesso risistemato da Traiano ebbe grande fortuna. Inaugurato attorno al 110 d.C. e ribattezzato Portus Augusti, dovette subire continui interventi e ristrutturazioni. L'ultima informazione di una sua utilizzazione risale a Procopio, che ricorda come nel 553 Capo Due Rami distava dal mare 15 stadi (2675 m), mentre il porto di Traiano era ancora agibile. Sicuramente nel 922 i porti erano ormai divenuti laghi privi di comunicazione col mare. In una bolla papale del 1000 si legge che il porto di Claudio era già in parte insabbiato, che quello di Traiano era un lago e che il Tevere aveva una seconda foce ben delineata. Un affresco del 1582 (Musei vaticani) mostra quella che pare una veduta "a volo d'uccello" in cui si nota il bacino di Claudio ormai interamente prosciugato, mentre nell'esagono di Traiano, nella darsena e nei canali di accesso è ancora riconoscibile uno specchio d'acqua. Nel 1636 un canale univa il Porto di





Traiano direttamente al mare, con sbocco poco a Nord del canale di Fiumicino, mentre nel 1678 la riva aveva ormai raggiunto il molo più avanzato del porto di Claudio (FRUTAZ, 1972).

Bisognerà comunque attendere il secolo XX per veder nascere nell'Ostia attuale nuovi piccoli porti di tipo turistico, dapprima fluviali ed infine nuovamente lungo la costa, ormai spostati verso il mare di qualche km rispetto agli antichi insediamenti.

Questa lunga storia portuale (si veda una breve sintesi in HEIKEN, FUNICIELLO, DE RITA, 2005) segue fedelmente l'evoluzione più recente del Delta del Tevere.

1 - IL DELTA TIBERINO

Questo delta, oggi a prevalente dominio ondoso (fig. 1), costituisce un elemento morfologico minore nell'ambito mediterraneo. La superficie dell'area emersa, divisa dal canale fluviale in due "ali" di estensione diseguale (ha maggiore sviluppo quella settentrionale), supera infatti di poco i 150 kmq, quella sommersa si aggira sui 500 kmq. Lo stesso spessore del corpo deltizio non supera gli 80 metri. Poca cosa rispetto ai delta del Nilo, del Rodano, dello stesso Po. Questa situazione di fatto ha però consentito di concentrare per qualche decennio gli studi di diversi studiosi su un'area tutto sommato limitata, a forte sviluppo urbanistico e quindi bisognosa di indagini geologiche approfondite. Si sono così venuti accumulando i risultati di ricerche di ogni genere, da quelle archeologiche a quelle sedimentologiche, dalla sismica ad alta risoluzione alle centinaia di sondaggi, allo studio di foto aeree, alle analisi isotopiche. Non mancano ormai interessanti e pregevoli lavori di sintesi, ai quali si farà diretto e ampio riferimento in questo testo (vedi più avanti).

La piana deltizia emersa si estende lungo il fiume da Ponte Galeria alla foce, e lungo la costa da Palo fino a Tor Paterno. E' possibile e significativa una suddivisione di tale piana in due parti a diversa morfologia e natura sedimentologica (fig. 2).

L'area più interna (delimitata verso mare dall'allineamento Palo - Ponte Galeria - Capo Due Rami - Ostia Antica - Tor Paterno), monotona, praticamente pianeggiante, corrisponde all'area di sviluppo di ampie lagune costiere, e da ultimo di stagni. I depositi corrispondenti sono in prevalenza argillosi, talora con livelli di torba. Oggi li vediamo

interessati dalla fitta rete di canali delle bonifiche di Ostia e Maccarese.

L'area più esterna corrisponde alle fasi di progradazione generalizzata della spiaggia, ottenuta soprattutto attraverso la giustapposizione ripetuta di cordoni litorali nel corso degli ultimi 2.500 anni. Spiccano in particolare le ultime fasi di veloce progradazione, riconoscibili nella cuspide più avanzata del delta, formatasi negli ultimi 5 secoli, e quella stessa presente allo sbocco del Canale di Fiumicino, ovviamente di età post-traiana. I sedimenti in quest'area più litoranea sono in prevalenza sabbiosi, e la morfologia è caratterizzata da allineamenti di modesti rilievi (non superano i 10 m) corrispondenti ad antichi sistemi litorali/dunari, modellati via via dall'intenso lavoro esercitato dal moto ondoso e dall'azione eolica sui sedimenti trasportati al delta dal fiume e da qui velocemente ridistribuiti lungo la costa ad alta energia di questo settore del Tirreno.

Nel delta sottomarino i sedimenti superficiali si

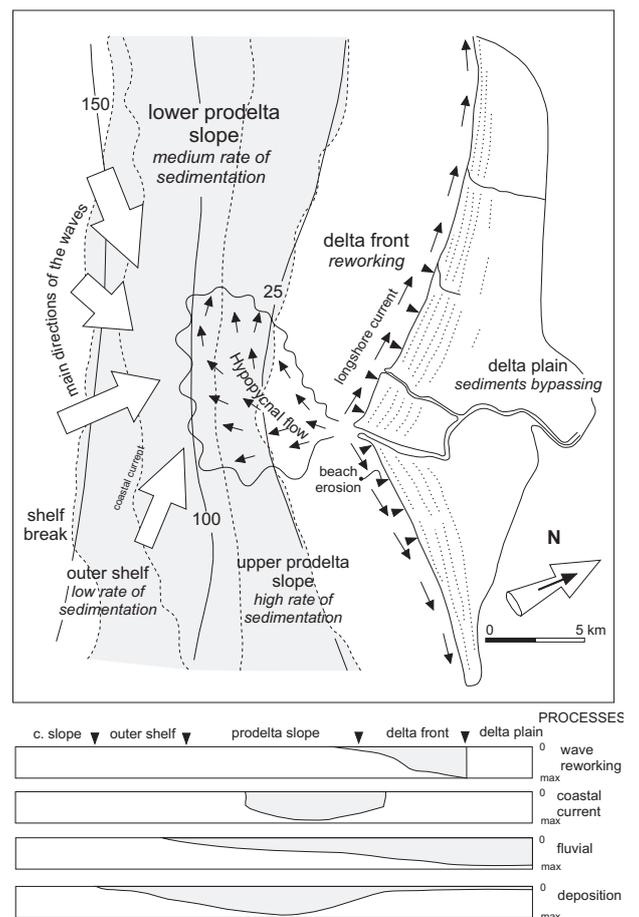


Fig. 1 – Principali processi deposizionali oggi attivi nel delta del Tevere. (Da BELLOTTI et alii, 1994).
 – Main depositional processes in the present-day Tiber delta area. (After BELLOTTI et alii, 1994).

distribuiscono secondo lo schema deltizio classico: il prodelta, profondo e tranquillo, mostra depositi pelitici abbastanza uniformi, in prevalenza argille più o meno marnose; la fronte deltizia risente invece di tutti i processi idrodinamici legati al moto ondoso, che smuove e ridistribuisce i sedimenti sabbiosi trasportati dal fiume. In prossimità delle bocche fluviali si sviluppano inoltre gli accumuli sabbiosi (barre di foce) che rendono così rischioso il transito delle imbarcazioni in entrata e in uscita da Fiumara Grande e dal Canale di Fiumicino.

Una sezione schematica da SW a NE attraverso l'intero corpo deltizio (fig. 3) permette di mettere in evidenza gli elementi costitutivi fondamentali della struttura. Si osserva alla base la superficie ero-

siva su cui si sviluppa il delta, con i primi sedimenti posti a circa -150 m, depositati durante il low-stand dell'ultimo massimo glaciale, seguiti dai sedimenti trasgressivi depositi durante la risalita del livello marino da circa 17.000 fino a circa 5.000 anni fa, ricoperti dai depositi degli ultimi 5.000 anni, caratterizzati da una sostanziale stabilità del livello marino. Si osserva la morfologia attuale del delta, dalla piana deltizia pianeggiante alla fronte deltizia, che scende con debole inclinazione fino a quota -25 m, ove passa al prodelta, più acclive, che scende fino a circa -100 m giungendo a saldarsi con la piattaforma continentale.

In fig. 4 sono riportati gli elementi essenziali della stratigrafia del delta tiberino.

