

## Bilancio sedimentario ed evoluzione storica delle spiagge

E. Pranzini

Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze

**RIASSUNTO** - *Bilancio sedimentario ed evoluzione storica delle spiagge* - Il Quaternario, 7(1), 1994, 197-204 - Nella presente relazione vengono prese in considerazione le voci in entrata ed in uscita del bilancio sedimentario delle spiagge ed analizzate le variazioni a cui sono state soggette negli ultimi 3.000 anni. Vengono quindi portati alcuni esempi di evoluzione di apparati deltizi toscani per i quali è stato possibile mettere in correlazione le fasi di accrescimento o di erosione con quelle di maggiore o minore input sedimentario, e spiegare quest'ultime in termini di impatto antropico sui bacini idrografici. Si affronta infine il problema della correlazione fra le fasi evolutive di apparati deltizi di aree diverse.

**ABSTRACT** - *Sedimentary budget and beach evolution in historical times* - Il Quaternario, 7(1), 1994, 197-204 - This paper analyses inputs and outputs in the beaches sedimentary budget and their changes in the last 3,000 years. The historical evolution of some Tuscan river deltas is presented as evidence of the relationship between human impact on river basins and either coastal accretion or erosion. Finally, the problems of the correlation between evolution phases of deltaic forms in different areas are discussed.

Parole chiave: Geomorfologia, costa, delta, Olocene, impatto antropico.

Key-words: Geomorphology, coast, delta, Holocene, human impact.

### 1. Introduzione

La somma algebrica fra il volume dei sedimenti in entrata e di quelli in uscita in un determinato tratto di spiaggia ne costituisce il bilancio sedimentario. L'uso di questo termine, per un inconscio riferimento ad un sano bilancio familiare, porta a considerare come normale il pareggio, accettando tutt'al più un bilancio attivo, ma considerando decisamente anomalo un deficit sedimentario.

In verità, l'analisi delle spiagge attuali e di lunghe sequenze sedimentarie di ambiente costiero mostra come un pareggio di questo bilancio sia altamente improbabile, e come costituiscano invece la norma periodi di *deficit* e periodi di *surplus*.

Ciò è d'altra parte prevedibile se si considerano le voci che costituiscono il bilancio: esse sono estremamente numerose ed indipendenti l'una dall'altra. Una condizione di stabilità della linea di riva costituisce generalmente un evento casuale o si riconosce come un breve momento di transizione fra fasi di segno opposto.

La velocità di queste variazioni è generalmente bassa e un osservatore può spesso trovare conferma della presunta stabilità nell'osservazione di molte spiagge. In ciò è anche aiutato dal fatto che oscillazioni di breve e medio periodo (giornaliere e stagionali) si sovrappongono ai trend di più lunga durata, che divengono quindi difficilmente riconoscibili per un osservatore "dalla vita breve".

E' forse per questo che condizioni di stabilità, statisticamente improbabili, sono oggi attribuite a circa la metà delle spiagge italiane (AA. VV., 1981). In assenza di processi di *feed-back* fra il sistema spiaggia e il sistema fiume, questo valore è assai sorprendente.

Per quanto riguarda le spiagge "non in equilibrio", prevalgono decisamente quelle in cui sono evidenti le tracce dell'erosione (più del 40% del totale), mentre assai rare (5% del totale) sono quelle in cui sono apprezzabili i segni di una progradazione (AA. VV., 1981).

La velocità con cui queste situazioni si modificano, in particolare in un momento in cui è estremamente pressante l'impatto antropico sul territorio, è dimostrata dal fatto che ancora all'inizio dell'800 tutte le spiagge italiane erano in fase di accrescimento.

L'analisi delle voci che costituiscono il bilancio sedimentario delle spiagge e delle loro variazioni in epoca storica consentirebbe di spiegare l'evoluzione recente dei litorali e di attuare modelli per stimare l'impatto sull'evoluzione della linea di riva di eventuali interventi da realizzare sul territorio. Purtroppo la quantificazione delle varie voci del bilancio risulta generalmente impossibile anche per le situazioni attuali. Ne è prova la difficoltà di misura diretta del carico di fondo dei corsi d'acqua (Tacconi, questo Convegno) <sup>(1)</sup> ed il proliferare di metodi di calcolo indiretto.

In questo contesto sembra però proponibile un percorso inverso, che dall'analisi delle variazioni della linea di riva consenta di estrapolare dati sulle variazioni dell'*input* sedimentario.

A tal fine i delta fluviali costituiscono un punto di osservazione privilegiato, dato che qui sono particolarmente evidenti sia le forme correlate a fasi di bilancio sedimentario positivo (cordoni litoranei associabili a cuspidi) che quelle legate a fasi di bilancio negativo (cordoni litoranei troncati) (Fig. 1).

In particolare, la ricostruzione delle antiche linee di riva in corrispondenza di alcuni delta tirrenici ha consentito di tracciare un quadro assai preciso delle variazioni subite dal bilancio sedimentario dei litorali dal periodo pre-romano ai nostri giorni. Queste antiche linee di riva sono facilmente riconoscibili grazie alla peculiarità morfologica dei beach ridges presenti in prossimità delle foci fluviali.

---

<sup>(1)</sup> Non è stato possibile includere l'intervento del Prof. Tacconi "Il fiume e la sua dinamica in relazione alla trasformazione ambientale" negli Atti del Convegno perché il testo relativo non era ancora pervenuto al momento dell'invio alla stampa del volume (31 agosto 1994) (N. d. R.).

