

RIDUZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO FLUVIALE E MODIFICAZIONI DELLA LINEA DI RIVA TRA LE FOCI DEL VOMANO E DEL PESCARA: TREND STORICO RECENTE

Carlo Manzo
ARPA Piemonte
e mail: c.manzo@arpa.piemonte.it

Riassunto: Manzo C.: *Riduzione del trasporto solido fluviale e modificazioni della linea di riva tra le foci del Vomano e del Pescara: trend storico recente* (IT ISSN 0394-3356, 2008).

Principale obiettivo del presente lavoro è l'analisi dell'evoluzione storica recente della linea di costa compresa tra le foci del fiume Vomano e del fiume Pescara (Abruzzo - medio Adriatico), focalizzandone i nessi con l'apporto solido fluviale.

Come già evidenziato da diversi AA. l'erosione costiera nella zona del medio Adriatico ha interessato soprattutto le zone prospicienti alle foci fluviali a causa del deficit sedimentario determinato in gran parte dall'impatto delle attività umane nei bacini idrografici. Il presente studio in effetti conferma questo quadro, mettendo in rilievo il potenziale contributo del clima ed in particolare delle variazioni del regime pluviometrico. Tralasciando una dettagliata caratterizzazione di alcuni aspetti pure importanti negli studi di dinamica costiera, quali il clima di moto ondoso, la batimetria e le proprietà fisico-sedimentologiche della spiaggia, l'attenzione è stata focalizzata sulle informazioni che si possono trarre dall'andamento planimetrico delle linee di riva successive.

È stata ricostruita una serie storica delle linee di riva che copre all'incirca gli ultimi 200 anni, attraverso la georeferenziazione di mappe storiche e foto aeree. La serie storica ottenuta è stata utilizzata per avere una stima dell'andamento del bilancio sedimentario netto, moltiplicando il tasso di variazione dell'area costiera per lo spessore di spiaggia interessata da movimento sedimentario significativo.

I risultati mostrano come nel corso dell'800 la linea di riva fosse inizialmente piuttosto rettilinea, successivamente con tendenza all'aumento della prominenza delle foci fluviali, con una netta tendenza all'avanzamento ed un elevato bilancio sedimentario positivo.

Tale tendenza cambia agli inizi del '900, parallelamente ad una pressione crescente delle attività umane nei bacini idrografici: il bilancio sedimentario netto era circa nullo tra il 1920 ed il 1940 e diviene negativo, con trend piuttosto costante, a partire dagli anni '40. In questa ultima fase, che si protrae fino ad oggi, si rileva una marcata tendenza all'arretramento nelle zone di delta.

Per quest'ultimo periodo è stato implementato un modello matematico semplificato "ad una linea", con lo scopo di identificare il comportamento generale della dinamica costiera con particolare riferimento ai termini di ingresso sedimentario attraverso il trasporto solido fluviale e alle perdite verso il largo.

Il modello utilizzato si basa su una soluzione alle differenze finite dell'equazione di diffusività alle derivate parziali, che descrive le variazioni della linea di riva nel tempo.

È stato effettuata un'analisi inversa al fine di tarare il modello sulla base del bilancio sedimentario e delle posizioni successive delle linee di costa ricostruite.

Sotto l'ipotesi di un bilancio sedimentario costante il modello rileva che con buona probabilità l'arretramento della linea di costa, che finora ha interessato principalmente le zone deltizie, tenderà a propagarsi progressivamente verso le zone interdeltizie.

Nonostante il modello utilizzato non sia completamente realistico, può essere considerato un giusto compromesso in grado di riprodurre a grandi linee la realtà fisica del fenomeno, costituisce una base di partenza per ulteriori studi ed osservazioni e per testare criticamente le ipotesi inizialmente fatte. I risultati ottenuti sono parzialmente osservabili e mettono in rilievo un modello concettuale che, anche potendo essere ulteriormente affinato, costituisce un contributo alla comprensione della dinamica costiera di quest'area, strettamente correlata al trasporto solido fluviale.

Abstract: Manzo C.: Reduction of river sediment transport and shoreline modifications between vomano and pescara river mouths: late historical trend (IT ISSN 0394-3356, 2008).

The main purpose of the study is the coastline evolution analysis of the stretch situated between Vomano and Pescara river outlets (middle Adriatic Sea, Abruzzo, Italy), focusing on the relationships between river sediment transport and coastline evolution.

Many Authors suggest that erosion in the middle Adriatic area mainly took place on the river deltas as an effect of sedimentary deficit due to human activities in the river basins. The present work confirm such a description, highlighting the relationships of coastal evolution both to social-economic aspects (impact of human activities in the river basins) and to climate (variability of annual rainfall). Leaving out a detailed characterizations of some important factors conditioning coastal dynamics, such as wave motion, bathymetry and physical-sedimentological properties of the beach, the study is focused on the planform analysis of subsequent coastlines shapes and positions.

Historical maps and aerial photographs covering the last two centuries were georeferenced with the aim to reconstruct a time series of multiple shoreline positions. Therefore the course of sedimentary budget was obtained multiplying the rate of coastal area variation by the depth of appreciable sand movement.

In the first part of XIX century the coastline appeared quite rectified with small delta cusps protrusion. The second half of the XIX century reveals high delta protrusion and high sedimentary budgets. This trend became to change at the beginnings of XX century with the increment of human activities in the river basins: the sedimentary budget was about zero from 1920 till 1940 and it tends to become quite constant negative beginning from 1940, with strong erosion of river deltas.

Such long-term trend allowed to implement a simplified one-line model, with the aim to identify a general coastal behaviour related to river inputs and seaward sedimentary losses. The model used is based on a finite differences solution of the diffusivity differential equation, describing the shoreline variations vs. time.

A back analysis was made in order to get the best fitting of the phenomenon, using the sedimentary balance and the time series of multiple shoreline positions as the input calibrating information. Assuming that the rate of sedimentary balance will remain constant, the future scenario predicted by the model reveal that erosion will tend to involve more and more sectors progressively. Even if such simplified model is not completely realistic, it seems to be a successful balance between realism and practicality, it can direct further studies and observations and help to critically test hypothesis. Actually the results are partially observable.

Such results show a conceptual model which should lead to further studies, though it can be considered a contribution to the comprehension of behaviour of this coastal tract, whose dynamics are strongly related to river sediment transport.

Parole chiave: Linea di riva, erosione, tendenza evolutiva, bilancio sedimentario, trasporto solido fluviale, Vomano, Pescara, Saline, Italia
Keywords: Shoreline, erosion, trend, sedimentary budget, river sediment transport, Vomano, Pescara, Saline, Italy

1. INTRODUZIONE

Il tratto costiero oggetto del presente lavoro, posto tra le foci dei fiumi Vomano e Pescara, così come gran parte del settore costiero italiano adriatico, è interessato da una tendenza all'arretramento in presenza di zone densamente urbanizzate. In quest'area la presenza di spiagge ampie e sabbiose costituisce una risorsa preziosa per il settore turistico e per la protezione degli insediamenti retrostanti.

Nel danno economico dovuto al processo erosivo è stata determinante la non corretta gestione del territorio: una forte urbanizzazione ha avuto luogo senza tenere in debita considerazione la forte dinamicità dei processi morfogenetici fluvio-costieri.

Gli sforzi fatti dalle amministrazioni locali per contrastare il fenomeno si sono basati principalmente nella realizzazione di scogliere emerse parallele alla costa che, nonostante la loro efficacia nel contrastare l'erosione a livello localizzato, hanno fortemente deteriorato il paesaggio e le caratteristiche qualitative del sedimento e delle acque in prossimità della riva.

La ricostruzione dell'evoluzione storica recente della linea di costa permette di ricavare importanti informazioni riguardo il bilancio sedimentario e l'apporto solido fluviale che ne rappresenta il termine positivo principale, ma anche sull'efficacia delle azioni di mitigazione del fenomeno erosivo che si sono succedute nel tempo.

2. CONTESTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

La fascia costiera abruzzese è costituita da una sottile area pianeggiante delimitata dai retrostanti rilievi collinari prevalentemente argillosi plio-pleistocenici e formatasi nella fase finale della trasgressione Flandriana (Olocene), attraverso la progradazione degli apparati di foce e degli ambienti deposizionali costieri a questi strettamente connessi (Fig.1). La redistribuzione del trasporto solido fluviale attraverso il trasporto litoraneo lungo-costa ha portato alla formazione di cordoni sabbiosi e aree palustri retrostanti, su cui successivamente sono sorte estese aree urbanizzate.

L'area in oggetto è delimitata a nord dall'apparato di foce del fiume Vomano e a sud dalla foce del Pescara, su cui sorge l'omonimo porto-canale. L'apporto sedimentario è principalmente derivante dai maggiori corsi d'acqua afferenti (fiumi Vomano, Saline, e Pescara) i cui bacini idrografici drenano, nella zona interna, formazioni affioranti di tipo carbonatico (piattaforma carbonatica laziale-abruzzese), mentre nella parte media e finale incidono principalmente terreni sabbiosi ed argillosi (depositi terrigeni dell'Avanfossa Peri-adriatica). Vi sono inoltre bacini idrografici minori che drenano i rilievi collinari, in particolare quello del torrente Calvano, che sfocia presso l'abitato di Pineto, quello del torrente Cerrano, e quello del Piomba, la cui foce è posta poche centinaia di metri a nord della foce del Saline.

2.1 Caratteristiche geomorfologiche e sedimentarie del tratto costiero

Il tratto costiero è caratterizzato prevalentemente da un'ampia spiaggia di sabbia fine-finissima. Fanno eccezione le zone di foce del Vomano e del Saline, presso cui la spiaggia si presenta sottile e prevalentemente ghiaioso-ciottolosa. In questi ultimi tratti sono presenti forme tipiche associate all'azione erosiva del moto ondoso quali gradini erosivi, berme ghiaiose ad elevata pendenza ed affioramenti di limi coesivi di retrospiaggia (Figura 5).