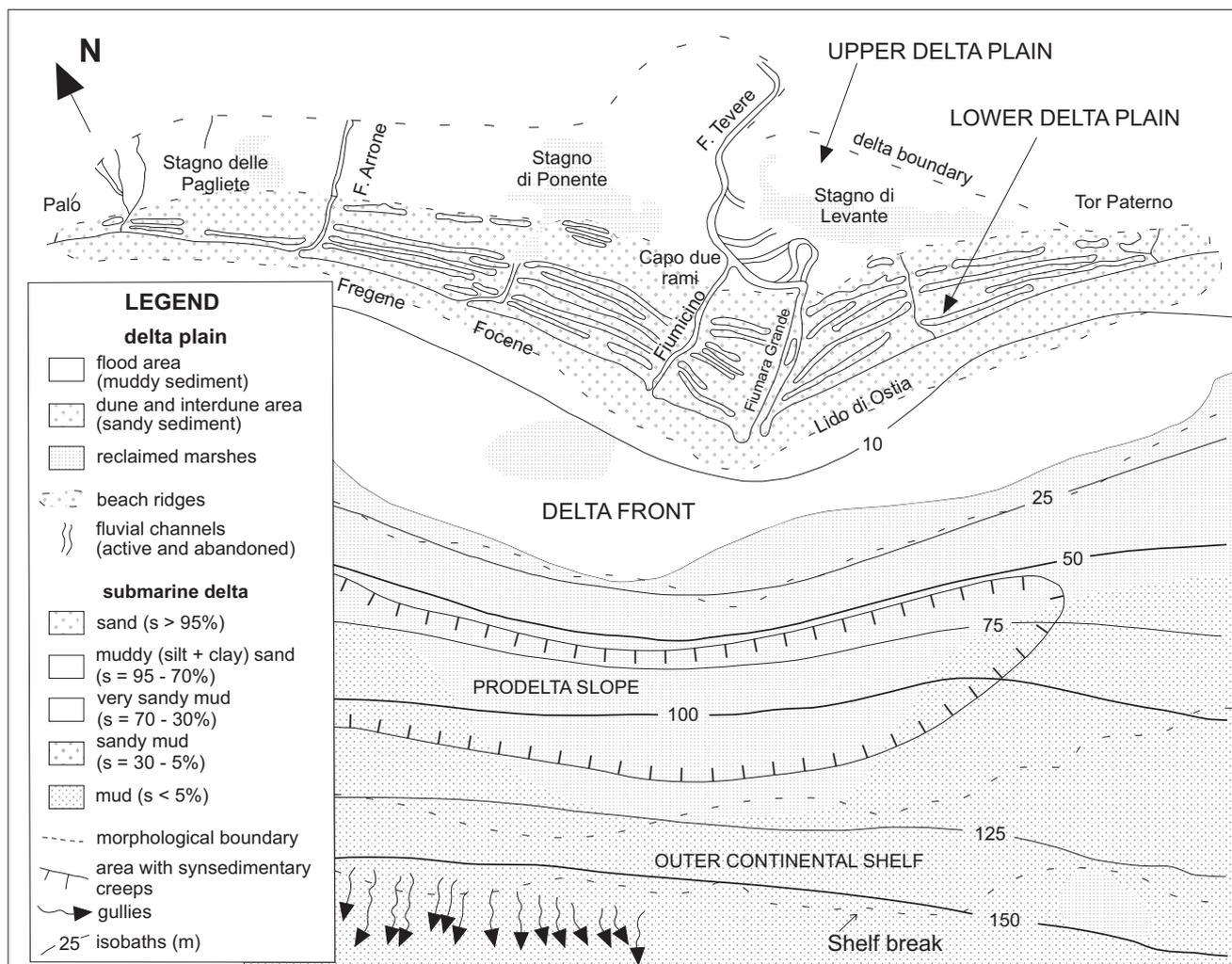


Fig. 2 - Lineamenti morfologici e sedimentologici del delta tiberino. L'area nordorientale, non punteggiata, corrisponde a quella occupata un tempo dalle facies lagunari. Quella puntinata evidenzia le fasi di progradazione in mare della spiaggia attraverso la giustapposizione ripetuta di cordoni litorali nel corso degli ultimi 2.500 anni. (Da BELLOTTI et alii, 1994, ridisegnato).

- Morphological and sedimentological features of the Tiber delta. The north-eastern, undotted area corresponds to the one once occupied by the lagoonal facies. In the dotted area are visible the progradation phases of the coastline, evidenced by the repeated juxtaposition of beach ridges during the last 2.500 years. (After BELLOTTI et alii, 1994, redrawn).



La storia evolutiva del delta, interamente sviluppata negli ultimi 17.000 anni, è stata ricostruita in grande dettaglio nello scorso ventennio in una serie di pregevoli lavori, tra cui vanno almeno citati: BELLUOMINI, IUZZOLINI, MANFRA, MORTARI & ZALAFFI 1986; BELLOTTI, BIAGI, TORTORA & VALERI, 1987; BELLOTTI, TORTORA & VALERI, 1989; BELLOTTI, CARBONI, MILLI, TORTORA & VALERI, 1989; MILLI, 1992; BELLOTTI, CHIOCCI, MILLI, TORTORA & VALERI 1994; BELLOTTI, MILLI, TORTORA & VALERI, 1995; BELLOTTI, 1998; GIRAUDI, 2004; TRINCARDI, CATTANEO & CORREGGIARI, 2004; tutti accompagnati da ampie bibliografie, alle quali si rimanda. Negli stessi lavori è possibile rintracciare informazioni sul substrato profondo su cui poggia, tramite una superficie erosiva, l'intero complesso deltizio.

In particolare, in BELLOTTI, TORTORA & VALERI 1989 viene presentata una accurata analisi di facies del corpo deltizio presentata in un diagramma a recinto (Fence Diagram) tridimensionale che mostra la distribuzione delle diverse facies nel sottosuolo (fig. 5), ed è accompagnato da una ipotesi evolutiva a partire dal lowstand dell'ultimo massimo glaciale. Questo lavoro sarà seguito (BELLOTTI, CHIOCCI, MILLI, TORTORA & VALERI, 1994) da una interpretazione complessiva dei dati disponibili in chiave di stratigrafia sequenziale (fig. 14).

BELLOTTI, CARBONI, MILLI, TORTORA & VALERI, 1989, sulla base dei dati di superficie e di sottosuolo, riconoscono una serie di litologie raggruppabili in sei litofacies, che rappresentano depo-

siti fluviali, di laguna costiera e marini. L'analisi della loro evoluzione, accompagnata da datazioni isotopiche (radiocarbonio), ha permesso di trarre una serie di considerazioni e di ipotesi. Si è ad esempio riscontrato che il sollevamento del livello marino non è avvenuto nell'area con velocità costante: fra 17.000 e 10.000 anni fa il tasso medio di risalita risulta di 1,3 m/secolo, mentre è di 0,5 m/secolo fra 10.000 e 5.000 anni fa, per poi stabilizzarsi. Di conseguenza, la trasgressione postglaciale fu probabilmente di tipo "deposizionale discontinuo" nella fase più antica, e "deposizionale" in quella più recente. Secondo gli Autori, la barriera costiera che si andava individuando nella fase trasgressiva ebbe tassi di migrazione verso terra differenti nei due intervalli di tempo, rispettivamente 240 m/secolo e 45 m/secolo, lasciando quindi spazio all'ipotesi di due meccanismi diversi di avanzata del mare, l'annegamento in posto (in-place drowning) nel corso della fase più antica, e l'arretramento e rielaborazione della spiaggia (shoreface retreat) durante la seconda.

Evidenze stratigrafiche (livelli torbosi, dati microfaunistici) hanno consentito agli Autori di individuare nel complesso deltizio tiberino nove stazionamenti del livello marino, a -125, -66, -59, -40, -30, -25, -17, -10 metri rispetto al livello attuale, i primi quattro avvenuti tra 17.000 e 10.000 anni fa e gli altri nei successivi 5.000 anni, confermando che la risalita del livello del mare e la conseguente trasgressione postglaciale furono di natura episodica, comprendendo fasi di stabilità separate da rapi-

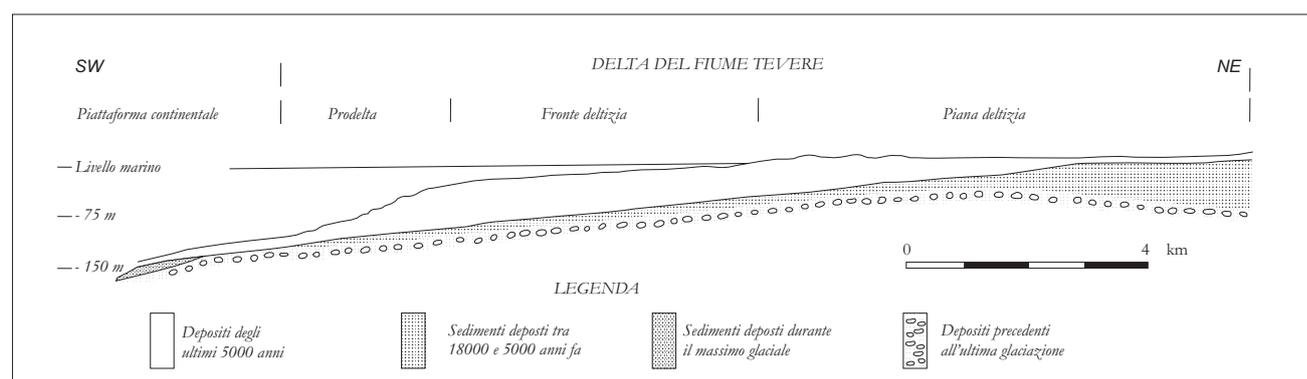


Fig. 3 - Sezione schematica SW-NE dell'intero delta tiberino, prevalentemente costruita utilizzando i dati di sondaggi eseguiti nell'attuale piana delizia e quelli della sismica ad alta risoluzione realizzata nell'area di prodelta. Sono indicati i diversi corpi sedimentari depositi in corrispondenza delle fasi di stazionamento basso del livello marino (depositi più antichi di 18.000 anni), del periodo di risalita del livello marino (fra -18.000 e -5.000 anni) e infine dell'intervallo compreso tra il momento della quasi raggiunta stabilità (-5.000 anni) fino al raggiungimento della quota attuale. (Da BELLOTTI, 1998).

- Cross section SW-NE of the whole Tiber delta, mainly constructed by using well data on the present delta plain and high-resolution seismics on the prodelta slope. The sedimentary bodies deposited during the sea-level lowstand (sediments older than 18.000 years B.P.), during the sea-level rise (sediments between -18.000 and -5.000) and between the almost reached sea-level stabilization (-5.000) and nowadays, are evidenced. (After BELLOTTI, 1998).

de risalite. Questi dati hanno consentito l'individuazione di una serie di cicli sedimentari minori, cui si accennerà più avanti discutendo l'interpretazione dell'evoluzione del delta in chiave di stratigrafia sequenziale. (Per le variazioni del livello marino negli ultimi 2500 anni si veda in particolare LEONI & DAI PRA, 1997).