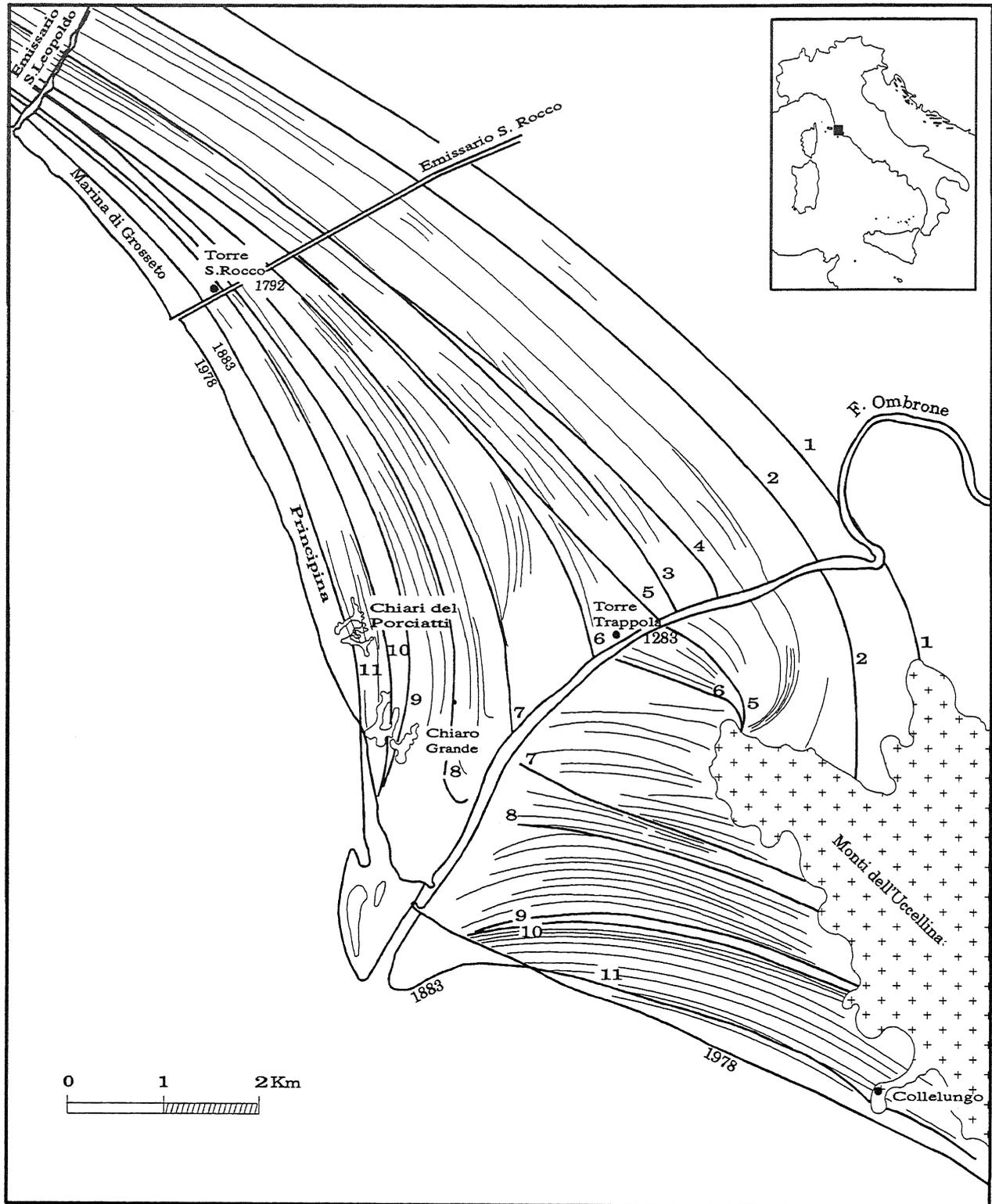


Fig. 1 - Antiche linee di riva nel delta dell'Ombrone. 1: Linea di riva più interna riconoscibile su immagini telerilevate (pre-Etrusca?); 2: Linea di riva etrusca; 3: Linea di riva romana nella fase di progradazione; 4: Linea di riva dell'Alto Medio Evo; 5: Linea di riva di una fase erosiva medioevale; 6: Linea di riva del XIV secolo; 7: Linea di riva di una fase erosiva del XV secolo; 8: Linea di riva all'inizio della fase di rapida progradazione (XVI-XVII sec.); 9: Linea di riva alla fine della fase di rapida progradazione (XVII-XVIII sec.); 10: Linea di riva di una recente fase erosiva (XVIII sec.); 11: Linea di riva nel 1883 (da Innocenti & Pranzini, 1993; modif.).

*The Ombrone River delta: Ancient shorelines. 1: Innermost shoreline as revealed by remote sensing images (pre-Etruscan?); 2: Etruscan shoreline; 3: Roman shoreline during a progradation phase. 4: Early Middle Age shoreline; 5: Middle Age erosional phase shoreline; 6: 14th Century shoreline; 7: 15th Century erosional phase shoreline; 8: Shoreline at the beginning of the last progradation phase (16th 17th Century); 9: Shoreline at the end of the last progradation phase (17th -18th Century); 10: Shoreline due to a recent erosional phase (17th - beginning of 18th Century); 11: Shoreline in 1883. (from Innocenti & Pranzini, 1993; modified).*

Nelle zone più laterali, dove le variazioni della linea di riva sono più lente, la loro fusione o la loro evoluzione in vere e proprie dune rende le ricostruzioni assai più difficili.

Essendo poi i *beach ridge* forme sincrone, è possibile estrapolare una datazione ad un ampio tratto di litorale; la simmetria dei cordoni consente inoltre il riconoscimento di linee di riva anche sul lato opposto della cuspidè deltizia.

E' doveroso ricordare che il contributo degli storici e degli archeologi è stato determinante nella datazione di questi cordoni (Mazzanti & Pasquinucci, 1985), in cui i manufatti sono assai scarsi a causa delle notevoli difficoltà ambientali presenti nelle coste basse lungo quasi tutto il periodo di tempo qui considerato.

## 2. Il bilancio sedimentario

### 2.1. Le voci del bilancio

Sebbene la quantificazione delle singole voci che costituiscono il bilancio sedimentario di un litorale sia ancora fuori dalle nostre possibilità, il bilancio globale è ottenibile attraverso il confronto fra rilievi batimetrici successivi. Bilanci stagionali ed annuali vengono correntemente ottenuti attraverso rilievi effettuati *ad hoc*, mentre bilanci su più lungo termine fanno affidamento su rilievi batimetrici "storici", come quelli effettuati in Italia alla fine dell'800 dal nostro Servizio Idrografico (Bartolini & Pranzini, 1984). Proprio questi ultimi costituiscono un archivio di notevole interesse poiché effettuati con grande accuratezza e in un momento in cui si stava verificando un'inversione nel *trend* evolutivo di molti tratti del litorale italiano.