La linea di costa è piuttosto rettilinea con le uniche blande irregolarità costituite dagli apparati di foce e dal piccolo promontorio su cui sorge la Torre di Cerrano, dove per un breve tratto la fascia pianeggiante scompare del tutto e le argille plio-pleistoceniche affiorano in prossimità della spiaggia.

In base alla situazione descritta è possibile distinguere due differenti sub-unità fisiografiche (di seguito indicate come unità fisiografiche): una a nord, delimitata dalle foci del Vomano e del Saline, ed una a sud, compresa tra la foce del Saline ed il porto di Pescara. Il moto ondoso assume una direzione regnante da S/SE ed una direzione secondaria da N/NE: si hanno quindi due componenti opposte del flusso energetico longitudinale del moto ondoso. Questo fa sì che le blande prominenze deltizie siano determinanti nell'influenzare la deriva sedimentaria longitudinale netta (fig. 1).

Delle due unità fisiografiche quella posta a sud ha caratteristiche di più alto grado di antropizzazione, essendo compresa in un contesto urbano ed interamente protetta da barriere emerse distaccate realizzate a partire dagli anni '70 - '80. Questo tratto presenta una spiaggia generalmente molto ampia (con punte massime di circa 200 m in corrispondenza della zona nord di Pescara) le cui caratteristiche paiono però alterate dal forte grado di protezione.

Nella zona meno antropizzata, nell'unità fisiografica nord, si riscontrano alcune differenze di tipo morfologico tra i tratti posti in prossimità delle foci e quelli inter-foce. Questi ultimi presentano pendenze della spiaggia sommersa molto blande con 3-4 ordini di barre sabbiose, e una spiaggia emersa ampia (larghezze perlopiù comprese tra i 40 e i 100 m). I tratti deltizi sono invece caratterizzati da pendenze più accentuate con 1 o 2 ordini di barre e spiagge ghiaioso-ciottolose sottili (DAL CIN, SIMEONI, 1987; SIMEONI, 1989).

Tali differenze di tipo geomorfologico e sedimentario riflettono il diverso comportamento dei tratti deltizi, caratterizzati da spiccata tendenza all'arretramento, dai tratti interdeltizi, stabili o in lento avanzamento.

3. La diminuzione del trasporto solido fluviale

3.1 Fattori antropici

L'attuale tendenza erosiva è attribuita in maniera piuttosto concorde da diversi Autori alle attività umane nei bacini idrografici, quali le escavazioni in alveo, la rea-

Tab. 1 - Superficie dei bacini idrografici.

Area of hydrograph basins.

Bacino	Vomano	Calvano	Cerrano	Piomba	Saline	Pescara
Superficie (km ²)	786	39	26	109	612	3169

lizzazione di invasi artificiali e traverse, l'irrigidimento delle aste fluviali, che hanno fortemente diminuito il trasporto solido di fondo dei corsi d'acqua (ADAMOLI, 1991; ADAMOLI, 1994; PAREA, 1978). In diversi tratti delle aste fluviali abruzzesi, specialmente in quelli medio-terminali, l'alveo attivo si trova a scorrere direttamente sul substrato costituito dalle argille grigio-azzurre, avendo inciso per erosione lineare il materasso alluvionale soprastante. Questa situazione, unitamente alla presenza di fenomeni di *armouring* del letto, determina verosimilmente uno squilibrio del trasporto solido di fondo nei tratti di alveo posti a valle delle opere di ritenuta o delle aree di estra-

zione di ghiaia e sabbia (BUCCOLINI, TIBERIO, 2001).

Alcuni dei fattori antropici indicati come causa del disequilibrio dei corsi d'acqua possono essere supportati da documentazione riguardante i volumi prelevati in alveo, principalmente negli anni '50, '60 e '70. La tabella sottostante sintetizza le informazioni a riguardo tratte da uno studio condotto da Aquater per conto della Regione Abruzzo nel 1982, da cui si può avere un'idea di come i prelievi effettuati nel periodo tra il 1966 ed il 1975 siano stati superiori al trasporto solido potenziale dei corsi d'acqua nei rispettivi tratti terminali.

Al fine di quantificare l'impatto dovuto alle instal-

Tab. 2

Bacino	Periodo	Volumi asportati (m ³)	Estrazione media annua (m ³)	Intervallo di trasporto solido di fondo potenziale (m ³ /anno)
Vomano	1966 - 1975	3187904	318790	55000 - 100000
Saline	1966 - 1975	1889263	188926	55000 - 100000
Pescara	1966 - 1975	2831733	283173	190000 - 390000

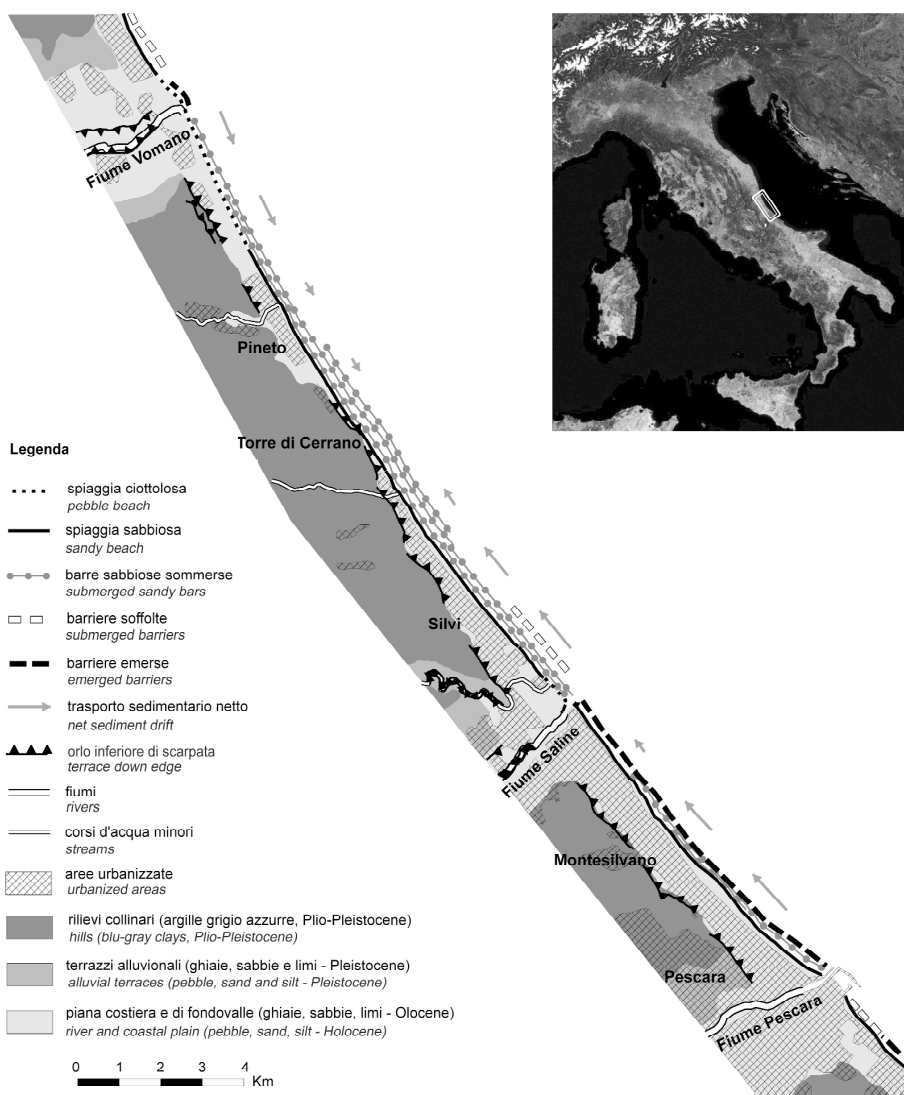


Fig 1. Schema geologico e principali caratteri geomorfologici del tratto di costa tra i fiumi Vomano e Pescara.

Geological sketch and main geomorphologic aspects of the coast tract between Vomano and Pescara rivers.

lazioni idroelettriche e agli invasi artificiali connessi si può fare invece riferimento alla diminuzione dei volumi di invaso a causa dell'interramento.

La prima installazione idroelettrica, realizzata alla fine degli anni '40 nel medio corso del fiume Pescara, ha indotto un tasso di interramento medio di circa 32.000 m³ annui all'interno di 4 invasi artificiali della capacità complessiva di circa 10⁷ m³. Sul fiume Tavo-Saline fu invece realizzato nel 1969 il lago di Penne: la capacità di invaso iniziale di 10,6*10⁶ m³ risulta attualmente diminuita a circa 8,8*10⁶ m³. Sull'alto corso del Vomano e sul Mavone, suo principale affluente, sono stati realizzati tre invasi artificiali agli inizi degli anni '50 con una capacità complessiva di circa 320*10⁶ m³, dei quali non sono disponibili informazioni sul tasso di interramento. Risulta inoltre alterato l'originario bacino imbrifero dalla realizzazione di canali di gronda situati a varie quote e centrali di pompaggio per il riutilizzo dell'acqua tra un serbatoio e l'altro (TEI, Regione Abruzzo, 1986).

3.2 Fattori climatici

Il fenomeno della diminuzione del trasporto solido fluviale è da correlare con molta probabilità anche alla variabilità climatica. Sulla base della ricostruzione di alcune serie stori-

che delle precipitazioni totali annue si possono individuare possibili connessioni con l'evoluzione degli alvei e della linea di costa.

Sono state utilizzate le serie storiche ricavate dalle registrazioni delle stazioni pluviometriche di Chieti ed Atri (la prima parte dal 1868 mentre la seconda dal 1922), da considerarsi piuttosto rappresentative per l'area in oggetto. Tali serie cronologiche rispecchiano a grandi linee l'andamento generale italiano (FANTUCCI e MARGOTTINI, 1996) sia nel *trend* che nelle oscillazioni di breve durata.

Un periodo particolarmente piovoso ha interessato la seconda metà dell'800 ed i primi due decenni del '900, seguito da un decennio più secco. A questo è seguito un breve periodo umido tra il 1930 ed il 1940 ed un periodo secco protrattosi fino ad oggi.