Per informazioni sul substrato sottostante il complesso deltizio, che vi si appoggia in trasgressione con netta discordanza angolare (BELLOTTI, CHIOCCI, EVANGELISTA, TORTORA & VALERI, 1987) tramite una superficie erosiva ben riconoscibile dall'analisi sismica, dove questa è in grado di dare risposta, si vedano in particolare BELLUOMINI, IUZZOLINI, MANFRA, MORTARI & ZALAFFI, 1986; BELLOTTI, CARBONI, MILLI, TORTORA & VALERI,

1989; BELLOTTI, CHIOCCI, MILLI, TORTORA & VALERI, 1994. Sul margine più esterno si tratta di strutture clinoformi pleistoceniche (si veda CATTANEO, TRINCARDI, LANGONE, ASIOLI & PUIG, 2004 per una impostazione generale del problema) legate alla storia evolutiva del margine continentale, che mostrano evidenze di esposizione subaerea ed erosione, legate alla fase di low-stand con la quale inizia la sequenza del delta tiberino, soprattutto sotto forme di incisioni tipo "gullies. Al di sotto della piana deltizia attuale la discordanza può essere seguita da variazioni litologiche nei logs di alcuni pozzi, dove si osserva il brusco passaggio dai sedimenti fini del complesso deltizio ai sottostanti orizzonti sabbiosi e conglomeratici dei terreni pleistocenici più antichi, gli

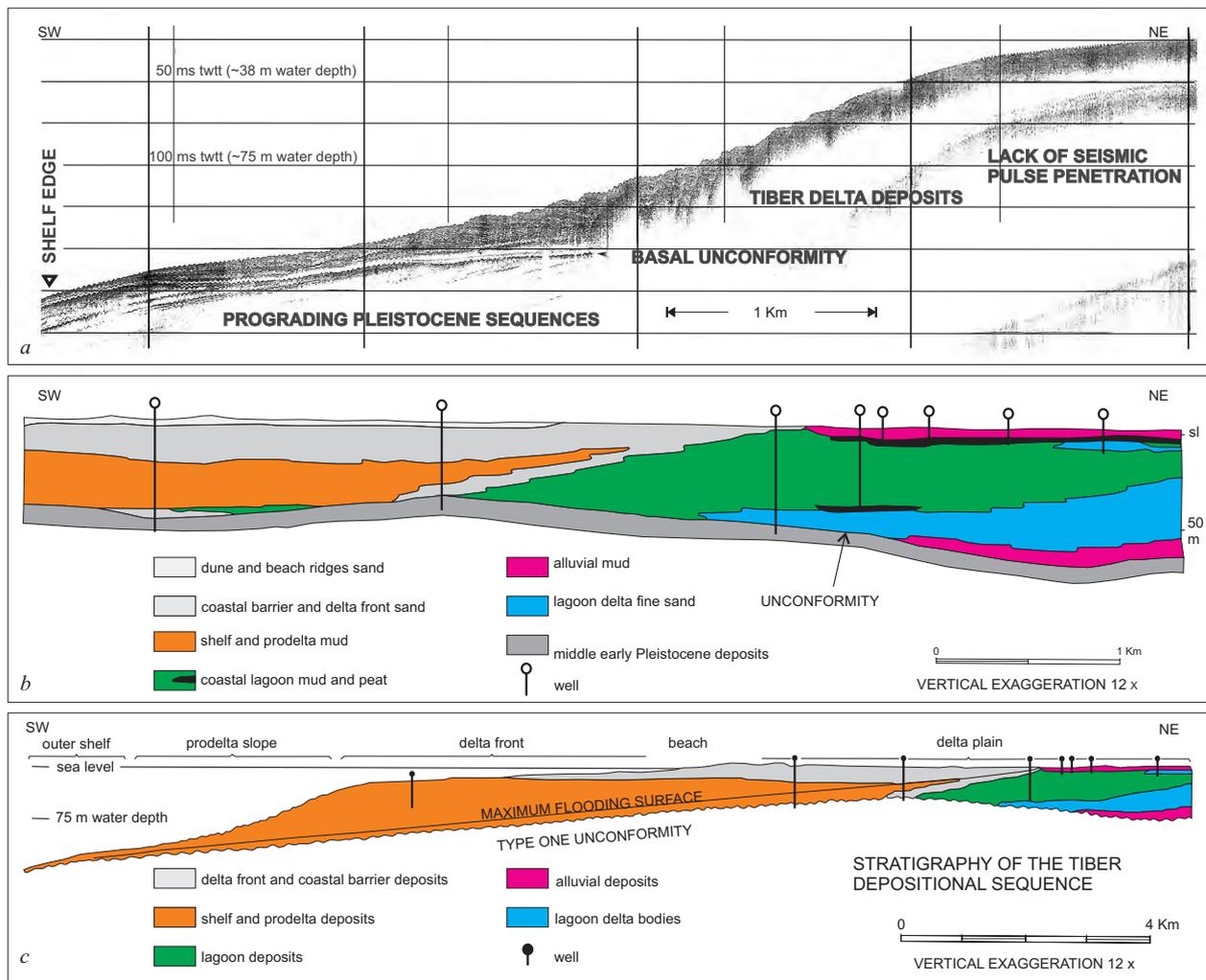


Fig. 4 – Stratigrafia della sequenza deposizionale tiberina.

In (c), dettaglio di fig. 3, arricchita di dati sedimentologici; in (b), sezione SW-NE ricavata attraverso sondaggi nell'area emersa; in (a) sezione SW-NE ottenuta attraverso sismica ad alta risoluzione nell'area di prodelta. (Da BELLOTTI et alii, 1994, ridisegnato).

- Stratigraphy of the Tiber depositional sequence.

In (c), detail of fig. 3, enriched with sedimentological data; in (b), cross section SW-NE constructed by using well data in the present delta plain; in (a), cross section SW-NE obtained through high resolution seismics in the prodelta area. (After BELLOTTI et alii, 1994, redrawn).

stessi che affiorano ampiamente ai margini della piana deltizia (MILLI, 1992; BELLOTTI, CHIOCCHINI, CIPRIANI & MILLI, 1993; BELLOTTI, CHIOCCHINI, CASTORINA & TOLOMEO, 1996).

2 - EVOLUZIONE PALEOGEOGRAFICA DEL DELTA

Seguiamo ora BELLOTTI (1994, 1998) nella ricostruzione dell'evoluzione paleogeografica dell'area¹ a partire dal termine dell'ultimo massimo glaciale, quando il livello marino era sceso a circa -120 m rispetto a quello attuale, per cui anche la foce del

Tevere era spostata di almeno una decina di km più ad Ovest rispetto a quella odierna e il fiume percorreva una paleovalle allungata da NE a SW, oggi sepolta a circa 60-80 m sotto la piana deltizia. In assenza di una subsidenza generalizzata significativa, da qualcuno ipotizzata ma in effetti non registrabile, e di una attività tettonica di rilievo, le modifiche successive ricostruibili nell'area oggi occupata dal delta sono interamente da imputare alla risalita glacioeustatica ed alla posizione via via assunta dalla foce del fiume.

Un primo scenario può essere fissato a circa 13.000 - 11.000 anni fa, quando il livello marino, dopo una prima fase di risalita, si era attestato a -