Fra i volumi in entrata nel bilancio sedimentario di una spiaggia (Fig. 2) devono essere presi in considerazione non solo gli apporti solidi dei corsi d'acqua, che per i nostri litorali rappresentano l'input di gran lunga più importante, ma anche i materiali erosi dalle coste alte (Sunamura, 1992), quelli trasportati ad opera del moto ondoso dalla piattaforma verso riva (Dean, 1987) e quelli dovuti alla precipitazione chimica e biogenica.

Se il bilancio sedimentario deve essere letto alla luce delle variazioni della linea di riva, *input* e *output* indiretti possono essere associati alle variazioni relative del livello marino. Anche in questi casi, però, il calcolo non è così semplice come apparirebbe da una impostazione puramente geometrica del problema. Infatti l'innalzamento del livello del mare può portare con sé lo spostamento verso costa di grossi volumi di sedimenti, come avvenuto con la migrazione delle barrier island lungo la costa atlantica degli Stati Uniti a seguito della trasgressione olocenica (Stapor *et al.*, 1991). Un processo simile è avvenuto molto probabilmente anche in diversi tratti della costa italiana, dove molti spit devono forse essere interpretati proprio come barrier island. Il processo prevalente, associato all'innalzamento del livello marino, sembra comunque essere proprio quello opposto, con la migrazioni di sedimenti verso il largo ed il conseguente ristabilirsi delle profondità originali (Bruun, 1962).

Processi simili sono innescati anche dalla subsidenza che, in molti casi, può essere una delle cause principali dell'arretramento della linea di riva (Bartolini *et al.*, 1988).

La più importante voce in uscita è comunque dovuta allo spostamento dei materiali verso la piattaforma.

Ad eccezione di quei tratti di costa in cui importanti canyon sottomarini giungono in prossimità della riva, l'elevata correlazione inversa esistente fra profondità e diametro medio dei sedimenti dimostra che questo trasferimento avviene solo dopo che l'abrasione dei granuli ha avuto modo di agire intensamente, processo non così rapido come le energie in gioco sulle spiagge farebbero supporre (Brambati & Fontolan, 1992).

L'entità di questa voce è comunque incontrollabile, sia che si tenti un approccio teorico che uno sperimentale. Tutti gli autori che hanno trattato il problema delle variazioni del

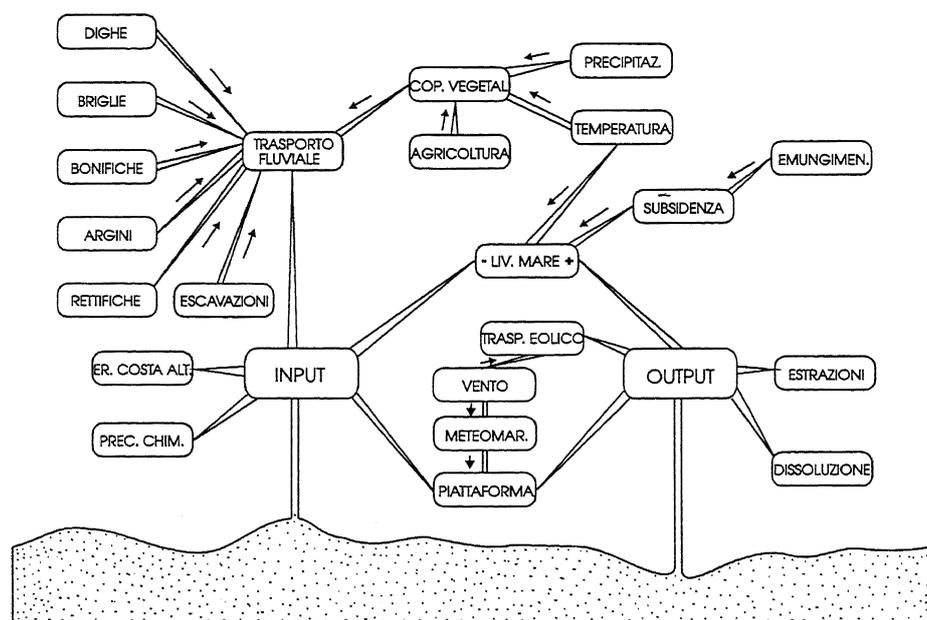


Fig. 2 - Le principali voci in entrata ed in uscita nel bilancio sedimentario di una spiaggia ed i fattori che le controllano. Le linee convergenti e divergenti indicano che il fattore tende a fare diminuire o aumentare l'entità del processo. Ove compaiono linee parallele l'effetto non è univoco. Le frecce indicano il senso di flusso fra i fattori e gli elementi del bilancio.

*Credits and debits in a beach sediment budget and its controlling factors. Converging and diverging lines indicate that the considered factor reduces and increases, respectively, the process consistency. Where lines are parallel the factor effect is not univocal.*

bilancio sedimentario delle spiagge non hanno potuto fare a meno di considerarla costante.

In questa elencazione non vengono presi in considerazione i volumi trasportati dal moto ondoso lungo costa, in quanto facciamo convenzionalmente riferimento ad una unità fisiografica che, per definizione, non prevede trasferimento di energia, e quindi di materiali, con unità limitrofe (Mason, 1950). E' però evidente che un bilancio di un singolo tratto di litorale deve tenere conto anche di questi movimenti.

In alcune aree è rilevante anche il trasporto eolico, che può esercitarsi sia verso l'entroterra che verso il mare aperto (Sherman & Hotta, 1990).

A queste voci naturali si sono aggiunti, negli ultimi anni, *input* e *output* "antropici" effettuati direttamente sulla spiaggia con il prelievo di sabbia o con il ripascimento artificiale.