In figura 3 è riportata la serie storica delle precipitazioni annue registrate dalla stazione di Chieti e la relativa media mobile di passo 7 anni. E' chiaramente individuabile un andamento oscillatorio smorzato con trend generale decrescente a partire dal 1920 circa.

I principali effetti degli interventi antropici nei bacini idrografici e della diminuzione delle precipitazioni annue si sono probabilmente sovrapposti nello stesso periodo temporale e ne risulta dunque difficoltosa una quantificazione separata. Inoltre non sono disponibili informazioni riguardanti il cambiamento dell'uso del suolo e in generale della copertura vegetale dei bacini idrografici, fattore che con buona probabilità ha contribuito alla variazione di produzione di sedimento e del conseguente apporto solido alla costa.

Le immagini di Fig. 3 ritraggono alcune evidenze di incisione lineare nell'alveo del fiume Fino, compreso nel bacino idrografico del Saline, in un tratto posto a circa 9 km dalla foce: sono evidenti i fenomeni di sottoescavazione di una briglia e di un plinto realizzato per

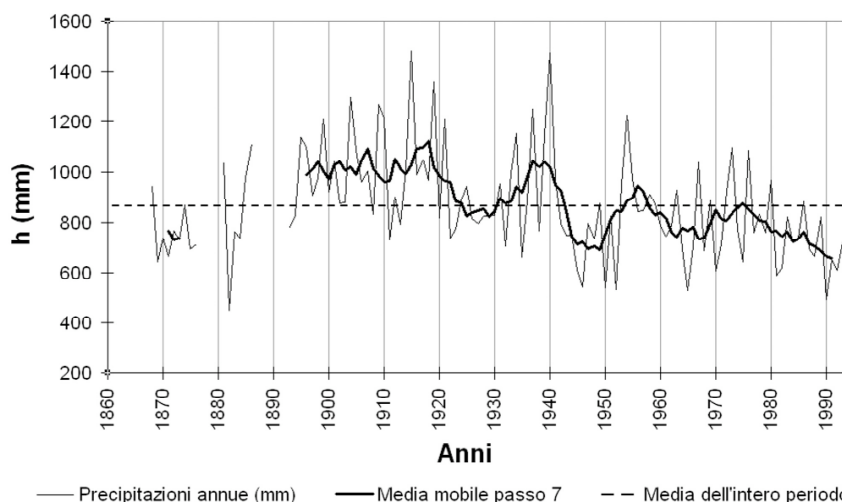


Fig 2. Serie cronologica delle precipitazioni annue relative alla stazione meteo-pluviometrica di Chieti con media mobile di passo 7 (1867-1994).

Annual rainfall time series with 7 years moving average, Chieti meteo-pluviometer observation data (1867-1994).

l'attraversamento di un metanodotto. Sulla base della data di realizzazione del metanodotto si può stimare un tasso di approfondimento dell'alveo di circa 7-8 cm/anno.

4. ALTRE CAUSE

Nel tratto in oggetto possono aver giocato un ruolo nell'evoluzione della linea di riva ulteriori fattori individuabili essenzialmente nell'innalzamento tettonico, nell'innalzamento eustatico e nelle variazioni nel tempo dell'energia e delle caratteristiche del moto ondoso.

L'innalzamento tettonico è stato valutato per l'area in questione in circa 0,5 mm/anno (CAROBENE, 2004), e può essere considerato di importanza secondaria rispetto al deficit sedimentario di apporto solido nella scala temporale caratteristica dello studio in oggetto. Da un punto di vista concettuale tale fattore determinerebbe un avanzamento della linea di riva piuttosto che

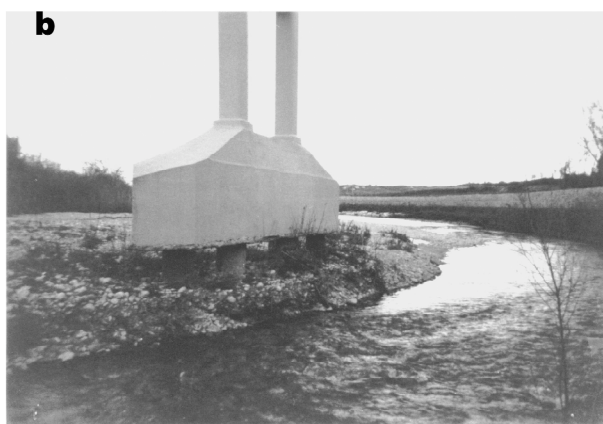


Fig. 3. Evidenze del disequilibrio dell'alveo del fiume Fino, nei pressi della confluenza con il Saline e a circa 9 km dalla foce: sottoescavazione di una briglia (a) e di un plinto (b).

Deepening of the Fino riverbed, near its confluence with Saline about 9 km far from the outlet: dam under excavation (a); current erosive action on a plinth (b).

un arretramento, sebbene possa indurre fenomeni di incisione lineare nei corsi d'acqua o morfologie erosive sulla costa. Ma le evidenze osservate, che consistono principalmente nell'arretramento della costa e nell'incisione lineare dei corsi d'acqua, non concordano con tale modello.

L'innalzamento eustatico può essere determinato dai ben noti mutamenti climatici legati al riscaldamento globale. Verosimilmente tale fattore potrà giocare un ruolo importante in scenari futuri che vedono sensibili innalzamenti del livello medio del mare, ma sembra aver avuto un ruolo secondario, o poco apprezzabile, fino ad oggi. Da un punto di vista concettuale un innalzamento progressivo del livello medio del mare determinerebbe una tendenza al sovralluvionamento in corrispondenza degli alvei (a causa dell'innalzamento del livello di base dei corsi d'acqua) e parallelamente un arretramento della linea di costa. L'arretramento della linea di riva che si verrebbe a determinare dovrebbe essere generalizzato e non differenziale a seconda che si considerino le zone di foce o le zone inter-foce. Anche tale meccanismo non sembra concordare concettualmente con le informazioni raccolte.

Le variazioni temporali delle caratteristiche del moto ondoso hanno probabilmente giocato un ruolo importante nell'evoluzione della linea di riva in oggetto. Tale fattore esula dagli strumenti e dagli obiettivi del presente lavoro ed andrà tenuto in debita considerazione in occasione di eventuali passi successivi. Tuttavia, anche in assenza di dati sulle variazioni storiche delle caratteristiche del moto ondoso, pare distinguibile l'effetto delle variazioni di apporto solido fluviale, soggiacente al trend evolutivo che può essere inferenziato dalla serie storica delle linee di riva.

Un effetto diretto ed evidente hanno avuto, e tuttora hanno, le difese costiere e la realizzazione dei moli del porto di Pescara. I grafici che riportano le variazioni nel tempo delle linee di riva mostrano sensibili avanzamenti nei tratti interessati dalle difese costiere in particolar modo nel periodo immediatamente successivo alla loro realizzazione, al contrario marcati arretramenti vengono da queste indotti nei tratti adiacenti non protetti. Come verrà trattato più in dettaglio, la costruzione di barriere emerse distaccate lungo la costa ha caratterizzato a partire dalla prima metà degli anni '70 il tratto compreso tra la foce del fiume Saline ed il porto canale di Pescara: qui i tratti protetti sono stati ampliati progressivamente fino ad interessare l'intera unità fisiografica.

5. EVOLUZIONE DELLA LINEA DI COSTA

5.1 Ricostruzione della serie storica delle linee di costa

Per la ricostruzione della serie cronologica delle successive posizioni della linea di riva si è reso necessario il reperimento di carte storiche e riprese aeree con un certo grado di attendibilità e di dettaglio tale da permetterne

una corretta georeferenziazione.

Sulla base di tali caratteristiche sono stati selezionati alcuni documenti cartografici realizzati nel corso dell'800 che coprono l'area in questione o che la rappresentano in parte ("Pianta del litorale dell'Adriatico, con l'indicazione della strada nuova che vi si progetta", 1819, Archivio di Stato di Napoli; "Mappa topografica di Pescara, Castellammare Adriatico, Montesilvano e Francavilla, 1838", Archivio di Stato di Pescara; rilievi dello Stato Borbonico relativi al 1859; rilievi dell'IGMI relativi agli anni 1872-76). Ulteriori informazioni riguardanti linee di costa storiche relative al tratto compreso tra il Saline ed il Pescara sono state tratte da FODERÀ (1954), in particolare per quanto riguarda le linee di riva del 1894 e del 1926-29. Per la ricostruzione delle linee di costa più recenti sono state prese in considerazione le riprese aeree della RAF (anni 1943-44), dell'IGMI (anni 1955, 1976, 1995) e della Compagnia Generale Riprese Aeree (CGR, Progetto IT2000), accessibile attraverso il sistema del Portale Cartografico Nazionale (www.atlanteitaliano.it) gestito dal Ministero dell'Ambiente del Territorio e del Mare. Ulteriori informazioni

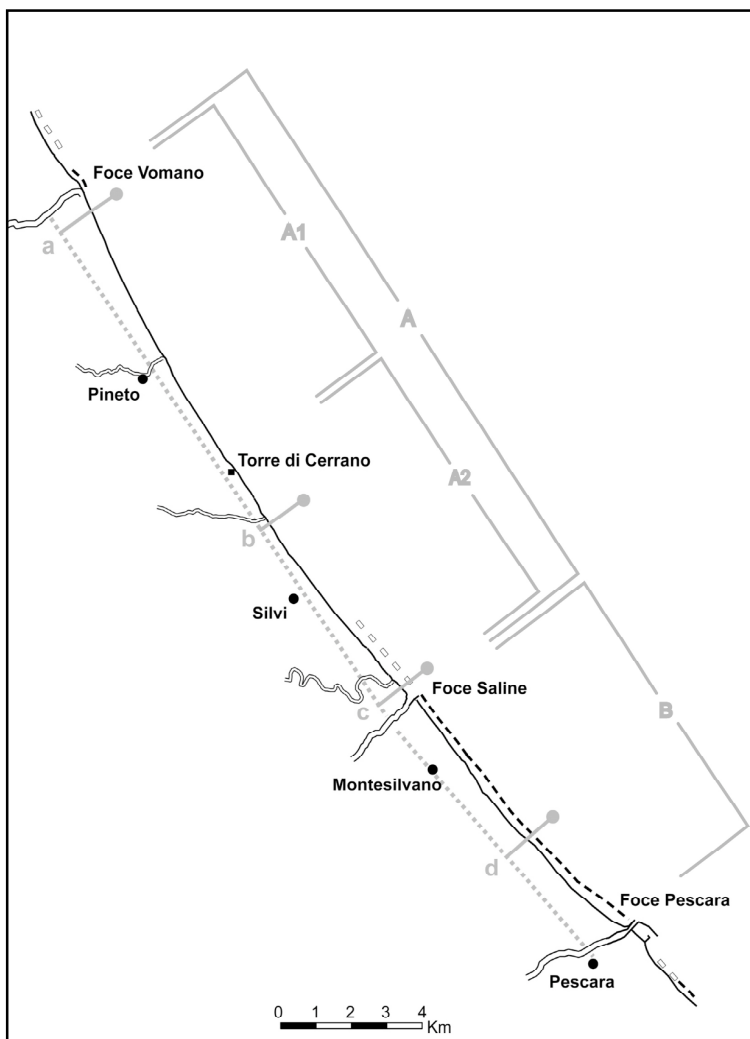


Fig. 4. Ubicazione dell'asse di riferimento e dei transetti utilizzati per la costruzione dei grafici di figura 5 e dei diversi settori relativi ai grafici di figura 6.