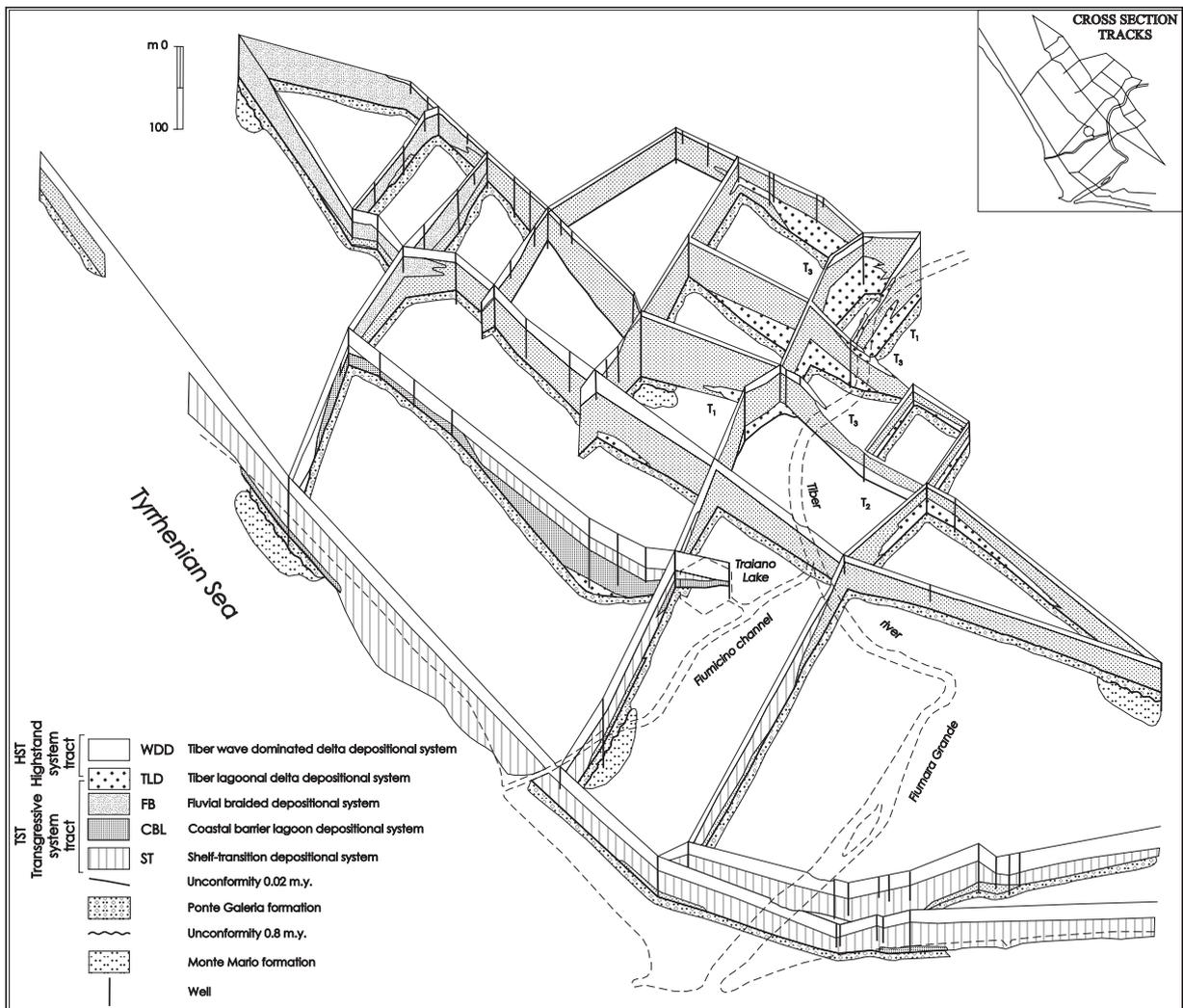


Fig. 5 – Reticolo di sezioni geologiche (*Fence Diagram*) che mostra la distribuzione tridimensionale dei diversi corpi sedimentari del delta tiberino nell'area sottostante all'attuale piana deltizia. Il puntinato indica i canali fluviali e la linea di costa attuali. (Da BELLOTTI, 1998, ridisegnato).
 - *Network of geological sections (Fence Diagram) showing the three-dimensional distribution of the sedimentary bodies of the Tiber delta in the area underlying the present delta plain. Dotted lines indicate the present fluvial channels and coastline. (After BELLOTTI, 1998, redrawn).*

1 - in corso di stampa è apparso un nuovo contributo (BELLOTTI *et alii*, dicembre 2007) che apporta ulteriori dati per una ricostruzione minuziosa dell'evoluzione del delta.

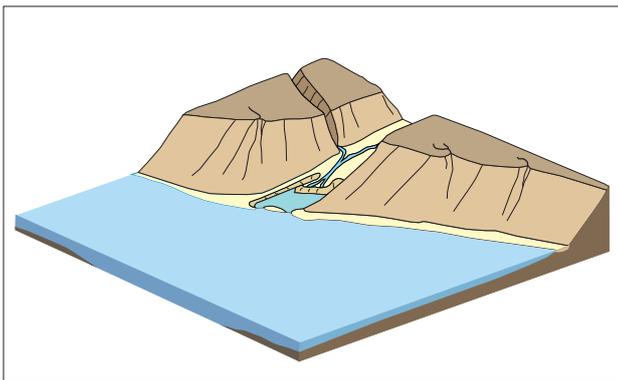


Fig. 6 – La foce del Tevere 13.000-11.000 anni fa, schema paleogeografico. Il livello marino si è attestato a -70/80 m rispetto alla posizione attuale. Il mare ha invaso il tratto finale della paleovalle tiberina, costringendo la foce del fiume ad un arretramento di diversi km. Si è formata una laguna allungata in senso parallelo al fiume, sbarrata da una sottile barriera sabbiosa. Il Tevere sfocia all'interno di tale laguna. Come negli schemi che seguono sino a fig. 9, la scala delle altezze è esagerata. (Da BELLOTTI, 1998, ridisegnato).

- *The Tiber mouth at 13.000-11.000 years B.P., palaeogeographic sketch. Sea-level is at -70/80 m below present m.s.l. Sea invades the final tract of the Tiber palaeovalley, so that the mouth is forced to withdraw for several km, leaving space to an elongated lagoon, isolated from the sea by a thin sandy barrier. Tiber flows into the lagoon. As in the following sketches (up to fig. 9), height scale is exaggerated. (After BELLOTTI, 1998, redrawn).*

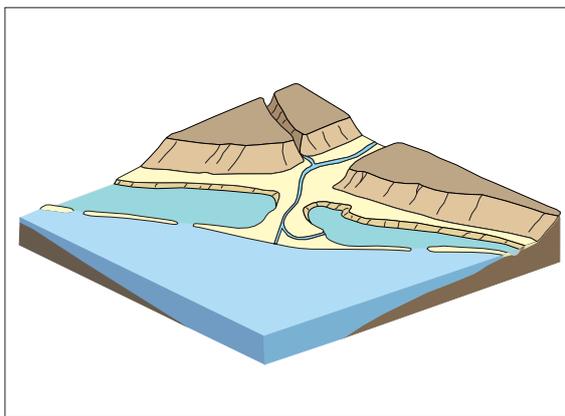


Fig. 8 - Schema riferibile a 7.000-5.000 anni fa. Il livello marino è ormai sostanzialmente stabile, si assiste al parziale colmamento della laguna da parte dei sedimenti fluviali con la rapida avanzata dell'apparato deltizio verso la barriera sabbiosa, ancora interrotta in modo discontinuo. L'antica laguna viene divisa in due bacini separati e infine il Tevere, in un momento ancora imprecisato (forse 4.500-5.000 anni fa), lascerà il suo sbocco lagunare (ipotesi in figura) per sboccare in mare aperto. (Da BELLOTTI, 1998, ridisegnato).

- *Sketch at 7.000-5.000 years B.P. Sea-level is almost stable, fluvial sediments are gradually filling the lagoon, Tiber delta is quickly advancing towards a well formed but still discontinuous sandy barrier, as far as the ancient lagoon is divided in two separate basin. Tiber River will soon abandon its lagoonal mouth (figure) to reach, in an imprecise moment (maybe 4.500-5.000 years B.P.), the open sea. (After BELLOTTI, 1998, redrawn).*

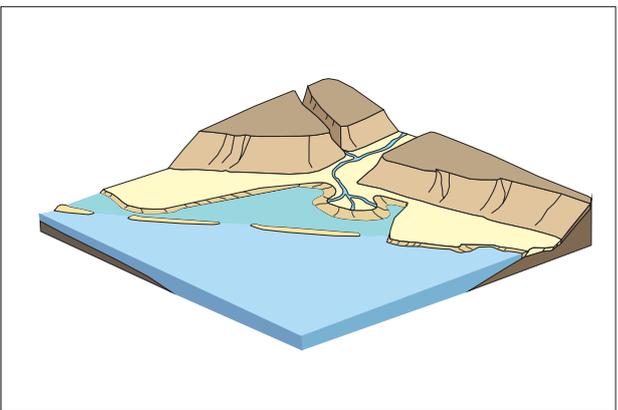


Fig. 7 – Schema paleogeografico riferibile 9.000-7.000 anni fa. Il livello marino ha ormai raggiunto i -30 m rispetto alla posizione attuale, costringendo l'intero sistema foce-laguna-barriera a forti spostamenti. Si è formata un'ampia laguna isolata da barriere sabbiose, allungata trasversalmente rispetto al fiume e parallela alla costa. Entro tale laguna, il Tevere inizia a costruire il suo apparato deltizio. (Da BELLOTTI, 1998, ridisegnato).

- *Palaeogeographic sketch at 9.000-7.000 years B.P. Sea-level has risen up to -30 m below present m.s.l., forcing the whole mouth-lagoon-barrier system to a marked shift. A large, elongated lagoon is recognizable, transverse to the river and parallel to the coast. Into this lagoon, Tiber River has begun to build its delta system. (After BELLOTTI, 1998, redrawn).*

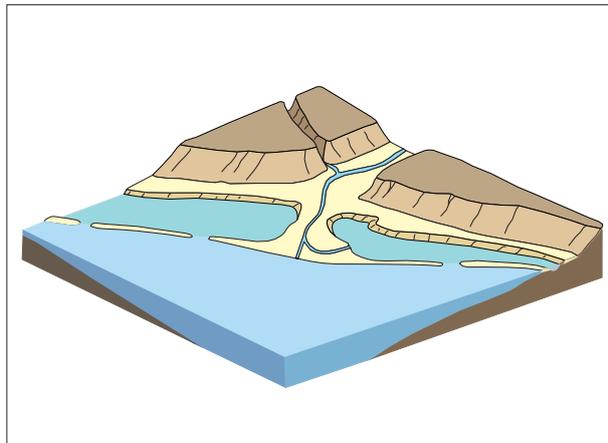


Fig. 9 – Situazione al II Secolo d.C. Il Tevere ha ormai una foce marina ben sviluppata, le due lagune sono isolate dal corso fluviale, l'antica barriera si è ormai trasformata in un litorale pressoché continuo, simile a quello attuale. L'originario porto di Claudio è stato già ampliato da Traiano (si notino i canali artificiali). (Da BELLOTTI, 1998, ridisegnato).

- *Situation at II Century A.D. Tiber has a well developed marine mouth, the two lagoons are completely separated by the fluvial system, the old sandy barrier is now featuring a nearly continuous beach, quite similar to the present one. The original harbour built by Claudius has already been enlarged by Traianus (note the artificial channels). (After BELLOTTI, 1998, redrawn).*

70/-80 metri rispetto alla posizione attuale. Durante questa prima fase, fortemente influenzata dal veloce scioglimento dei ghiacci, il mare aveva invaso il tratto finale della paleovalle, costringendo

la foce del Tevere ad un arretramento di diversi km e formando una laguna allungata secondo l'asse della paleovalle (fig. 6). Il fiume sfociava all'interno della laguna, comunicante con il mare attraverso





qualche apertura nella sottile barriera sabbiosa. Si può calcolare che il tasso di risalita in questo primo intervallo di tempo fosse superiore a 10 mm all'anno, valore troppo elevato perché i sedimenti trasportati dal fiume riuscissero a compensare il continuo innalzamento del livello della laguna e infine a colmarla.