## 2.2 I fattori al contorno

Le singole voci del bilancio sedimentario sono ovviamente influenzate da fattori "al contorno" che, variando in modo indipendente, ne determinano il segno ed il valore.

L'*input* fluviale, in particolare, è condizionato da numerosi fattori; alcuni di essi hanno un effetto ben definito, altri sono di più difficile interpretazione.

Il fattore principale è costituito dalla copertura vegetale dato che questa condiziona, a parità di situazioni geologiche e morfologiche (invarianti nei tempi qui considerati), i tassi di erodibilità dei suoli. La copertura vegetale è oggi direttamente condizionata dalle attività antropiche, sia nella sua estensione e nella sua tipologia che nei suoi ritmi stagionali e nelle tecniche colturali che essa richiede.

Esistono però anche controlli naturali non trascurabili, quali la quantità e il regime delle precipitazioni e le condizioni termiche.

Un aumento delle precipitazioni si dovrebbe tradurre in una maggiore copertura vegetale e, quindi, in minore apporto solido fluviale. Ciò è però contrastato dall'incremento delle capacità erosive della pioggia e dalle maggiori capacità di trasporto dei corsi d'acqua. In un ambiente come quello mediterraneo, in cui sono presenti spesso condizioni al limite fra una copertura vegetale continua ed una discontinua, non è semplice stabilire se un incremento delle precipitazioni si traduca automaticamente in un maggiore apporto fluviale. E' probabile che alcune divergenze che emergono nella risposta delle spiagge alle variazioni climatiche oloceniche, derivino proprio da queste condizioni particolari.

Anche per quanto riguarda le variazioni termiche il discorso è assai complesso: un innalzamento della temperatura dovrebbe portare ad una riduzione della copertura vegetale almeno nelle zone costiere meridionali, ma anche ad un innalzamento del limite altimetrico del bosco e ad una riduzione dei tassi di erosione nelle parti alte dei bacini, dove, fra l'altro, l'energia del rilievo è maggiore. Anche questo può causare sfasamenti nell'evoluzione costiera di aree diverse.

L'innalzamento della temperatura globale entra poi come fattore determinante nella variazione del livello marino, divenendo una causa indiretta di *deficit* sedimentario.

Gli altri fattori che influenzano l'*input* fluviale sono tutti direttamente legati all'attività antropica, come le escavazioni di inerti dagli alvei fluviali, la costruzione di dighe e di briglie e la realizzazione di bonifiche per colmata.

Se questi sono gli interventi più facilmente identificabili come cause della riduzione dell'*input* sedimentario, non bisogna dimenticare i "micro"-provvedimenti volti alla conservazione del suolo che, se diffusamente adottati, possono sortire un effetto comparabile a quello prodotto dalle grandi opere.

Relativamente ai corsi d'acqua, altri interventi dell'uomo, attuati già in periodo romano, determinano, al contrario, un aumento dell'*input* sedimentario, come l'arginatura degli alvei e la rettificazione delle anse.

## 3. Le variazioni del bilancio in epoca storica

In epoca storica tutti i fattori che concorrono alla definizione delle varie voci del bilancio sedimentario dei nostri litorali hanno subito variazioni, in un senso o nell'altro, più o meno rilevanti. Ciò ha determinato una notevole instabilità delle linee di riva, in particolare in prossimità delle foci fluviali dove la variazione dell'entità di alcune voci (in particolare

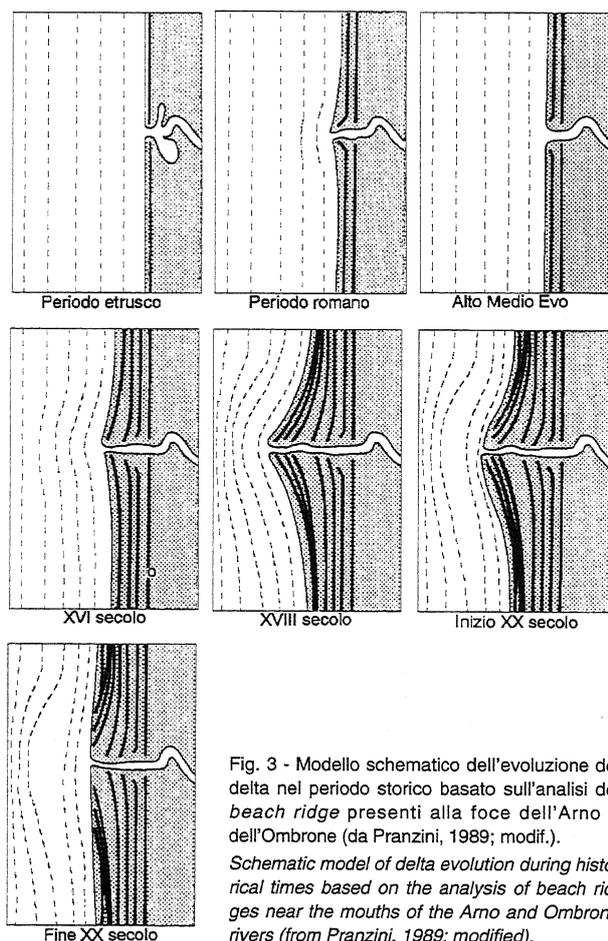


Fig. 3 - Modello schematico dell'evoluzione dei delta nel periodo storico basato sull'analisi dei *beach ridge* presenti alla foce dell'Arno e dell'Ombrone (da Pranzini, 1989; modif.).  
Schematic model of delta evolution during historical times based on the analysis of *beach ridges* near the mouths of the Arno and Ombrone rivers (from Pranzini, 1989; modified).