Baseline, transects and different sectors used for the measurements plotted in figures 5 and 6.

sono state tratte dalle Ortofotocarte relative al 1987-88 realizzate dalla Regione Abruzzo nonché dalle Tavole a scala 1:25000 dell'IGMI (aggiornata per l'area in questione nel 1982). La linea di riva più recente, riferita al 2004, è stata ottenuta mediante Internet attraverso l'applicativo Google Earth®.

Per il processo di georeferenziazione è stato utilizzato un software di trasformazione in grado di roto-traslare e deformare le immagini acquisite secondo funzioni polinomiali, in modo da ottenere la migliore correlazione tra punti presenti nell'immagine e omologhi punti aventi coordinate note (GCPs), individuati su carte ortorettificate o direttamente sul terreno. Mediante tale procedimento è possibile determinare anche l'errore connesso con l'operazione (Root Mean Square Error), che definisce il grado di imprecisione in metri nell'immagine trasformata. Al fine di limitare l'imprecisione, oltre alla scelta del maggior numero possibile di GCPs distribuiti in modo per quanto possibile omogeneo, sono state prese in considerazione percentuali ridotte dei fotogrammi o delle carte originarie. Trattandosi inoltre di aree pianeggianti non si è reso necessario tenere in considerazione l'effetto di distorsione indotto dalla topografia.

L'uso delle mappe storiche risalenti al XIX secolo implica necessariamente l'introduzione di un elevato grado di incertezza a causa dell'imprecisione delle mappe stesse e della maggiore difficoltà nell'individuazione di punti di riferimento per la georeferenziazione. Questi sono in numero progressivamente minore in funzione dell'età delle mappe, motivo per cui il grado di attendibilità delle stesse è stato attentamente e criticamente valutato verificando la coerenza tra quelle relative allo stesso periodo, ma anche la corrispondenza delle linee di riva ricostruite con il trend evolutivo generale.

Con la successiva digitalizzazione delle diverse linee di costa è stata ricavata la serie storica, utilizzata per il computo del tasso di variazione della posizione della linea di riva. Inoltre ne è stato ricavato il tasso di variazione in termini di superficie emersa, al fine di ottenere una stima indiretta dell'andamento del bilancio sedimentario.

5.2 Tendenza evolutiva

La differente tendenza evolutiva dei tratti posti in prossimità delle foci del Vomano e del Saline rispetto ai tratti interdeltizi è messa in evidenza in figura 5, in cui vengono riportati i grafici delle diverse posizioni della linea di riva in corrispondenza di transetti rappresentativi posti lungo l'asse di riferimento longitudinale (riportato in figura 4). I grafici di figura 6 riportano invece la variazione nel tempo della superficie compresa tra la linea di costa e l'asse di riferimento, per i diversi settori presi in considerazione.

In riferimento a tali figure si può notare come la posizione della linea di costa abbia subito un generale repentino avanzamento nel corso del XIX secolo, caratterizzato da un bilancio sedimentario del litorale positivo.

Equiparando il bilancio sedimentario all'andamento delle variazioni della superficie costiera (fig.6), esso sembra subire una flessione agli inizi del '900, assumendo un valore intorno allo zero nel periodo compreso all'incirca tra il 1920 ed il 1940. Successivamente assume un valore negativo e piuttosto costante nel

tempo fino ai giorni nostri.

È evidente il marcato *trend* erosivo nel corso del XX secolo, a partire dal 1943, in corrispondenza del transetto 'a', posto a poche centinaia di metri dalla foce del Vomano e del transetto 'c', in corrispondenza dell'apparato di foce del Saline. Il tasso di arretramento presso la foce del Vomano subisce un'inversione di tendenza nelle ultime 3 osservazioni, probabilmente a causa di interventi di ripascimento e di protezione realizzati nella prima metà degli anni '80. La zona di foce del Saline ha fatto registrare i tassi di arretramento medi più elevati (circa -2,4 m/anno), con i valori maggiori tra il '43 ed il '55 (circa -5,8 m/anno).

Ben diverso è il comportamento in corrispondenza del transetto 'b', posto in zona interdeltizia tra la Torre di Cerrano e l'abitato di Silvi: qui si ha un avanzamento che interessa tutto il periodo di osservazione, con un valore che si aggira intorno a 0.9 m/anno.

La situazione nella zona centrale dell'unità fisiografica sud è ancora diversa: qui la realizzazione delle barriere emerse a partire dalla metà degli anni '70 ha alterato la tendenza naturale facendo registrare considerevoli avanzamenti a tergo delle scogliere. La situazione presso il transetto 'd' sembra andare verso una stabilizzazione, e tendere localmente ad una più recente fase erosiva nelle ultime 3 osservazioni, probabilmente anche a causa del potenziamento delle difese parallele in un tratto adiacente, in corrispondenza dell'abitato di Montesilvano.

In riferimento alla figura 6a, che riporta le variazioni areali per le due unità fisiografiche (Vomano-Saline Saline-Pescara), è evidente il diverso comportamento del tratto sud, completamente protetto, dalla porzione nord quasi priva di strutture protettive. A partire dal 1943 circa il *trend* assume un andamento piuttosto regolare e può essere ricavato interpolando linearmente i grafici di fig.6: il tasso di variazione medio della superficie di costa corrisponde alla derivata rispetto al tempo della curva interpolante. In particolare dal 1943, la variazione nel tempo della superficie costiera tra il Vomano ed il Saline è di circa -5429 m²/anno, mentre risulta pari a circa 6077 m²/anno per la zona compresa tra il Saline ed il porto di Pescara.

Un'ulteriore differenziazione dell'unità fisiografica nord in 2 sottoseggetti (fig. 6b) mette in evidenza gli effetti degli interventi di ripascimento effettuati negli anni '80 nei pressi della foce del Vomano. L'aumento di superficie registrato dall'ultima osservazione (2004) è infine da attribuirsi ai recenti interventi di ripascimento e di realizzazione di barriere sommerse, effettuati dalla Regione Abruzzo lungo un tratto posto a nord della foce del Saline.

Il prodotto delle variazioni di superficie, avvenute in un determinato intervallo temporale, per lo spessore del profilo di spiaggia attivo (pari alla somma della "profondità di chiusura" e dell'altezza di spiaggia emersa interessata dal moto ondoso) può fornire una stima approssimativa dei volumi in gioco.

Lo spessore del profilo di spiaggia attivo è per definizione pari alla somma della "profondità di chiusura" e dell'altezza di spiaggia emersa interessata dal moto ondoso. La profondità di chiusura è, rispetto al livello medio del mare, quella oltre la quale può considerarsi trascurabile il movimento sedimentario dovuto all'azione del moto ondoso. In fig. 11a viene riportato lo