Un secondo, ben diverso scenario può venire delineato attorno a 9.000 - 7.000 anni fa, quando il mare aveva ormai raggiunto i -30 m rispetto al livello attuale, costringendo l'intero sistema foce-laguna-barriera ad un forte spostamento (fig. 7). La laguna era divenuta decisamente più ampia e si era allungata trasversalmente rispetto al fiume, probabilmente intercettando anche corsi d'acqua minori. Il collegamento col mare doveva essere assicurato da canali che interrompevano una serie di isolotti sabbiosi. All'interno di questa vasta laguna il Tevere iniziava a costruire il suo apparato deltizio, libero di migrare secondo gli schemi classici ma sempre confinato nella laguna.

Il livello marino proseguì la sua risalita, anche se con tassi via via decrescenti, fino a stabilizzarsi a quote già prossime a quelle attuali.

Da quel momento il tasso di risalita è stato di soli 1-1,5 mm all'anno, valori troppo bassi per assicurare qualche forma di equilibrio fra trasporto dei materiali e risalita del livello del mare, per cui la situazione mutò drasticamente. Attorno a 7.000-5.000 anni fa è possibile ipotizzare un quarto scenario (fig. 8), in cui riconosciamo (in una situazione di livello marino sostanzialmente stabile) l'inizio del colmamento della laguna da parte dei sedimenti fluviali e soprattutto la rapida avanzata dell'apparato deltizio verso la barriera.

Non si conosce ancora con precisione il momento in cui l'apparato deltizio si saldò alla barriera dividendo in due la laguna e il Tevere ebbe una foce marina (secondo GIRAUDI 2004, attorno a 4.500-5.000 anni fa), anche se in epoca romana ciò era già sicuramente avvenuto. La prima foce marina del Tevere era più a Nord dell'attuale, pressappoco sull'asse dell'odierno canale di Fiumicino (GIRAUDI 2004, BELLOTTI *et alii* 2007). Il suo spostamento più a Sud sembra essere avvenuto circa 3000 anni fa, e non è escluso che lo spostamento sia avvenuto con un breve intermezzo di una foce lagunare nella laguna meridionale. Non è ancora possibile quindi confermare o smentire quanto ipotizzato da BERTACCHI (1960) sulla base dell'interpretazione di testi di epoca romana, secondo il quale in epoca regia e repubblicana era ancora atti-

va una foce lagunare del Tevere. Ricordando anche quanto accennato all'inizio, tengano in ogni caso presente gli archeologi che prima di avere una foce in mare il Tevere ha presentato per lungo tempo una foce lagunare.

Un ulteriore scenario può essere ricostruito durante il primo periodo imperiale romano (fig. 9).

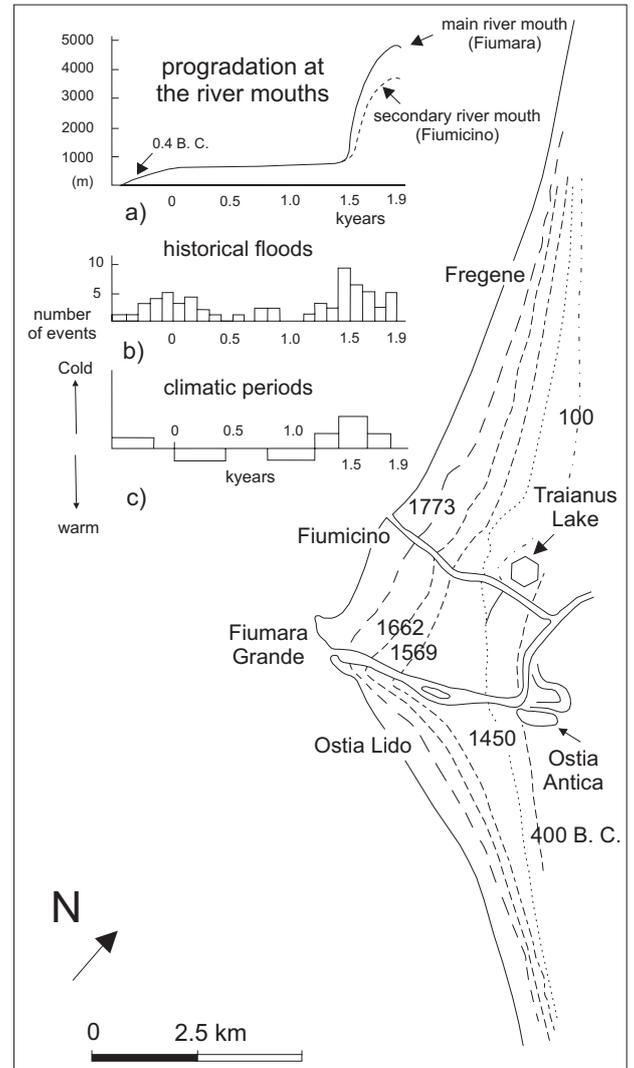


Fig. 10 – Linee di costa storiche che documentano la progradazione del delta tiberino. Sono state ricostruite soprattutto attraverso dati storici ed archeologici, integrati dall'esame in foto aerea dell'orientazione degli assi dei cordoni litorali giustapposti. I grafici in alto a sinistra evidenziano: in a) la progradazione storica delle foci fluviali; in b) la frequenza delle piene storicamente documentate nella città di Roma; in c) il trend climatico nell'area mediterranea negli ultimi 2.500 anni. (Da BELLOTTI *et alii*, 1994, ridisegnato).

- Historical shorelines documenting the progradation of the Tiber delta. They have been mainly reconstructed using historical data and archaeological findings, integrated by aerophoto analysis of the orientation of the juxtaposed beach-ridges. Upper left graphs show: in a) the historical progradation of the fluvial mouths; in b), the frequency of the historically documented floods in the city of Rome; in c) the climatic trend in the Mediterranean area during the last 2.500 years. (After BELLOTTI *et alii*, 1994, redrawn).

Il Tevere ha ormai una foce marina ben sviluppata, le due lagune sono isolate dal corso fluviale, nascono i progetti per la gigantesca operazione di portualizzazione cui si è già accennato, legata al genio di Claudio e alla tenacia dei suoi successori, in particolare Traiano, al quale si vuole dovuta l'apertura del canale artificiale che è all'origine dell'attuale foce di Fiumicino (si veda tuttavia nei dettagli l'importante lavoro di SILENZI 1998-a, che attribuirebbe interamente a Claudio la complessa progettazione dell'intero sistema portuale romano). L'antica barriera si era ormai trasformata in un litorale pressoché continuo, simile a quello attuale, e le due lagune avevano solo uno o due canali che le collegavano al mare.

Da allora il Tevere porterà i suoi sedimenti direttamente in mare, costruendo via via sulla piattaforma continentale l'apparato deltizio che prosegue la sua evoluzione anche oggi.

L'evoluzione del delta negli ultimi 2.000 anni può essere tracciata soprattutto attraverso indagini storiche e archeologiche. Diviene così possibile tracciare anche nei dettagli le linee di riva riportate in fig. 10. Particolarmente interessante osservare che fino all'inizio del Rinascimento non ci siano state significative progradazioni del delta rispetto alla situazione imperiale, anche se non si possono escludere fasi compensate di avanzata e ritiro. In epoca rinascimentale inizia invece una veloce progradazione che si può seguire nel tempo, punteggiata com'è dalle torri di guardia costruite in prossimità delle foci per il controllo dell'ingresso dei navigli.

La fase di progradazione più intensa coincide con un periodo freddo e piovoso, nel bel mezzo della "piccola era glaciale", in cui sono state registrate le massime piene del Tevere. E coincise proprio con una di queste, nel 1557, l'ultima impor-