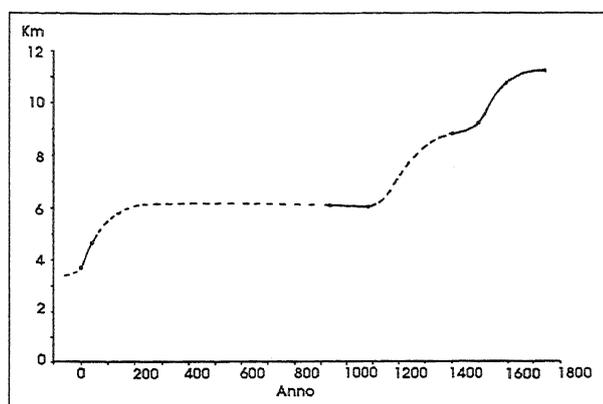


Fig. 4 - Distanza della foce dell'Arno da Pisa durante la fase di accrescimento del delta quale risulta da fonti storiche. E' evidente la flessione nel tasso di crescita del XV secolo dovuta, probabilmente, alla riduzione della popolazione conseguente alla diffusione della peste nera (da Pranzini, 1989; modif.).

*Distance of the Arno River mouth from Pisa during the delta progradation phase as evinced from historical records. Note the decrease in accretion rate during the 15th Century, probably consequent to a decrease in population owing to the Black Death diffusion (from Pranzini, 1989; modified).*

riduzione dell'erosione superficiale (Smith, 1986).

I Romani, successivamente, realizzarono l'arginatura delle parti finali dei corsi d'acqua, o forse rinforzarono solamente gli argini naturali; fatto sta che si ridusse l'alluvionamento delle pianure ed aumentò l'*input* fluviale alle foci.

Un processo analogo è avvenuto, in alcuni casi, anche in tempi recentissimi, come dimostrato da Chiaravalli *et al.* (1990): l'arginatura dei corsi d'acqua della piana di Gioia Tauro ha portato alla formazione di delta che sono poi entrati rapidamente in erosione a seguito dell'escavazione di inerti dall'alveo e alla sistemazione idraulico-forestale dei bacini. In meno di un secolo si è qui concentrato un processo durato, in altre zone, 2.000 anni.

E' comunque nel periodo imperiale che si sviluppano le prime vere cuspidi deltizie riconosciute alla foce dell'Arno (Marinelli, 1926) e dell'Ombrone (Mori, 1935) (Fig. 3b).

Nell'Alto Medio Evo si ebbe un calo della popolazione rurale e la ricrescita della macchia in vaste aree; inoltre, anche le opere idrauliche furono abbandonate e gli argini dei fiumi nel loro tratto terminale, in aree subsidenti, dovettero perdere rapidamente la loro efficienza. Come conseguenza di ciò, si ha l'erosione dell'apice della prima cuspidi romana (Pranzini, 1989) (Fig. 3c).

Questa fase di ridotto apporto fluviale non trova riscontro in dati relativi alla pianura padana dove sembra che si verifichi, in questo periodo, un intenso alluvionamento (Ortolani, comm. pers.). Le mutate condizioni climatiche dell'Alto Medio Evo, caratterizzate, sembra, da precipitazioni maggiori del periodo precedente, potrebbero forse essere chiamate in causa per spiegare queste divergenze. In alcune zone il fattore clima potrebbe essere stato prevalente su quello antropico; il primo, con precipitazioni maggiori, avrebbe portato ad un aumento dell'erosione del suolo e del trasporto fluviale, il secondo, con l'abbandono di aree agricole, avrebbe agito in senso inverso.

Verso la fine del primo millennio la popolazione riprende ad aumentare ed i delta segnano una nuova fase di rapida progressione (Fig. 3d), che risulta interrotta solo verso la metà del XV secolo (Fig. 4), quando la peste nera dimezzò la popolazione dell'Italia centrale (Pinto, 1982).

Nel XVI secolo, comunque, i delta mostrano uno sviluppo assai maggiore di quello che avevano durante il periodo romano, con una progradazione della linea di riva di diverse centinaia di metri.

Una stima del volume dei sedimenti che costituiscono l'apparato deltizio dell'Ombrone mostra che l'*input* fluviale era, in questo periodo, di quasi un ordine di grandezza superiore a quello attuale (Pranzini, 1991).

E' significativo il fatto che proprio in questo periodo (XIII sec.) il delta del Po cambia configurazione (Marinelli, 1926) passando da *wave-dominated* a *river-dominated* (secondo la classificazione di Wright & Coleman, 1973).

Ma la crescita più rapida è quella che si verificò dopo il XVII secolo, in conseguenza della liberalizzazione del taglio dei boschi. Inizia in questo periodo lo sviluppo di quelle pronunciate cuspidi deltizie rappresentate ancora nella cartografia di fine ottocento (Fig. 3e).

Anche negli ultimi secoli, come nel periodo romano, furono rinforzati gli argini fluviali per impedire le alluvioni, determinando così un nuovo aumento delle capacità di trasporto fluviale. Inoltre, vennero effettuati tagli di meandri che sortirono il medesimo effetto. In questa fase l'*input* sedimentario dell'Ombrone doveva essere di circa quattro volte il valore medio stimato per gli ultimi duemila anni.

Come abbiamo visto, è dalla metà del secolo scorso che il trend evolutivo di queste aree si è invertito. L'erosione è iniziata sull'apice dei delta e si è progressivamente estesa alle zone laterali (Pranzini, 1989). Queste inizialmente proseguivano la loro progradazione grazie all'afflusso di sedimenti dalla zone in erosione, nonostante che il bilancio complessivo delle unità fisiografiche

*input* fluviale e subsidenza) si è fatta sentire maggiormente.

L'analisi dell'evoluzione degli apparati deltizi dell'Arno e del Ombrone (affiancata da confronti derivanti da altri delta come quello del Tevere, del Po, del Volturno e di altri corsi d'acqua minori) ha permesso di riconoscere fasi di accrescimento e di arretramento delle foci fluviali (Fig. 3). La lettura di queste variazioni, nell'ipotesi che non sia mutata in modo significativo la quantità di materiali dispersi sulla piattaforma, consente di ricostruire la storia degli *input* fluviali e di ricondurla alla storia dell'uso del suolo in Italia.

Già Marinelli, nel 1926, aveva messo in evidenza che i delta italiani si sono formati non più di 2.500 - 3.000 anni fa. Prima di una intensa utilizzazione del suolo da parte dell'uomo l'*input* fluviale non era evidentemente sufficiente per creare apparati deltizi. Ciò nonostante che si fosse ormai da tempo raggiunta una relativa stabilità nel livello del mare.