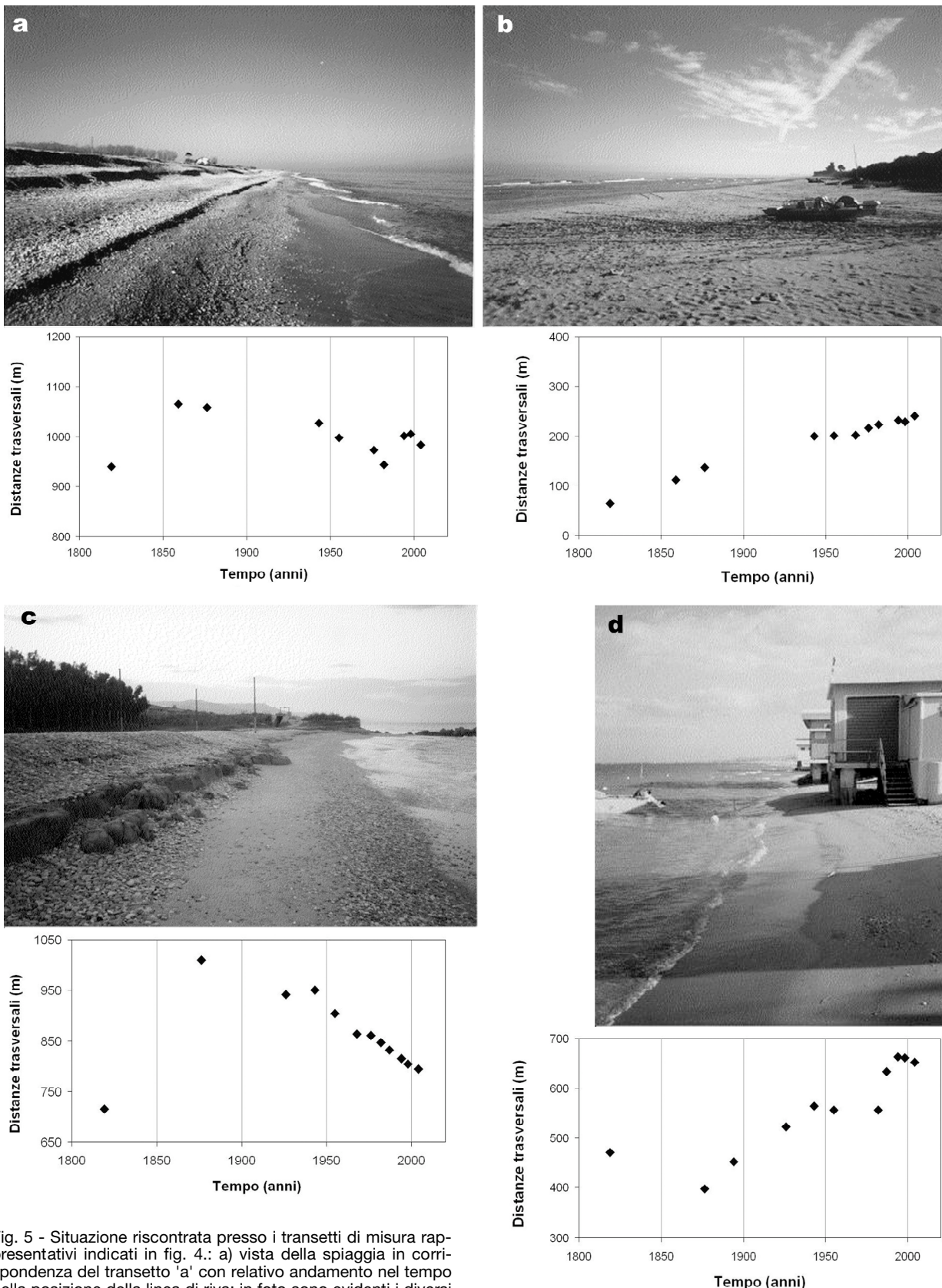


Fig. 5 - Situazione riscontrata presso i transetti di misura rappresentativi indicati in fig. 4.: a) vista della spiaggia in corrispondenza del transetto 'a' con relativo andamento nel tempo della posizione della linea di riva; in foto sono evidenti i diversi ordini di "crest berms" a granulometria ciottolosa; b) panoramica della spiaggia nei pressi del transetto 'b' e relativo grafico; c) tratto di spiaggia posto in corrispondenza del transetto 'c', nei pressi della foce del Saline; è distinguibile il gradino erosivo con messa a nudo di limi di retro-spiaggia, da mettere in relazione con la marcata tendenza all'arretramento evidenziata nel sottostante grafico; d) vista di un tratto di spiaggia posta nella zona sud di Montesilvano e grafico relativo al transetto 'd'.

Images and graphics of the main significant beach stretches (see fig. 4): a) photograph taken by the transect 'a' with related graphic showing temporal variation of the coastline; see different steep pebbled berm orders; b) wide sandy beach nearby the transect 'b' and related graphic; c) pebble beach placed by the transect 'c', few hundred meters north to Saline outlet; the outcrop of cohesive back-shore silts is a clear effect of beach erosion, showed in the related graphic; d) view of the beach placed nearby the south end of Montesilvano town and graphic showing coastline variations at transect 'd'.

schema esemplificativo di un volume elementare di spiaggia in condizioni di equilibrio del profilo trasversale, con indicazione del significato dei diversi termini del bilancio.

Sulla base di informazioni bibliografiche (Aquater, Regione Abruzzo, 1982, 1985; Provincia di Teramo, Assessorato ai Lavori Pubblici, 1998) è stato considerato uno spessore del profilo attivo pari a 7 m che porta, per l'unità fisiografica nord, ad un bilancio sedimentario medio pari a circa $-38000 \text{ m}^3/\text{anno}$ per il periodo 1943 ÷ 2000. Un'analoga stima relativa all'unità sud perde invece di significato a causa delle forti alterazioni indotte dalla realizzazione delle barriere sulla morfologia della spiaggia sommersa.

Tale stima fornisce ovviamente indicazioni approssimative che possono essere utilizzate perlopiù ai fini della formulazione di un modello preliminare: si basa infatti sull'assunto che il profilo di equilibrio della spiaggia rimanga mediamente invariato, dipendendo principalmente dall'energia media del moto ondoso e dalle proprietà fisiche dei sedimenti, che possono ritenersi mediamente costanti a determinate scale temporali. Tale esemplificazione costituisce il principale limite insito nella ricostruzione del bilancio sedimentario a partire da informazioni di tipo essenzialmente planimetrico.

5.3 Definizione del modello evolutivo

Le informazioni raccolte suggeriscono la formulazione di un modello concettuale che mette in relazione l'apporto solido fluviale alle variazioni della linea di costa.

La situazione emersa evidenzia come il corso del XIX secolo sia stato contraddistinto da un elevato bilancio sedimentario costiero tanto che ampie aree, su cui sorgono gli abitati di Pescara, Montesilvano e Silvi Marina, sono state urbanizzate su terreni formati a partire dalla seconda metà dell'800. Il bilancio diviene poi negativo nel corso del XX secolo, con valore assoluto però inferiore a quello del secolo precedente.

Gli apparati di foce, avendo una conformazione convessa, rappresentano zone di divergenza della deriva sedimentaria lungo-costa. Essi hanno subito le maggiori modificazioni, sia in avanzamento nel corso dell'800, sia in occasione dell'inversione di tendenza avutasi a partire dai primi decenni del '900 (figg. 7 e 9). Le modificazioni dei tratti interdeltizi, che al contrario costituiscono le principali zone

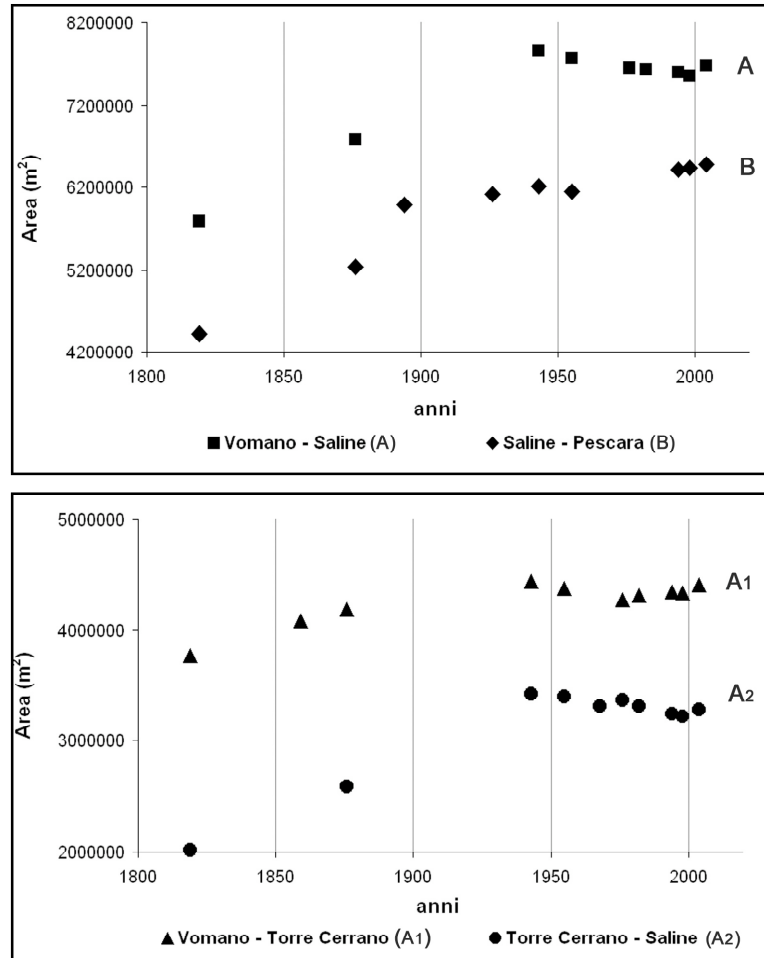


Fig. 6 - Variazioni della superficie costiera delimitata dall'asse di riferimento secondo una suddivisione in diversi settori: a) variazioni di superficie costiera nelle due principali unità fisiografiche considerate; b) variazioni di superficie presso due sotto-settori compresi nell'unità fisiografica nord, tra il fiume Vomano e la Torre di Cerrano e tra la Torre di Cerrano ed il fiume Saline.

Coastal area variations vs. time of principal coastal plain sectors, delimited by the baseline: a) area variations in the two physiographic units considered; b) area variations in two sub-sectors of the northern physiographic unit, the first placed between Vomano and Torre di Cerrano and the latter between Torre di Cerrano and Saline river.



Fig. 7 - Principali modificazioni del delta del Vomano avvenute negli ultimi due secoli, riportate su una ripresa aerea del 1998.

Main modifications of Vomano river delta in the last two centuries, plotted on a 1998 aerial image.

di convergenza del trasporto sedimentario, sono invece "smorzate" e ritardate rispetto alle dinamiche dei delta fluviali (figg. 8, 10).

In riferimento alle figure 7 e 9, è possibile notare come i tratti terminali del Vomano e del Saline presentassero un andamento tipicamente *braided* con alvei attivi molto ampi e considerevoli modificazioni del tracciato fino agli anni '40-'50. Attualmente gli stessi alvei appaiono più stretti, di tipo monocursale e quasi del tutto privi di barre attive. Risulta invece più stabile nel tempo il tracciato di foce del fiume Pescara.

Il comportamento evidenziato può essere ricondotto ad una continua fase di riequilibrio del profilo planimetrico della linea di costa in funzione delle variazioni del budget sedimentario.

Questo può essere descritto in maniera semplificata dall'equazione di diffusività, combinata ai termini di ingresso ed uscita dal sistema:

$$\partial y / \partial t = \varepsilon \partial^2 y / \partial x^2 + I - L \quad (1)$$

ossia, la variazione della posizione della linea di riva nel tempo è pari alla derivata seconda rispetto all'asse longitudinale moltiplicata per il fattore di diffusività (ε), e sommata ai termini di ingresso (I), rappresentati dall'apporto solido, e di uscita (L), dovuti alle perdite verso il mare.