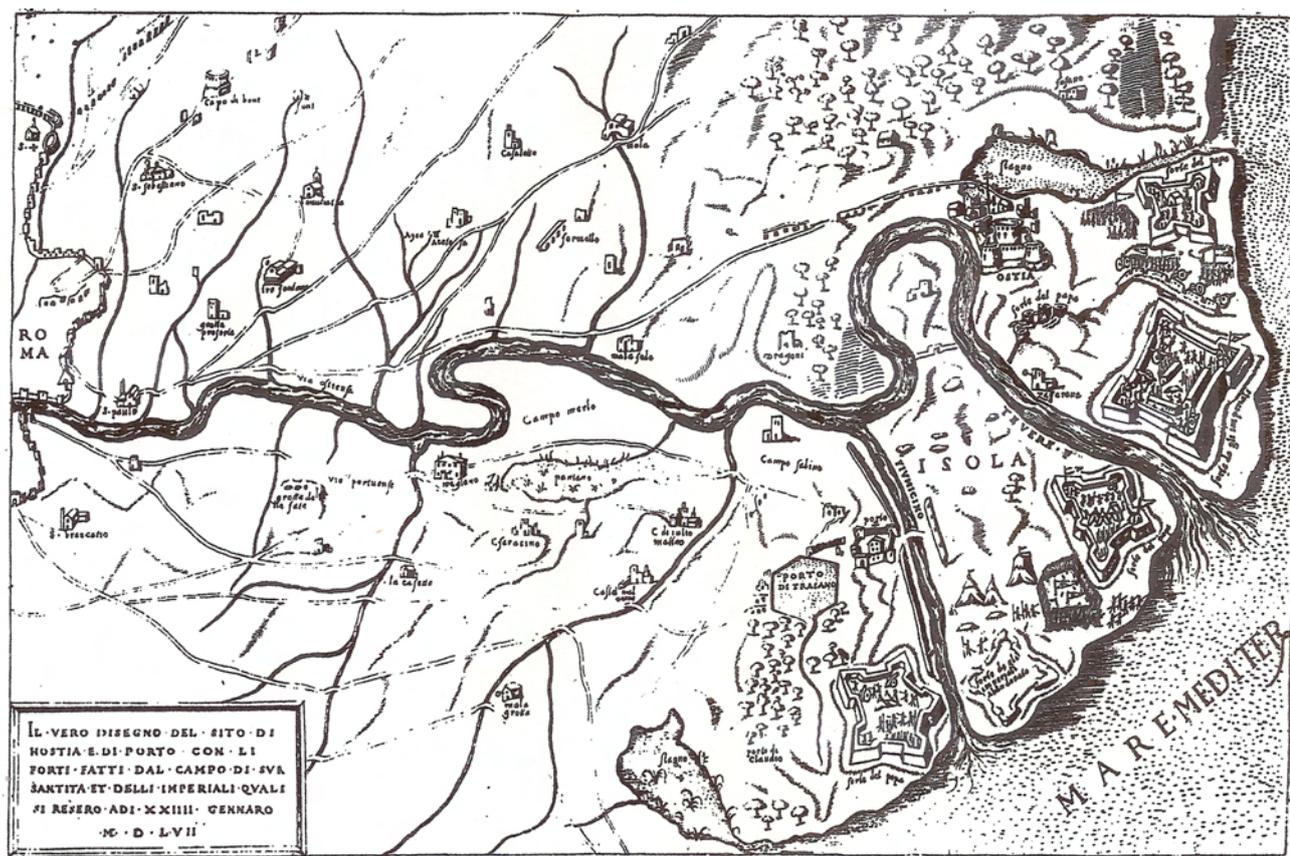


Fig. 11 – Disegno del sito di Ostia e dell'area portuale in cui è ancora riconoscibile (in alto a destra lungo il corso principale) il meandro del Tevere prima di essere tagliato dalla piena del 1557. La carta, anonima, compare in FRUTAZ, 1972 e nella legenda fa riferimento ad eventi del gennaio 1557. E' possibile che sia stata stampata poco prima della disastrosa alluvione di quell'anno, ma in realtà bisognerà attendere più di un secolo prima di veder comparire nella cartografia il nuovo corso del fiume (fig. 12).

— Drawing of the area of Ostia and its ancient harbour. It is still recognizable (upper right along the main river trace) the meander that was cut during the flood of 1557. This anonymous map is reported in FRUTAZ, 1972 and in its legend is reported a reference to events of January 1557. It is possible that the map was printed just before the disastrous flood of that year. In fact, more than a century will pass before a map would represent the new course of the river (fig. 12).



tante modifica naturale del corso del fiume. Il meandro sito in prossimità dell'attuale Ostia Antica, dove era stato costruito per Giulio II da Giuliano da Sangallo un importante castello a difesa del fiume e a controllo dei traffici fluviali, fu abbandonato dal Tevere, che assunse in quella occasione il corso attuale, facendo perdere al castello, dopo pochi decenni dalla costruzione, gran parte della sua importanza (fig. 11, 12).

Si giunge così alla metà del XIX secolo (fig. 13), quando possiamo riconoscere un delta marino ben delineato, di aspetto tipicamente triangolare, carat-

terizzato da cordoni litorali giustapposti che sottolineavano le antiche linee di riva ed isolavano ciò che rimaneva delle antiche lagune, ridotte di dimensioni e ormai impaludate a costituire stagni poco profondi, ciascuno con un solo canale attivo per il collegamento col mare.

Verso la fine dello stesso secolo venne portata a termine una importante opera di bonifica che fece sparire ogni traccia delle antiche lagune, eliminando definitivamente un elemento morfologico che aveva caratterizzato l'area per tutto l'Olocene. Oggi, come già accennato all'inizio, al loro posto



Fig. 12 – In questa carta (GIRELLI, 1692) è riportata, a quanto sembra per la prima volta, la nuova situazione creatasi lungo il corso del Tevere in seguito al taglio di meandro del 1557 nei pressi di Ostia Antica. Il meandro abbandonato è indicato come “Fiume Morto”.

- This map (GIRELLI, 1692) shows, maybe for the first time, the new situation created in the flow of the Tiber by the meander cut occurred near Ostia Antica in 1557. The abandoned meander is indicated as “Dead River”.

troviamo aree pianeggianti in parte ormai intensamente urbanizzate, con qualche tratto ancora a quota inferiore al livello del mare. Una fitta rete di canali assistiti da idrovore garantisce lo smaltimento costante delle acque.

3 - ELEMENTI DI STRATIGRAFIA SEQUENZIALE DEL DELTA

L'analisi sequenziale dei depositi pleistocenici affioranti nei rilievi che si affacciano sulla piana deltizia tiberina sono stati oggetto di un accurato lavoro di MILLI (1992). Tali depositi, costituiti da argille, sabbie e conglomerati relativi a sistemi deposizionali costieri o fluviali, sono stati suddivisi in due sequenze deposizionali di terzo ordine (Sequenze di Monte Mario e di Ponte Galeria). Quest'ultima sequenza si è sviluppata tra 800.000 anni fa e oggi, ed è costituita da otto sequenze deposizionali di quarto ordine, ciascuna della durata di circa 100.000 anni. Le discordanze basali di queste sequenze sono correlate ad abbassamenti glacio-eustatici del livello marino corrispondenti agli stages isotopici 22,18,16,12,10,8,6, 2 della scala di WILLIAMS *et alii* (1988). L'intero apparato deltizio tiberino appartiene all'ultima, più recente di tali sequenze.

Per gli aspetti di dettaglio della stratigrafia sequenziale del delta il riferimento d'obbligo è il

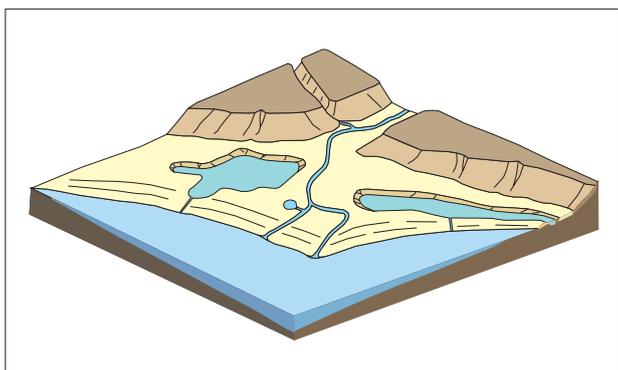


Fig. 13 – Situazione nel XIX secolo, prima delle bonifiche di fine Ottocento. Si riconosce un delta marino ben delineato, tipicamente triangolare, caratterizzato da antichi cordoni litorali giustapposti che sottolineano le antiche linee di riva ed isolano ciò che rimane delle vecchie lagune, ridotte di dimensioni e impaludate, ciascuna con un solo canale attivo che le collega al mare. (Da BELLOTTI, 1998, ridisegnato). - Situation at XIX Century A.D., before the land reclamation works carried out at the end of the century. Tiber delta is well outlined and of typical triangular shape. It is characterized by juxtapposed beach ridges featuring the ancient shorelines, isolating what remains of the previous lagoons. These appear strongly reduced in size and now looking as muddy marshes having a single channel connecting them to the sea. (After BELLOTTI, 1998, redrawn).

lavoro (con relativa estesa Bibliografia) di BELLOTTI, CHIOCCI, MILLI, TORTORA & VALERI (1994). Questi Autori, utilizzando evidenze archeologiche, datazioni radiocarbonio, log di pozzi, profili sismici ad alta risoluzione, hanno applicato i principi della stratigrafia sequenziale ai sedimenti depositi durante l'ultimo ciclo glacio-eustatico sul tratto di margine continentale tirrenico che comprende le foci del Tevere. Tali sedimenti formano una sequenza ad alta frequenza, sviluppata nel corso degli ultimi ventimila anni a partire dall'ultima fase di *low-stand*. Gli Autori l'hanno denominata Sequenza Deposizionale Tiberina. Tale sequenza è ancora incompleta in quanto tuttora in corso di evoluzione. Essa rappresenta una sequenza deposizionale di quinto ordine e la parte iniziale di una nuova sequenza di quarto ordine. Poggia su un limite di sequenza di Tipo 1, che è stato identificato sia in corrispondenza dello *shelf* che al di sotto della piana deltizia attuale. In essa si possono riconoscere (fig. 14) *systems tracts* di stazionamento basso (*low-stand*), trasgressione, stazionamento alto (*high-stand*).

I depositi di stazionamento basso non sono stati riconosciuti sullo *shelf*, ma sono presenti sulla scarpata continentale, dove rappresentano l'ultimo set di progradazione del margine continentale. Nell'ambito di questi depositi di *low-stand* è riconoscibile un reticolo di *gullies*, attivo al tempo in cui la foce del Tevere era situata al margine dello *shelf*.

I depositi del *transgressive systems tract* giacciono direttamente a contatto con la discordanza basale. Verso terra essi sono rappresentati da una parasequenza retrogradazionale in cui sono presenti facies sia fluviali che di barriera-laguna costiera e di laguna deltaica. Verso mare, sullo *shelf*, queste parasequenze passano a depositi sismicamente trasparenti che formano una sequenza condensata.

Le superfici di inondazione che limitano le parasequenze sono caratterizzate dalla presenza di orizzonti di torba che è stato possibile datare con il radiocarbonio. Le età radiometriche ricavate sono state usate per tracciare la curva di risalita del livello marino per gli ultimi 11.000 anni. Il tetto del *systems tract* trasgressivo (*maximum flooding surface*) è rappresentato dal più recente livello di torba, che si è formato all'incirca 4.700-5.000 anni fa ed è sepolto 4-5 m al di sotto dell'attuale piana deltizia superiore.