Il primo incremento significativo nell'*input* sedimentario si ebbe nel periodo etrusco, quando cominciarono a colmarsi le lagune costiere formatesi nelle fasi finali della trasgressione olocenica (Fig. 3a). Ciò fu certamente dovuto alla forte erosione del suolo conseguente ai primi estesi disboscamenti; non a caso già gli Etruschi dovettero attuare degli interventi tesi proprio alla

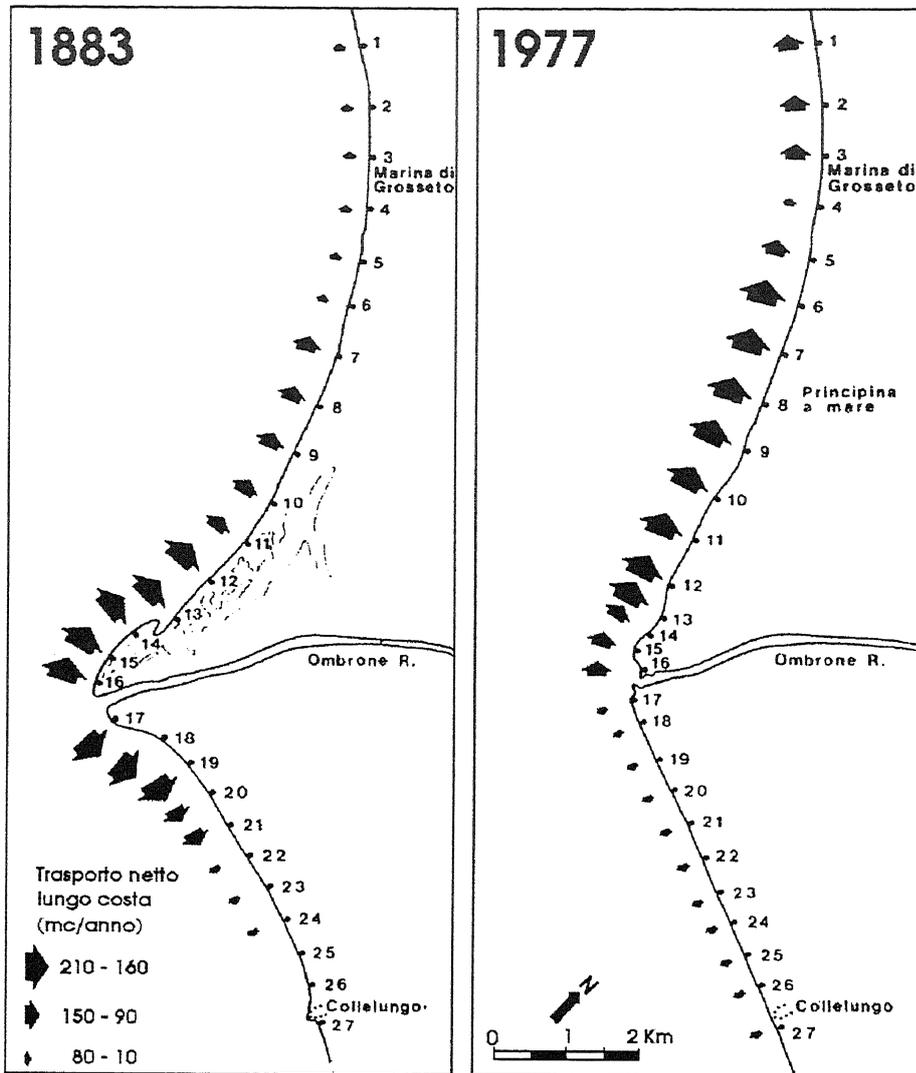


Fig. 5 - Trasporto netto lungo costa calcolato per il litorale del delta dell'Ombrone sulla base dei rilievi batimetrici del 1883 e del 1977 (da: Aminti & Pranzini, 1990; modif.).

*Longshore sediment transport rate at the Ombrone River delta as computed on the basis of its morphology in the years 1883 and 1977.*

le loro ottimistiche previsioni. Le errate stime della portata solida e la subsidenza delle aree oggetto di bonifica sono forse le cause di tali insuccessi. Fatto sta che bonifiche della durata prevista di qualche decennio proseguirono, pur in modo non continuativo, per più di un secolo.

Una volta concluse le bonifiche, l'*input* fluviale non poté riassumere i valori originari poiché cominciavano a farsi sentire in modo sempre più pesante gli altri interventi effettuati sulle aste fluviali e all'interno dei bacini idrografici.

E' evidente che delta assai protesi in mare, quali quelli ottocenteschi, potevano rimanere in equilibrio con le elevate energie del moto ondoso solo grazie ad un imponente *input* sedimentario. Quando questo si è ridotto, l'arretramento dei delta è stato immediato.

L'erosione non ha interessato solamente la spiaggia emersa, ma anche i fondali fino al livello di base delle onde (Bartolini & Pranzini, 1984). Volumi enormi di materiali hanno continuato ad alimentare il trasporto lungo costa, e subordinatamente verso la piattaforma, anche quando l'*input* fluviale si era ormai drasticamente ridotto. Ciò ha garantito la progradazione di molte spiagge che dovevano la loro fortuna proprio all'erosione che demoliva le spiagge vicine. Quando queste non sono state più in grado di fornire sufficienti quantità di sedimenti, perché ormai non più protese in mare o perché protette con difese costiere, l'erosione ha colpito immediatamente spiagge fino a poco prima in rapida progradazione (Pranzini, 1983).

La diversa configurazione della costa ha inoltre determinato un differente *pattern* di diffrazione delle onde, spostando parte dell'energia dalla zona apicale a quelle laterali (Amini & Pranzini, 1990) (Fig. 5); ciò ha accelerato i processi erosivi.