Il fattore di diffusività dipende dalle caratteristiche del moto ondoso, dal profilo trasversale della spiaggia e dalle proprietà fisiche del sedimento, ed è quindi un parametro di difficile quantificazione sperimentale. Generalmente è possibile definirlo mediante analisi inversa.

In particolare:

$$\varepsilon = \frac{K H_b^2 C_{gb}}{8} \left(\frac{\rho}{\rho_s - \rho} \right) \left(\frac{1}{1 - n} \right) \left(\frac{1}{d_B + d_c} \right) \quad (2)$$

dove H_b è l'altezza dell'onda al frangimento, C_{gb} la velocità di gruppo del moto ondoso, ρ e ρ_s sono rispettivamente la densità dell'acqua e del sedimento, d_B e d_c

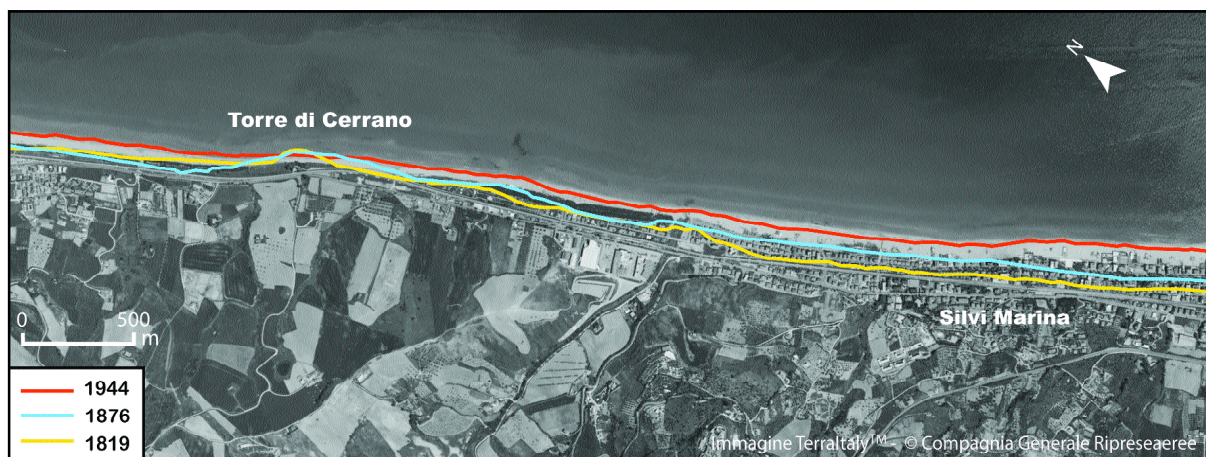


Fig. 8 - Principali variazioni della linea di costa nel tratto posto in corrispondenza della Torre di Cerrano e dell'abitato di Silvi Marina, riportate su foto aerea del 1998. Si può notare la relativa stabilità della linea di riva mentre sono distinguibili 3 ordini di barre sabbiose nella spiaggia sommersa.

Main modifications of the coast stretch nearby the Torre di Cerrano and the village of Silvi Marina, plotted on a 1998 aerial image. The image shows a quite coastline stability in the last two centuries and three orders of submerged sand bars.

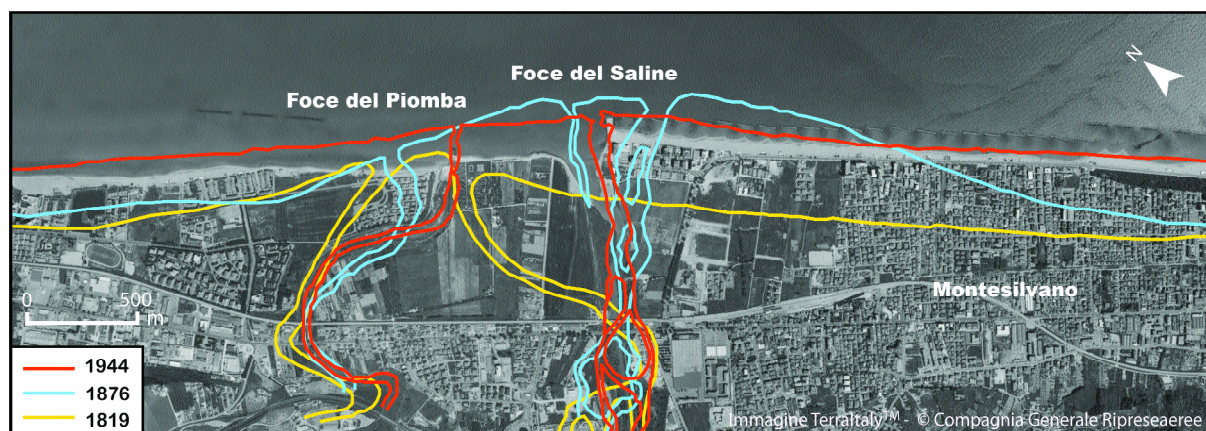


Fig. 9 - Principali modificazioni delle zone di foce del Saline e del Piomba avvenute negli ultimi due secoli, riportate su ripresa aerea del 1998.

Main modifications of Saline and Piomba river mouths in the last two centuries.

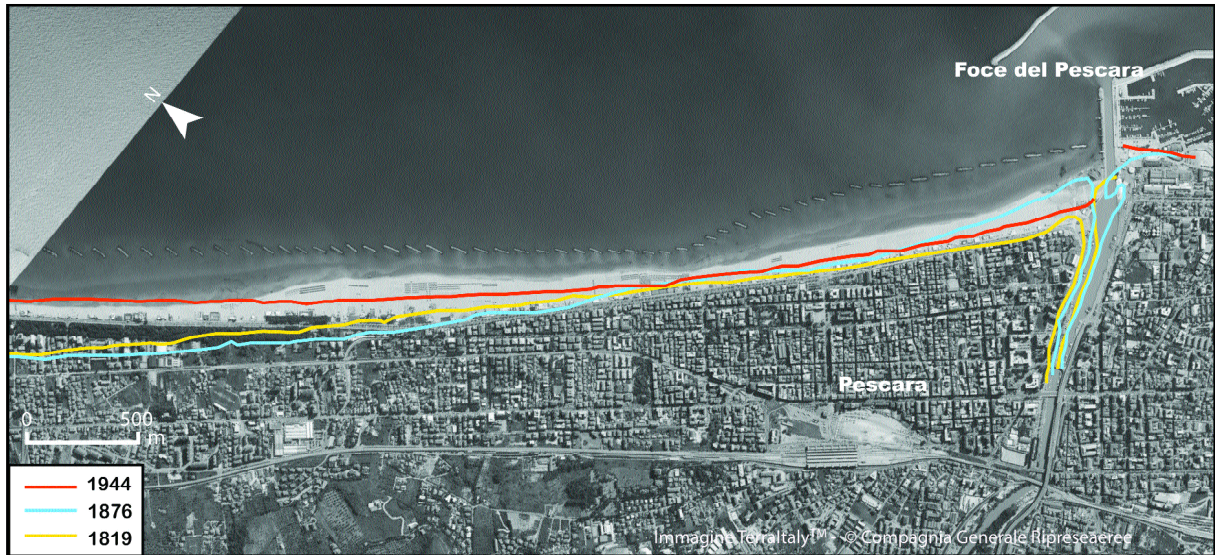


Fig. 10 - Principali variazioni della linea di costa in un tratto di costa posto in corrispondenza della città di Pescara, riportate su foto aerea del 1998. E' visibile la notevole ampiezza della spiaggia, dovuta all'avanzamento registrato in seguito alla realizzazione delle barriere emerse.

Main modifications in the coast stretch of Pescara, plotted on a 1998 aerial image. The wide is due to the advancement which took place after the realization of the emerged barriers.

sono rispettivamente l'altezza di spiaggia emersa interessata dal moto ondoso e la profondità rispetto al livello medio del mare interessata da movimento sedimentario significativo.

L'equazione della diffusività può essere ottenuta dalla combinazione dell'equazione di continuità del flusso sedimentario con una relazione in grado di descrivere il trasporto sedimentario lungo-costa in funzione della componente longitudinale del flusso energetico del moto ondoso, quale ad esempio:

$$Q = Q_0 * K * \tan(\alpha), \text{ generalmente valida per } 0 < \tan(\alpha) < 1.23 \quad (3)$$

In tale relazione 'K' è una costante ed 'α' rappresenta l'angolo formato tra le creste d'onda e la linea di riva (U.S. Army Corps of Engineers®, 2002).

Si è scelto di utilizzare una soluzione alle differenze finite dell'equazione (1), per simulare l'evoluzione della linea di costa nell'unità fisiografica nord, non interessata da interventi massicci di difesa che possano averne alterato la naturale tendenza evolutiva. Come ulteriore esemplificazione si è scelto di far partire la simulazione dal 1943, assegnando come situazione di partenza la rispettiva linea di riva, dal momento che il trend del bilancio di sedimento risulta pressoché costante a partire da questa data. E' stata quindi operata una discretizzazione longitudinale di 100 m e temporale di 4 mesi. Il fattore 'ε' è stato ricavato in seguito ad un'operazione di taratura effettuata sulla base delle linee di costa osservate.

I risultati della simulazione vengono mostrati in fig 12b e confrontati con le diverse linee di costa ricostruite (fig 12a).