I depositi del *systems tract* di stazionamento alto sono costituiti dagli attuali sedimenti del delta del Tevere, un delta oggi dominato dal sistema ondoso,



in cui si possono riconoscere facies di piana deltizia inferiore e superiore, di fronte deltizia, di prodelta. Gli allineamenti giustapposti di depositi di spiaggia marcano le diverse fasi di progradazione della linea di costa, che possono per gli ultimi 2.500 anni venire datate attraverso dati storici ed archeologici (fig. 10). La progradazione molto veloce del delta tibertino, riscontrata negli ultimi 500 anni, trova corrispondenze con i dati storici sulle inondazioni della città di Roma e con i dati sul carico sospeso del Tevere in intervalli significativi, che indicano come circa un quarto dell'intera massa complessiva dei sedimenti deltizi, valutata attorno a 20-25 Km³, possa venire imputata a sedimentazione da parte del Tevere negli ultimi cinque secoli.

4 - EVOLUZIONE DELLE SPIAGGE

4.1 - INTERVENTI ANTROPICI RECENTI, FENOMENI EROSIIVI E TENTATIVI DI RIPASCIMENTO

Anche per questi aspetti facciamo largamente riferimento alla sintesi di BELLOTTI 1998, con relativa bibliografia.

Come risulta evidente dalla ricostruzione storico-archeologica, il delta ha mostrato in generale negli ultimi 2.000 anni una continua progradazione, con probabili oscillazioni positive e negative ma con tassi particolarmente accelerati di avanzata tra il Cinquecento e la prima metà dell'Ottocento. Agli inizi del Novecento la fase di progradazione

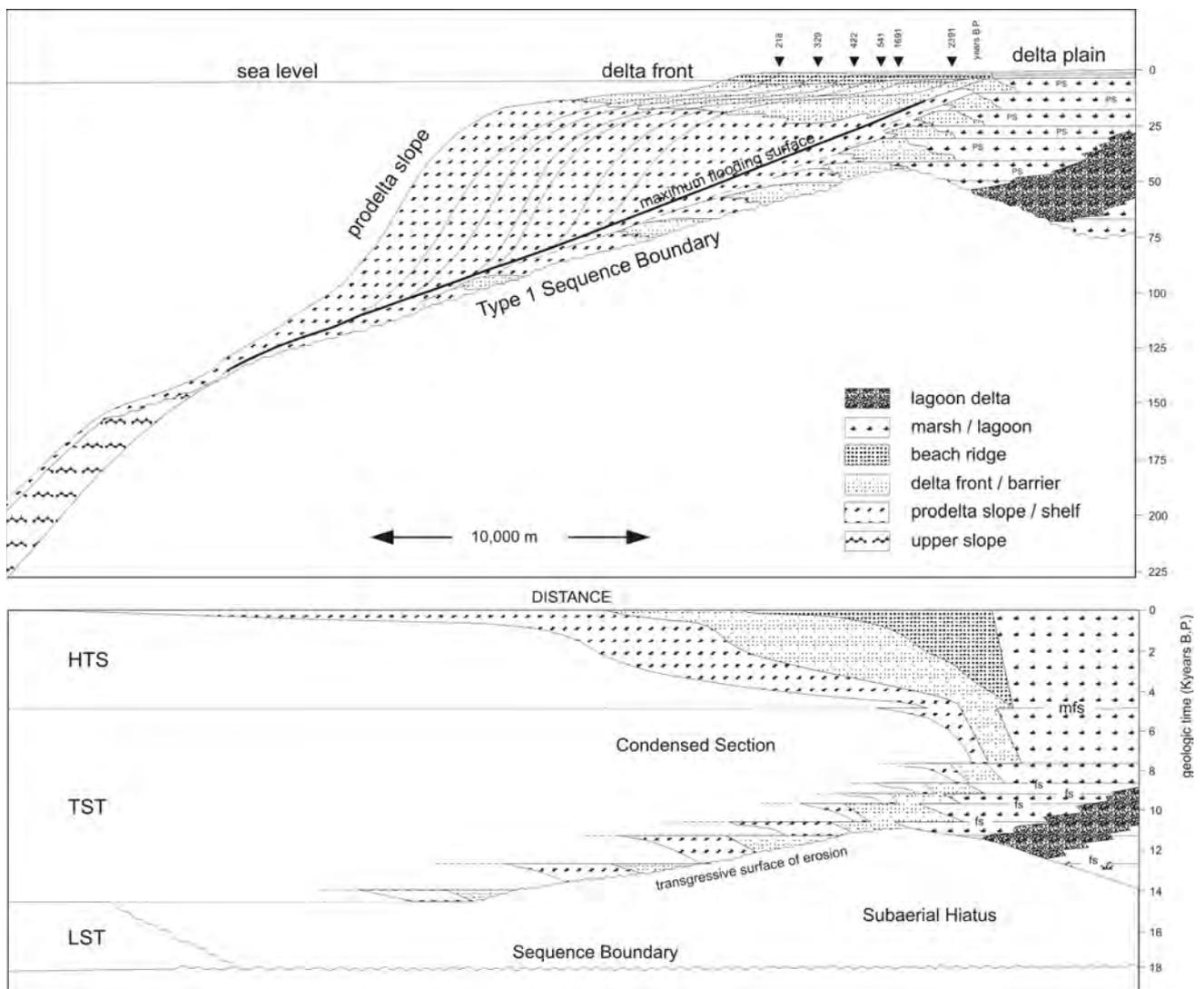


Fig 14 – Sezioni stratigrafica e cronostatigrafica SW-NE della sequenza deposizionale tibertina, ricostruita attraverso sondaggi, indagini sismiche ad alta risoluzione, datazioni radiometriche ed evidenze archeologiche della progradazione della linea di costa. (Da BELLOTTI et alii, 1994, ridisegnato). - Stratigraphic and chronostratigraphic sections SW-NE of the Tiber depositional sequence, constructed through well logs, high-resolution seismic profiles, radiocarbon dating and archaeological evidences of shoreline progradation. (After BELLOTTI et alii, 1994, redrawn).

del delta si attenuò fino ad arrestarsi, e per tutta la prima metà del Novecento venne mantenuto un sostanziale equilibrio della linea di costa. Scomparsi per le bonifiche anche i lembi lagunari residui, la morfologia dell'area litoranea divenne assai simile a quella che si osserva oggi. Ciò non toglie che modifiche importanti, in grado di alterare gli equilibri esistenti, siano state apportate dall'uomo nel corso dell'ultimo secolo, dapprima con la distruzione sistematica dei cordoni litorali a sud di Fiumara Grande per la creazione dell'attuale Ostia Lido, infine con la costruzione graduale di una serie di sbarramenti ad uso idroelettrico (aste fluviali dei fiumi Salto e Velino, bacini di Castel Giubileo, Nazzano, Corbara ed altri minori).

Tali opere di sbarramento hanno avuto l'effetto di diminuire fortemente, soprattutto attraverso l'arresto dei materiali più grossolani, la capacità del fiume di rifornire il suo delta con materiali adatti, sia per quantità che soprattutto per granulometria, e di mantenersi pertanto in equilibrio lungo litorali ad elevata energia quali quello tirrenico. Limitandosi per necessità a valori misurati solo per i materiali in sospensione, si osserva così che il trasporto solido del Tevere si è ridotto dai 10,6 milioni di tonnellate all'anno, calcolati nell'intervallo 1873-78, ai poco più di 3 milioni di tonnellate nel periodo 1950-73, fino ai valori odierni che, sia pure calcolati sporadicamente, darebbero valori attorno ad un milione di tonnellate all'anno.

Quando un delta viene sottoalimentato, in un primo tempo il materiale necessario all'equilibrio delle spiagge viene sottratto al delta sommerso, poi inizia una inesorabile fase di erosione. E' la sorte toccata al litorale deltizio tiberino a partire dagli anni '50 del secolo scorso, con graduale accentuazione del fenomeno, a partire dall'apice del delta, nei decenni successivi, finché oltre 15 dei 35 km di litorale ne risultarono interessati.

Gli effetti sull'estensione delle spiagge, sulle infrastrutture balneari e su alcuni tratti di viabilità litoranea non tardarono a farsi sentire. Quando risultarono minacciate anche alcune abitazioni, iniziò la progettazione e la costruzione di opere difensive. Si iniziò negli anni '50 con barriere frangiflutti parallele alla costa, seguite da barriere oblique e infine perpendicolari alla riva ("pennelli"). Alla fine degli anni '80 tutto il litorale da Fiumicino fino ad Ostia risultava protetto.

Questo tipo di interventi non poteva tuttavia rimediare alla carenza di alimentazione da parte del fiume. Si limitava a ridurre l'impatto del moto

ondoso sulle spiagge, rallentando lo smantellamento di quanto ancora rimaneva e scaricando il problema dell'alimentazione (causa reale dei fenomeni erosivi) su aree adiacenti ma ritenute di minore importanza.

Il Progetto di ripascimento delle spiagge - Un interessante progetto di natura sperimentale, rivolto a contrastare i fenomeni erosivi sostituendosi al fiume attraverso apporti artificiali di materiali adatti prelevati da cave nell'entroterra, ha avuto inizio nei primi anni '90 lungo un tratto del litorale di Ostia lungo circa 3 km. Si trattava di una forma di ripascimento morbido, volto alla ricostituzione artificiale della spiaggia e alla sua difesa da parte di una barriera di massi al largo, la cui sommità non doveva superare i -1,50 m rispetto al livello del mare. L'efficacia della barriera doveva consistere non tanto nello smorzare la violenza del moto ondoso quanto nell'impedire la perdita di materiali verso il largo.