In questo quadro si inserisce l'innalzamento relativo del livello del mare. Ad un valore piuttosto modesto (circa 1 mm/anno) dovuto alla componente eustatica (Pirazzoli, 1896), che interessa tutti i litorali, si deve spesso sommare un valore assai più elevato dovuto alla subsidenza. Questa è particolarmente forte nelle pianure costiere, sia per il costipamento dei sedimenti di recente deposizione,

fosse ormai deficitario.

Fra le cause principali della riduzione dell'*input* sedimentario delle spiagge italiane vengono generalmente citate le estrazioni di inerti dagli alvei [vedi ad es., Bondesan & Dal Cin (1975) per il Po; Bartolini *et al.* (1982) per il Cecina; e Cocco *et al.* (1978) per i fiumi che insistono sul Mar Ionio], le riforestazioni collinari e montane e la costruzione di briglie e di invasi artificiali (Bartolini & Pranzini, 1979).

Ma l'erosione dei litorali, in alcuni casi, è iniziata assai prima che questi interventi fossero attuati in modo indiscriminato nel nostro Paese. Nella seconda metà dell'800 le uniche opere pubbliche di sistemazione territoriale di una qualche importanza erano costituite dalle bonifiche per colmata delle paludi costiere. Queste sono le prime responsabili di quell'inversione di tendenza nell'evoluzione dei litorali a cui è già stato fatto cenno. Per decenni la gran parte del carico solido di alcuni corsi d'acqua venne deviata all'interno delle casse di colmata, fra l'altro con scarsa soddisfazione degli ingegneri che vedevano disattese tutte

che per l'emungimento di acqua dalle falde. Questa subsidenza ha sempre costituito una voce passiva, seppur marginale, nel bilancio sedimentario, dato che facilitava l'alluvionamento delle pianure. A seguito dei forti emungimenti il problema si è aggravato, non tanto perché i fiumi potessero più facilmente depositare i loro sedimenti nelle pianure, dato che ormai erano completamente arginati, quanto per il riflesso a mare messo in evidenza da Bruun (1962).<sup>1</sup>

E' stato infatti accertato che una variazione del livello marino determina un'erosione della spiaggia, non solo dovuta all'aumento della sezione bagnata, ma anche ed ancor più alla migrazione di materiali verso il largo dove la profondità del fondale deve essere mantenuta.

Questi aspetti sono stati inizialmente sottovalutati dato che all'interno dei bacini idrografici avvenivano quei mutamenti assai più rilevanti nella riduzione dell'*input* sedimentario a cui abbiamo già fatto cenno (riforestazioni, costruzione di invasi e di briglie ed escavazioni in alveo).

Anche se queste sono certamente le cause principali della diffusa erosione delle nostre coste, via via che gli studi procedono il problema dell'innalzamento del livello marino riceve una attenzione maggiore da parte dei ricercatori.

Anche altri aspetti, quali le variazioni delle condizioni meteomarine, che possono avere determinato una minore o maggiore dispersione dei sedimenti lungo riva e verso la piattaforma, hanno attratto solo occasionalmente l'attenzione dei ricercatori. Stanno al contrario emergendo informazioni, per il momento puntuali, relative a periodi di condizioni meteomarine avverse che possono aver determinato eventi erosivi pur all'interno di fasi di generale progradazione. Uno, particolarmente intenso, da collocarsi verso la metà del XVIII secolo, potrebbe essere il responsabile dell'erosione di un cordone di età settecentesca nel delta dell'Ombrone (Innocenti & Pranzini, 1993) e del crollo di alcune torri cosiere in Liguria (Berriolo, com. pers.).

Per i tempi più recenti, per i quali sono disponibili serie accurate di misure anemometriche, sono state accertate variazioni nelle frequenze di provenienza dei venti dai vari settori di traversia. Alla luce di ciò sono state spiegate alcune inversioni di tendenza nell'evoluzione litoranea (D'Alessandro *et al.*, 1992), anche se implicate sono state in generale variazioni dell'energia di trasporto lungo costa nei due sensi (Bartolini *et al.*, 1977) e non una maggiore dispersione di sedimenti verso la piattaforma, processo che costituisce un effettivo *deficit* sedimentario di una unità fisiografica.

Anche le più ampie oscillazioni climatiche oloceniche devono essere attentamente riconsiderate, cercando di separare aspetti diversi pur legati allo stesso fenomeno.

E', ad esempio, probabile che la forte crescita dei delta verificatasi fra il XVI e il XVIII secolo, quindi durante la Piccola Era Glaciale, e dovuta prevalentemente allo sviluppo demografico ed economico, abbia una componente "climatica" più nell'aumento del taglio dei boschi, conseguente alle accresciute necessità energetiche, che in un aumento dell'efficacia delle precipitazioni.

Infatti, in un'area con copertura vegetale continua anche un significativo incremento delle precipitazioni non porta ad un altrettanto significativo aumento dei tassi di erosione del suolo. Al contrario, l'asportazione del manto forestale e la messa a coltura delle superfici determina un incremento dell'erosione tale che, anche se le aree coinvolte sono limitate, la produzione di sedimenti nel bacino aumenta significativamente.

Tutti questi aspetti devono essere comunque chiariti poiché sembrano esistere sostanziali differenze fra l'Italia centro-settentrionale e l'Italia meridionale dove, in questo periodo, si ha, nonostante il notevole abbandono delle campagne, una fase di forte erosione del suolo (Boenzi, com. pers.).

### 3. Conclusioni

Lo studio dell'evoluzione delle linee di riva in corrispondenza dei delta fluviali non solo consente la comprensione dei processi in atto lungo costa, ma permette anche l'estrapolazione di dati relativi all'*input* sedimentario in tempi passati. Questo appare correlabile con la copertura vegetale dei bacini idrografici in epoca storica, dato difficilmente ottenibili in modo diretto.

Certo è che il quadro locale che si delinea per l'Italia centrale non sempre è sincrono con quello dell'Italia settentrionale e meridionale, ma i processi, le cause e le modalità con cui i fenomeni di espansione ed erosione dei litorali si esplicano sono simili.

Si tratta ora di correlare le varie fasi in un quadro più ampio che consentirà forse di valutare meglio i singoli aspetti del problema.