Considerato che ai bordi del modello sono poste le foci dei fiumi Vomano (al confine nord) e Saline-

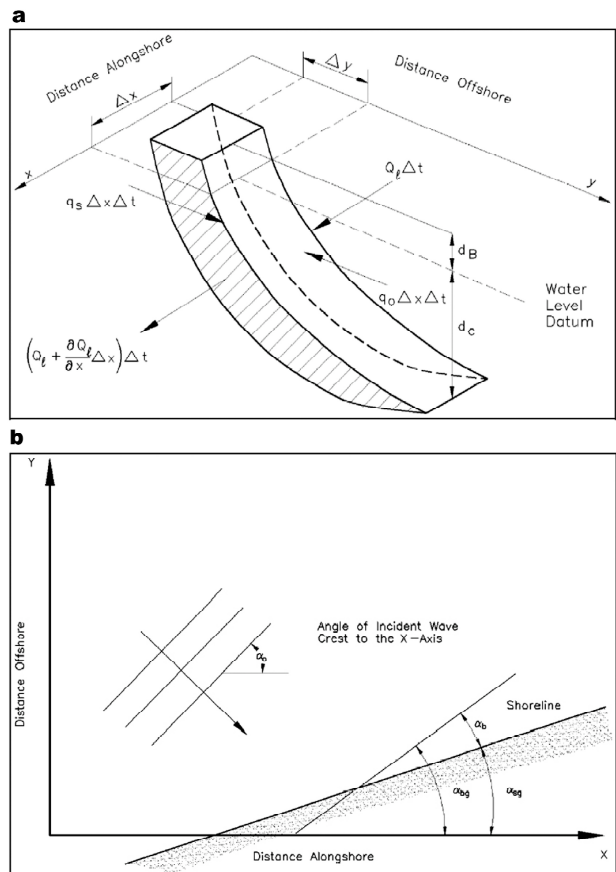


Fig. 11 - Schema di un volume elementare di spiaggia in condizioni di equilibrio del profilo trasversale (a). Definizione dell'angolo di incidenza del moto ondoso α_b (b) Scheme of elemental volume on equilibrium beach profile (a). Definition of local breaker angle α_b (b).

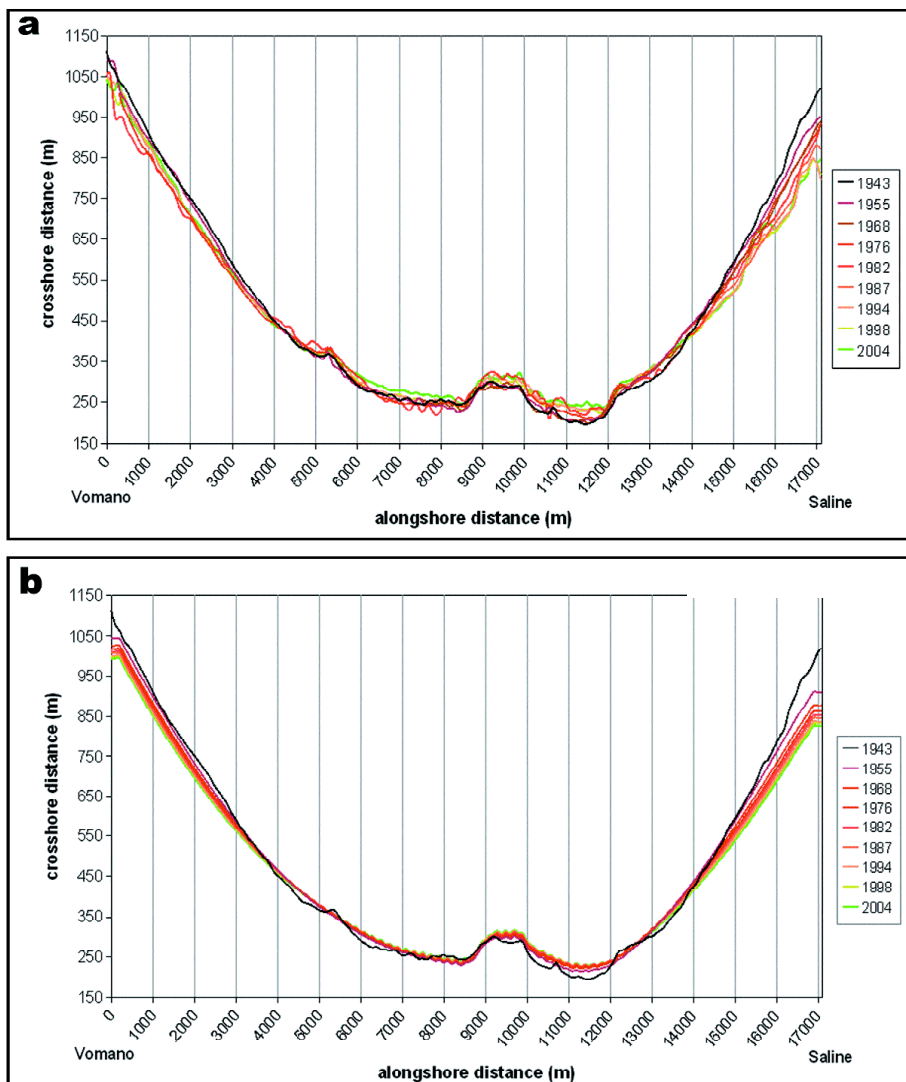


Fig. 12 - Linee di riva del tratto compreso tra il Vomano ed il Saline, ricostruite mediante l'indagine storica, riportate con discretizzazione longitudinale di passo pari a 100 m (a). Linee di riva simulate mediante il modello per il medesimo tratto (b).

Observed coastlines of the stretch between Vomano and Saline river mouths, plotted with a 100 m discretization step (a). Simulated coastlines of the same coast stretch (b).

Piomba (confine sud) i valori di trasporto solido posti come condizioni al contorno sono stati inizialmente impostati pari alle indicazioni bibliografiche riportate in tab.2. Tali valori sono stati modulati, in seguito ad un'operazione di taratura, al fine di ottenere un'evoluzione temporale della linea di costa confrontabile con quella osservata, risultando pari a 53000 m³ per il confine nord e 44000 m³/anno per il confine a sud. Di fatto, in base alle informazioni riguardanti la deriva sedimentaria longitudinale netta (Aquater, Regione Abruzzo, 1982; Aquater, Regione Abruzzo, 1985; NOLI *et al.*, 1998) ricavata in funzione di uno studio del clima di moto ondoso, tali condizioni di flusso sedimentario in ingresso ai bordi del modello sono attribuibili in massima parte al trasporto solido fluviale.

Le perdite verso il largo sono state inizialmente poste, in valore assoluto, pari a 10 m³ annui per metro lineare, sempre sulla base delle indicazioni bibliografi-

che di cui sopra. In seguito al processo di taratura del modello i valori ottimali medi sono risultati molto simili ai valori assunti inizialmente, sebbene sia stato necessario modularli lungo l'asse longitudinale. In particolare la convergenza ottimale con la situazione reale è stata ottenuta utilizzando valori massimi in corrispondenza delle zone di foce (pari a circa 11 m³ annui per metro lineare), e valori minimi in corrispondenza del promontorio della Torre di Cerrano (circa 4,2 m³ annui per metro lineare). Tale assunzione trova giustificazione nella conformazione batimetrica, con pendenze maggiori nelle zone di foce rispetto alla parte centrale dell'unità fisiografica. Qui la presenza di condizioni particolarmente dissipative nei confronti del moto ondoso potrebbero inoltre essere determinate dalla presenza di fondali poco profondi la cui morfologia pare influenzata dalla zona di accumulo di antichi movimenti gravitativi (BUCCOLINI *et al.*, 1994).

Secondo alcuni autori tali movimenti, di tipo rotazionale multiplo, avrebbero interessato i versanti collinari che degradano verso il mare: il promontorio della Torre di Cerrano, che costituisce una delle poche irregolarità di tipo morfologico a perturbare l'andamento della linea di riva, ne sarebbe una delle testimonianze più evidenti¹.

In generale comunque le linee di riva osservate appaiono più irregolari rispetto a quelle simulate, come effetto delle semplificazioni del modello, che non considera la variabilità spaziale e/o temporale dei parametri di ingresso (quali il trasporto solido fluviale, le perdite verso il mare, la diffusività e la direzione di provenienza del moto ondoso) né l'effetto delle difese costiere.

Inoltre è da tenere in considerazione che la spiag-

¹ In corrispondenza del tratto di costa della Torre di Cerrano si possono osservare, in posizione sub-affiorante, blocchi isolati di conglomerati appartenenti alla successione siciliana, depositatisi al top della formazione delle argille arigio-azzurre, che rappresentano i resti di queste frane. Vi sono inoltre notizie sulla presenza di un antico porto in questa zona, attivo fino al XV secolo (Buccolini et Alii, 1994; Noli et al., 1998), di cui vi sarebbero testimonianze nella presenza di blocchi sommersi presenti fino a circa 700-900 m dalla riva. Anche tali blocchi però, piuttosto che riconducibili a manufatti in calcestruzzo, potrebbero derivare dalla frammentazione del corpo conglomeratico siciliano.

gia è un corpo sedimentario che può modificare la sua forma ma non necessariamente il suo volume, e la linea di riva risente ovviamente di tali modifiche. Tuttavia la metodologia utilizzata può risultare un buon compromesso tra i costi e i risultati: eventuali metodologie più raffinate necessitano infatti della definizione di svariati parametri naturali che hanno un'estrema variabilità spaziale e temporale di difficile quantificazione (caratteristiche batimetriche, sedimentologiche, meteo-marine, agli apporti solidi fluviali, agli effetti delle opere antropiche) ed implicano l'utilizzo di modelli interpretativi complessi che comportano problematiche di gestione del processo di calcolo (stabilità, convergenza) ed i cui risultati devono essere valutati attentamente.

Nonostante il modello risulti quindi estremamente semplificato, sembra comunque in grado di riprodurre, a grandi linee, la dinamica del tratto di litorale in oggetto: la progressiva rettificazione della linea di costa dovuta allo smantellamento degli apparati di foce (ai bordi del grafico) è accompagnata dalla modesta progradazione del tratto posto al centro dell'unità fisiografica. Mantenendo un bilancio sedimentario costante, tuttavia, i tratti in erosione tendono a coinvolgere progressivamente anche le zone più distanziate dalle foci, come la zona sud di Silvi e la spiaggia posta in corrispondenza dell'abitato di Pineto.