La spiaggia così ricostruita aveva in media una larghezza di 80 m nella parte emersa e di 60 m in quella sommersa, e risultava costituita da un misto di sabbia e ghiaia ricoperto da un metro di sabbia. Per l'intera operazione furono necessarie oltre 600.000 tonnellate di pietrame per la barriera e poco meno di 1.500.000 mc di sabbia e ghiaia per la ricostituzione della spiaggia. Informazioni dettagliate su questo intervento e sui suoi aspetti collaterali si possono ottenere in PAPICCIO (1996) e nel numero di Vista sul Mare (AA.VV., 1999) dedicato al ripascimento della spiaggia di Ostia.

Il risultato in realtà, osservato a distanza di pochi anni, appariva abbastanza disomogeneo lungo il tratto interessato, anche se il sistema inizialmente sembrava funzionare. In effetti, nella parte più settentrionale la spiaggia emersa artificiale era quasi del tutto scomparsa, con ripristino della precedente linea di riva. In compenso, nella parte meridionale era divenuta più ampia. Era peraltro evidente che entro breve tempo, con l'inevitabile perdita continua di materiale, la situazione sarebbe tornata praticamente quella iniziale.

Opere di questo tipo, infatti, oltre ad essere molto costose da realizzare, per garantire un equilibrio stabile richiedono continui interventi e apporti di nuovi materiali. In effetti, interventi effettuati localmente intorno al passaggio al nuovo millennio, con il semplice massiccio apporto di materiali sabbiosi marini prelevati in profondità nelle vicinanze di Anzio, già nel 2003 avevano portato ad un sostanziale miglioramento della situazione generale.



BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1999) – *Il ripascimento della spiaggia di Ostia*. Vista sul Mare, n.3, anno 6°, a cura di “Non solo Sole”, Roma.
- ANONIMO (2006) – *Riscoperto Portus, l'antico porto di Roma*. La Gazzetta di Casalpalocco, **310**: 22, 2 figg., Roma.
- BELLOTTI P. (1994) – *Sedimentologia ed evoluzione olocenica della laguna costiera presente un tempo alla foce del Tevere*. In: Atti X Conv. A.I.O.L., pp. 633-642.
- BELLOTTI P. (1998) – *Il Delta del Tevere: geologia, morfologia, evoluzione*. In: BAGNASCO C.: *Il Delta del Tevere. Un viaggio fra passato e futuro*, pp. 19-29, 13 figg., Fratelli Palombi Ed., Roma.
- BELLOTTI P., BIAGI P.F., TORTORA P. & VALERI P. (1987) – *Il delta del Tevere: caratteri morfologici e sedimentologici della piana deltizia*. Giornale di Geologia, ser. 3, **49**: 89-99, Bologna.
- BELLOTTI P., CARBONI M.G., MILLI S., TORTORA P. & VALERI P. (1989) – *La piana deltizia del fiume Tevere: analisi di facies e ipotesi evolutiva dall'ultimo low stand glaciale all'attuale*. Giornale di Geologia, ser. 3, **51** (1): 71-91, 6 figg., Bologna. In allegato: Fence Diagram a colori del complesso deltizio del Fiume Tevere, con 5 profili di dettaglio.
- BELLOTTI P., CHIOCCHINI U., CASTORINA F. & TOLOMEO L. (1996) – *Le unità clastiche plio-pleistoceniche tra Monte Mario e la costa tirrenica presso Focene: alcune osservazioni sulla stratigrafia sequenziale*. Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, **113** (1994): 3-24, 15 figg., 1 tav. f.t., Roma.
- BELLOTTI P., CHIOCCHINI U., CIPRIANI N. & MILLI S. (1993) – *I sistemi deposizionali nei sedimenti clastici pleistocenici affioranti nei dintorni di Ponte Galeria (sud-ovest di Roma)*. Boll. Soc. Geol. It., **112**: 923-941.
- BELLOTTI P., CHIOCCHINI U., EVANGELISTA S., TORTORA P. & VALERI P. (1987) – *La superficie di discordanza alla base del Delta del Tevere e le sue relazioni con la geometria del corpo deltizio*. Mem. Soc. Geol. It., **37**: 407-415, Roma.
- BELLOTTI P., CHIOCCI F.L., MILLI S., TORTORA P. & VALERI P. (1994) – *Sequence Stratigraphy and Depositional Setting of the Tiber Delta: Integration of High-resolution Seismics, Well Logs, and Archaeological Data*. Journal of Sedimentary Research, **B64** (3): 416-432, 19 figg., Boulder (Colorado).
- BELLOTTI P., MILLI S., TORTORA P. & VALERI P. (1995) – *Physical stratigraphy and sedimentology of the late Pleistocene-Holocene Tiber Delta depositional sequence*. Sedimentology, **42**: 617-634, UK.
- BELLOTTI P. et alii (2007) – *Late Quaternary landscape evolution of the Tiber River delta plain (Central Italy): new evidence from pollen data, biostratigraphy and C₁₄ dating*. Z.Geomorph.N.F., **4**: 505-534. 8 figg., 1 tabella, Stuttgart.
- BELLOTTI P., TORTORA V. & VALERI P. (1989) – *Sedimentological and morphological features of the Tiber Delta*. Suppl. to Sedimentology, **36** (5), Poster, UK.
- BELLUOMINI G., IUZZOLINI P., MANFRA L., MORTARI R. & ZALAFFI M. (1986) – *Evoluzione recente del delta del Tevere*. Geologica Rom., **25**: 213-234, 12 figg., 1 tab., Roma.
- BERTACCHI L. (1960) – *Elementi per una revisione della topografia ostiense*. Rend. Acc. Naz. Lincei, **8**: 8-32, Roma.
- CALAMANI C. (2006) – *Ficana, prima di Ostia*. Zeus, A. XI, n. 105 (Marzo 2006), pp. 69-70, Roma.
- CATTANEO A., TRINCARDI F., LANGONE L., ASIOLI A. & PUIG P. (2004) – *Climoform Generation on Mediterranean Margins*. Oceanography, **17** (4): 104-117, 6 figg., Rockville (USA).
- FRUTAZ A.P. (1972) – *Le carte del Lazio*, vol. II. Ed. Ist. Studi Romani, Roma.
- FUNICIELLO R., TESTA O., CAMPOLUNGI M.P., LANZINI M., CECILI A. (2005) – *La struttura geologica dell'area romana e il Tevere*. Atti dei Convegni Lincei n. **218**, Convegno “Ecosistema Roma” (Roma, 14-16 aprile 2004), pp. 149-208, 40 figg., Roma.
- GIRAUDI C. (2004) – *Evoluzione tardo-olocenica del delta del Tevere*. Il quaternario, **17**: 477-492.
- GIRELLI P.P. (1692) – *Cartografia dell'area romana (rilevata e redatta in prevalenza da G.B. CINGOLANI)*. Editore De Rossi Matteo Gregorio, Roma.
- HEIKEN G., FUNICIELLO R. & DE RITA D. (2005) – *The Tiber Floodplain, Commerce and Tragedy*. In: HEIKEN G., FUNICIELLO R. & DE RITA D.: *The Seven Hills of Rome: A Geological Tour of the Eternal City*, Chapter 5: 59-84, Princeton University Press, New Jersey.
- KEAY S., MILLETT M., PAROLI L. & STRUTT K. (2005) – *Portus. An Archaeological Survey of the port of Imperial Rome*. Archaeological Monographs of the British School at Rome, **15**, 360 pp., 233 figg., ISBN 0904152472, London.
- KEAY S., MILLETT M. (2006, in press) – *Portus and Rome's Maritime Façade*. In HOHLFELDER R. (ed.): *The Maritime World of Ancient Rome*. Memoirs of the American Academy at Rome.
- LEONI G., DAI PRA G. (1997) – *Variazioni del livello del mare nel tardo Olocene (ultimi 2500 anni) lungo la costa del Lazio in base ad indicatori geo-archeologici. Interazioni fra neotettonica, eustatismo e clima*. ENEA, Dip. Ambiente, Centro Ricerche Casaccia, RT/AMB/97/8, Roma.
- MILLI S. (1992) – *Analisi di facies e ciclostratigrafia in depositi di piana costiera e marino marginali. Un esempio nel Pleistocene del Bacino Romano*. Università La Sapienza, Tesi di Dottorato inedita, 215 pp., con ricca documentazione, Roma.
- PAPICCIO C. (1996) – *Analisi dei metodi e degli interventi attuati per la difesa del litorale del Lido di Ostia (Comune di Roma) dall'erosione marina*. Univ. Roma Tre, Tesi di Laurea inedita in Geologia Applicata (relatore prof. G. Capelli), con ricca documentazione. A.A. 1995/96, Roma.
- SILENZI M. (1998-a) – *Il Porto di Roma. Storia e ricostruzione urbanistica del progetto architettonico, sociale e politico dell'imperatore Claudio per la realizzazione del Portus Romae*. 285 pp., 223 figg., 6 tavole f.t. allegate, Newton & Compton Ed., Roma.
- SILENZI M. (1998-b) – *Interpretazione dell'affresco rinvenuto al Colle Oppio*. Dal sito Internet “Roma Aeterna” (www.romaeterna.org), novembre 2006.
- TESTAGUZZA O. (1970) – *Portus. Illustrazione dei porti di Claudio e Traiano e della Città di Porto a Fiumicino*. Julia Editrice, Roma.
- TRINCARDI F., CATTANEO A. & CORREGGIARI A. (2004) – *Mediterranean Prodelta Systems: Natural Evolution and Human Impact Investigated by EURODELTA*. Oceanography, **17** (4): 34-45, 6 figg., Rockville (USA).
- WILLIAMS D.F., TUNNEL R.C., TAPPA E., RIO D. & RAFFI I. (1988) – *Chronology of the Pleistocene Oxygen isotope record: 0-1.88 m.y. B.P.* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **61**: 221-240.