### Bibliografia

- AA. VV., 1981 - *Atlante delle spiagge italiane*. CNR-SEICa, Firenze.
- Aminti P.L. & Pranzini E., 1990 - *Variations in longshore sediment transport rates as a consequence of beach erosion in a cusped delta*. Littoral 1990, 130-134, EUROCOAST. Marsiglia, Luglio 1990, p.130-134.
- Bartolini C., Berriolo G. & Pranzini E., 1982 - *Il riassetto del litorale di Cecina*. Porti Mare Territorio, 4, 79-87.
- Bartolini C., Corda L., D'Alessandro L., La Monica G.B. & Regini E., 1977 - *Studi di geomorfologia costiera: III - Il Tombolo di Feniglia*. Boll. Soc. Geol. It., 96, 117-157.
- Bartolini C., Palla B. & Pranzini E., 1988 - *Studi di geomorfologia costiera: XII - L'influenza della subsidenza nell'erosione della costa della pianura di Piombino (Toscana meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It., 108, 635-647.
- Bartolini C. & Pranzini E., 1979 - *Le alterazioni del bilancio sedimentario dei litorali italiani*. Incontro delle Unità di ricerca toscane con

- gli Enti utilizzatori sui temi concernenti la potenzialità e utilizzazione dei suoli, l'erosione dei versanti, le frane, la dinamica fluviale e la dinamica dei versanti. CNR - Regione Toscana, p. A1-A7.
- Bartolini C. & Pranzini E., 1984 - *Fan delta erosion in southern Tuscany as evaluated from hydrographic surveys of 1883 and the late '70*. *Marine Geol.*, **62**, 181-187.
- Bondesan M. & Dal Cin R., 1975 - *Rapporti fra erosione lungo i litorali emiliano-romagnoli e del delta del Po e attività estrattiva negli alvei fluviali*. In: *Cave e assetto del territorio*. Italia Nostra - Regione Emilia-Romagna, p. 127-137.
- Brambati A. & Fontolan G., 1992 - *Abrasion of beach sands: a laboratory model for Northern Adriatic sea beaches*. *Boll. Oceanol. Teor. e Appl.*, **X**, 2/4, 307-324.
- Bruun P., 1962 - *Sea level rise as a cause of shore erosion*. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng., J. Waterways Harbors Div.*, **88**, 117-130.
- Chiaravalli F., Dotti D., La Monica G.B. & Landini B., 1990 - *Tendenza evolutiva e bilancio sedimentario del litorale calabro compreso tra Gioia Tauro (RC) e Nicotera Marina (CZ)*. *Geologia tecnica*, **4**, 5-13.
- Cocco E., De Magistris M.A., De Pippo T., 1978 - *Studi sulle cause dell'arretramento della Costa Lucana: I - L'estrazione degli inerti lungo le aste fluviali*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **19**, 369-376.
- D'alessandro L., Davoli L., Lupia Palmieri E., Raffi R., 1992 - *Recent dynamics of the Tyrrhenian beaches of Calabria (Southern Italy)*. *Boll. Oceanol. Toer. e Appl.*, **X**, 2/4, 187-195.
- Dean R.G., 1897 - *Additional Sediment Input to the Nearshore Region*. *Shore & Beach*, **55**, 3/4, 76-81.
- Innocenti L. & Pranzini E., 1993 - *Geomorphological evolution and sedimentology of the Ombrone River delta (Italy)*. *J. Coastal Res.*, **9**, 481-493.
- Marinelli O., 1926 - *Sull'età dei delta italiani*. *La Geografia*, **1/2**, 21-29.
- Mason M.A., 1950 - *Geology in shore-control problems*. In: *Applied Sedimentation*, John Wiley & Sons, p. 276-290.
- Mazzanti R. & Pasquinucci M., 1985 - *Le fonti "storiche" nello studio delle aree costiere*. In *"La gestione delle aree costiere"* (a cura di E. Pranzini). Ediz. delle Autonomie, Roma, p. 172-192.
- Mori A., 1935 - *L'evoluzione della costa grossetana dal Pliocene ad oggi*. *Ann. 1932-1935 Regio Liceo di Grosseto*, 78 pp.
- Pirazzoli P.A., 1986 - *Secular trends of relative sea-level changes indicated by tide-gauge records*. *J. Coastal Res.*, *Sp. Issue*, **1**, 1-26.
- Pinto G., 1982 - *La Toscana nel tardo medioevo*. Sansoni ed., Firenze. 502 pp.
- Pranzini E., 1983 - *Studi di geomorfologia costiera: X - L'erosione del delta dell'Arno*. *Quad. Mus.St. Nat. Livorno*, **4**, 7-18.
- Pranzini E., 1989 - *A model for cusped river delta erosion*. 6th Symp. on Coastal and Ocean Management/ASCE. Charleston, SC. *Coastal Zone '89*, 4345-4357.
- Pranzini E., 1991 - *Geomorfologia del delta del Fiume Ombrone*. Regione Toscana, Piano di bacino del Fiume Ombrone: Studi preliminari. 97 pp. . Sherman D.J. & Hotta S., 1990 - *Aeolian sediment transport: theory and measurement*. In: *"Coastal Dunes Form and Process"* (K.F. Nordstrom, N.P. Psuty e W.G. Carter Eds. ), John Wiley & Sons Ltd., 17-37.
- Smith C.T., 1986 - *Geografia storica d'Europa*. Laterza, Bari, 769 pp.
- Stapor F.W., Mathews T.D. & Lindfors-Kearns F.E., 1991 - *Barrier Island Progradation and Holocene Sea-Level History in Southwest Florida*. *J. Coastal Research*, **3**, 815-838.
- Sunamura T., 1992 - *Geomorphology of Rocky Coasts*. John Wiley & Sons, 302 pp.
- Wright L.D. E Coleman J.M., 1973 - *Variations in Morphology of Major River Deltas as Function of Ocean Wave and River Discharge Regimes*. *Am. Ass. Petrol. Geol.*, **2**, 370-398.

Testo ricevuto il 10. 12. 1993