La prominenza degli apparati di foce aumenta al crescere del bilancio sedimentario del litorale, per cui la morfologia del delta del Saline di fine '800 è verosimilmente riconducibile ad un elevato *budget* sedimentario avutosi in questo periodo, mentre una probabile diminuzione dello stesso agli inizi del '900, anche non configurandosi ancora come una situazione di deficit, può averne determinato la fase di arretramento ancor prima dell'effetto dovuto alla forte antropizzazione dei bacini. Tale considerazione è teoricamente valida a condizione che l'andamento nel tempo della diffusività (ϵ) sia di tipo stazionario, cosa che dovrà essere verificata attraverso lo studio di eventuali cambiamenti del clima di moto ondoso occorsi nel periodo investigato.

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Tramite la ricostruzione della serie storica delle variazioni della linea di riva del tratto costiero in questione è possibile rilevare una differenziazione in termini di *trend* evolutivo di diversi settori: quelli deltizi, a maggiore dinamicità sia in avanzamento (durante le fasi di bilancio sedimentario positivo) sia in arretramento (nelle fasi di deficit); quelli interdeltizi, a minor tasso di variazione in termini assoluti, la cui risposta ai cambiamenti di apporto solido è ritardata rispetto alle zone di foce.

In base alla ricostruzione delle linee di costa storiche e alle simulazioni effettuate con il modello è possibile constatare come una variazione del bilancio sedimentario inneschi un fenomeno di riequilibrio del profilo planimetrico della linea di costa, che interessa dapprima le zone di delta per poi propagarsi progressivamente alle zone interdeltizie.

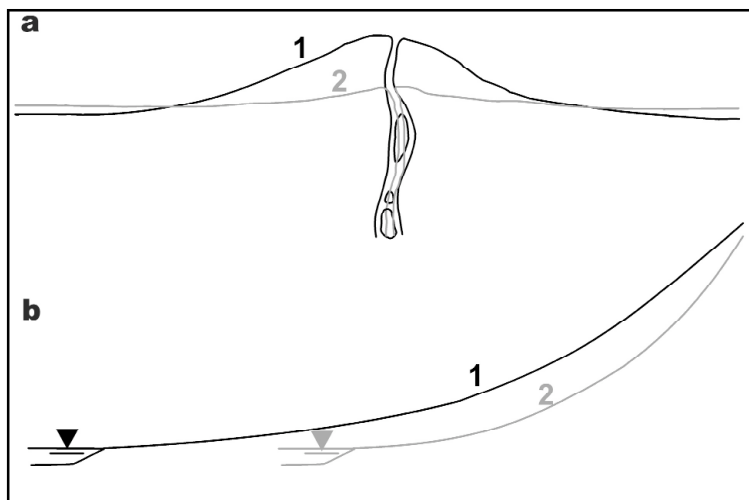


Fig. 13 - Schema semplificato degli effetti del deficit sedimentario sul sistema fluvio-costiero, avvenuti nell'ultimo secolo (disegno non in scala): modificazioni del profilo planimetrico della linea di riva (a); modificazione del profilo longitudinale dei corsi d'acqua nei tratti medio-terminali (b).

Simplified scheme of sedimentary deficit effects on the river-coastal system, occurred in the last century (without scale drawing): coastline modifications a; longitudinal profile modifications on middle-lower reaches of stream branches (b).

In conseguenza della diminuzione dell'apporto solido a mare avutasi a partire dai primi decenni del secolo passato, il bilancio sedimentario è passato da un valore decisamente positivo ad un valore negativo. La fase di arretramento che ne è seguita non ha interessato in maniera uniforme il litorale ma soprattutto le zone di foce, mentre un ampio tratto posto in corrispondenza dell'abitato di Silvi Marina e della Torre di Cerrano ha continuato ad avanzare grazie alle condizioni di convergenza del trasporto sedimentario longitudinale. Sotto la condizione ipotetica di un bilancio sedimentario costante, l'arretramento potrà interessare anche quest'ultimo tratto, a partire dal momento in cui sarà completata la fase di riequilibrio dinamico con il raggiungimento di una conformazione morfo-planimetrica stabile. Tale fenomeno sarebbe però attenuato dalle condizioni dissipative determinate dall'azione di ridosso esercitata dai fondali antistanti, che in questo tratto di litorale risultano piuttosto superficiali e poco acclivi.

Le dinamiche dei litorali paiono quindi in stretta connessione con le quelle fluviali, specialmente nei loro tratti medio-terminali: parallelamente all'arretramento della linea di riva nelle zone deltizie si è innescato un fenomeno di approfondimento degli alvei con una conseguente modificazione del profilo longitudinale dei corsi d'acqua. Lo schema concettuale semplificato del fenomeno è illustrato in fig.12.

Sebbene i risultati presentati abbiano soprattutto un valore qualitativo, si ritiene che il modello concettuale derivante sia generalizzabile agli ambiti in cui la dinamica del litorale risulta in stretta connessione con quella fluviale. La metodologia utilizzata, grazie alla progressiva diffusione di immagini aeree e satellitari, promette di fornire buoni risultati a basso costo.

Foto aeree:

Immagini TerraltalyTM - © Compagnia Generale RipreseAeree S.p.A. - www.terraltaly.it

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ADAMOLI L. (1991) - *Variazioni della linea di riva e cause dell'erosione del litorale abruzzese dal Tronto al Pescara*. Atti del 3o Geological Day "La costa abruzzese: dinamica del litorale, processi erosivi, degrado ambientale e possibili strategie di intervento". Ordine Nazionale dei Geologi, CCR Abruzzo. 45-61. Pescara.
- ADAMOLI L. (1994) - *Interventi antropici ed ambiente geologico in Abruzzo: alcuni esempi di impatto sul sistema fluviale-costiero e sul sistema acquifero sotterraneo*. In "VIII Congresso di Scienze della Terra e trasformazioni antropiche, un rapporto in evoluzione". Consiglio Nazionale dei Geologi. 227-231.
- ALBERTI A., LIPPARINI T., STAMPANONI G., MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO, DIREZIONE GENERALE DELLE MINIERE, SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1967) - *Note illustrative della carta geologica d'Italia - Foglio 141 - Pescara*. 47 pp. Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Napoli).
- AQUATER, REGIONE ABRUZZO (1982) - *Studio generale per la difesa della costa, prima fase. 3 - Valutazione dell'apporto solido a mare; 4 - Aspetti meteomari- ni e determinazione e del trasporto litoraneo*. S. Lorenzo in Campo (progetto depositato presso l'Assessorato ai LL.PP. della Regione Abruzzo, L'Aquila).
- AQUATER, REGIONE ABRUZZO (1985) - *Studio generale per la difesa della costa, seconda fase. Analisi del regime del trasporto litoraneo e bilancio dei sedi- menti*. S. Lorenzo in Campo (progetto depositato presso l'Assessorato ai LL.PP. della Regione Abruzzo, L'Aquila).
- BUCCOLINI M., CRESCENTI U., SCIARRA N. (1994) - *Interazione tra dinamica dei versanti ed ambienti costruiti: alcuni esempi in Abruzzo*. Dipartimento di Scienze, Storia dell'Architettura e Restauro, Università G.D'Annunzio, Pescara.
- BUCCOLINI M., TIBERIO S. (2001) - *Evoluzione recente ed in atto nell'alveo del fiume Tavo-Saline (Abruzzo Centrale)*. Mem. Soc. Geol. It., **56**, 243-248.
- CAROBENE (2004) - *Uplifted coastlines and marine terra- ces*. 174-177. Geology of Italy, Florence 2004.
- DAL CIN R., SIMEONI U. (1987) - *L'analisi multivariata applicata alla caratterizzazione ambientale dei lito- rali nord-Abbruzzesi (medio Adriatico)*. Mem. Soc. Geol. It. **37**, 379-389.
- DAL CIN R., SIMEONI U. (1987) - *Analisi ambientale quan- titativa dei litorali marchigiani fra Gabicce e Ancona. Livello del rischio naturale e del degrado, distribuzione dei sedimenti e loro possibile impie- go per ripascimenti artificiali*. Boll. Soc. Geol. It. **106**, 377-423.
- DAL CIN R. (1991) - *I litorali tra San Benedetto ed Ortona (medio Adriatico): sedimenti, degrado ambientale, zonazione costiera, possibili strategie di intervento*. Atti del 3o Geological Day "La costa abruzzese: dinamica del litorale, processi erosivi, degrado ambientale e possibili strategie di inter- vento". Ordine Nazionale dei Geologi, CCR Abruzzo. 11-44. Pescara.
- FANTUCCI R., MARGOTTINI C. (1996) - *Climatological trends on some of the longest rainfall data sets in Italy*. The Integrated Geological Risk Assessment. Environmental and Climate Program, European Commission.
- FODERÀ O. (1954) - *Le variazioni della linea di spiaggia della costa ed il Demanio pubblico marittimo nella Provincia di Pescara*. Estratto dalla Rivista del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali, 25 pp.
- MINISTERO LL.PP. SERVIZIO IDROGRAFICO. *Annali Idrologici (Pescara)*. Parte I e II. 1919 - 1994.
- NOLI A., TOGNA A., CONTINI P., SALTARI D., PROVINCIA DI TERAMO (1998) - *Litorale tramano compreso tra le foci del Vomano e del Piomba (studio di dinamica litoranea)*. 63pp. Documento depositato presso L'Assessorato ai LL.PP. della Provincia di Teramo.
- PAREA G.C. (1978) - *Trasporto dei sedimenti ed erosione costiera lungo li litorale tra li Tronto ed il Fortore (Adriatico centrale)*. Mem. Soc. Geol. It. **19**, 361-367.
- SIMEONI U. (1989) - *Rapporti tra barre e caratteri idrodi- namico-geomorfologici nei litorali nord-abruzzesi (medio Adriatico)*. Boll. Soc. Geol. It. **108**, 161-173.
- TEI, REGIONE ABRUZZO (1986) - *Piano di risanamento dei bacini idrografici dei fiumi Vomano, Aterno- Pescara e Sangro*. Rapporto Conclusivo, 29-42.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS®, ROSATI J. D., WALTON T., BODGE K. (2002) - *Coastal Engineering Manual, Parte III, Cap.2: Longshore Sediment Transport*, 119 pp.

Ms. ricevuto il 18 marzo 2008
 Testo definitivo ricevuto il 28 maggio 2008

Ms. received: March 18, 2008
 Final text received: May 28, 2008

