

## Studio dell'evoluzione della linea di costa della piana del Sele (Campania) mediante l'uso della cartografia numerica

Giuseppe D'Acunzi<sup>1</sup>, Tommaso De Pippo<sup>2</sup>, Carlo Donadio<sup>2</sup>, Francesco Peduto<sup>1</sup>, Ugo Santoro<sup>3</sup>,  
Francesco Sessa<sup>1</sup>, Francesco Terlizzi<sup>2</sup> e Maria Donata Turturiello<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Provincia di Salerno

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Napoli Federico II

<sup>3</sup> S.F.M. s.r.l. - Salerno

### Riassunto

Al fine dell'analisi dell'evoluzione della linea di costa del tratto litoraneo compreso tra Salerno e Agropoli, è stata condotta una ricostruzione delle variazioni storiche avvenute, utilizzando prese aerofotogrammetriche, relative agli anni 1954-55, 1984, 1994 e 2001, con restituzione cartografica, in scala 1:5.000, della fascia costiera per almeno 300 m a partire dalla battigia.

Lo studio ha previsto, quale sua base di lavoro, la costruzione di una cartografia numerica vettoriale, con metodo aerofotogrammetrico e con l'utilizzo di stereorestitutori analitici, relativamente al tratto in esame. E' stata così sviluppata un'analisi diacronica che ha consentito di fissare l'esatta posizione della linea di costa riferita agli anni delle aerofoto, di definire con esattezza l'andamento dei *trend* di arretramento o di avanzamento, di realizzare una carta tematica dedicata utilizzando una sintesi grafica con sovrapposizione della parte vettoriale (linee di costa) ad ortofoto digitali (ortoimmagini di anni diversi), evidenziando così in modo oggettivo le variazioni della linea di costa.

I principali *step* del processo di analisi diacronica sono stati dapprima il riconoscimento e la scansione dei fotogrammi relativi alle aree di studio, a cui è seguita la realizzazione di raffinato DEM (*Digital Elevation Model*) e conseguente ortogonalizzazione delle stesse. E' stata quindi eseguita la sovrapposizione della cartografia e dei fotogrammi che ne ha consentito il riconoscimento e la definizione delle linee di riva relative agli anni 1954-55, 1984, 1994 e 2001.

I risultati ottenuti indicano una complessiva tendenza all'arretramento della linea di costa nel Golfo di Salerno, con differenti valori nelle diverse aree e con alcuni tratti in controtendenza.

I dati ad oggi disponibili e la relativa cartografia costituiscono la base per le attività di monitoraggio della linea di costa e particolarmente importanti per valutare e verificare, rispetto alle attuali tendenze evolutive, l'efficacia e/o gli effetti dei differenti interventi di difesa che saranno realizzati lungo la costa sul tratto di litorale interessato e su quelli adiacenti, sia a scala di Unità che di Sub-Unità fisiografica.

Negli ultimi 50 anni, il litorale indagato mostra una diffusa tendenza all'arretramento, a volte anche con l'erosione della cresta del cordone dunare recente. I fenomeni di erosione generalmente sono legati alla scarsità del trasporto fluviale solido a causa delle enormi quantità di sabbia e ghiaia prelevate dai fiumi, o a causa della sistemazione idraulico-forestale operata lungo i bacini fluviali, e per la presenza sui fiumi di barriere e dighe. La rimozione dei sedimenti dal crinale della duna e dalla spiaggia, così come la forte pressione di origine antropica lungo la costa, contribuisce localmente ad accelerare i processi di erosione. I fenomeni riconosciuti concorrono alla perdita di depositi di sabbia dal litorale, causando l'aumento della pendenza del profilo della spiaggia, l'accumulo di ciottoli sulla battigia, l'erosione della cresta della duna recente, determinando, infine, il generale degrado dell'ambiente costiero con conseguente perdita economica a causa della mancata valorizzazione del paesaggio costiero ai fini turistici.

**Parole chiave:** geomorfologia costiera, aerofotogrammetria, cartografia digitale, variazione della linea di riva, piane fluviali.

### **Abstract**

*The study of the coastline evolution of the littoral stretch between the towns of Salerno and Agropoli has been carried out with a detailed and corrected reconstruction of its variation in the last 50 years. The analysis of the coastal band, wide at least 300 m beginning from the shoreline, has been achieved through aerial stereo photos relative to 1954-1955, 1984, 1994, and finally 2001 years. This study, founded on the construction of a numerical cartography, in vector format, allowed us to develop a diachronic analysis with the aim to fix the coastline position and to define recession or advancing trends, as well as to realize thematic maps using a graphical summary with vectorial shape (coastlines) superimposed to digital orthophoto of several years highlighting the objective changes in coastline.*

*The main steps of the diachronic analysis process have been at first the acknowledgement and the scansion of photographs of the study areas, and the realization of refined DEM (Digital Elevation Model) and consequent orthogonalization of the same.*

*The data indicate a regression tendency of the coastline in the Gulf of Salerno, with different values in the various areas and with some sector in countertendency. The available data and the cartography represent the base for the monitoring of activities along the coast, both in order to estimate the efficiency and to control the effects of the different protection structures which will be built up along the seashore. In the last 50 years, the investigated shoreline shows a spread tendency to the recession, at times also with the erosion of the recent dune ridge. The erosion focuses generally are linked to the scarce fluvial solid transport due to the huge sand and gravel withdrawal from the riverbeds, or to the hydraulic sistemation along the river basins, and to the presence of river barriers and dams. The sediment removal from the dune ridge and the beach, as well as the strong anthropogenic pressure along the coast, locally contributes to accelerate the erosion processes. The recognized phenomena contribute to the loss of sand deposits from the shoreline, causing the slope increase of the beach profile, the accumulation of pebbles on the foreshore, the erosion of the recent dune ridge, and finally the general degradation of the coastal environment with consequent lack of economic receipts for tourist-recreational exploitation of the coastal landscape.*

**Keywords:** coastal geomorphology, aerophotogrammetry, digital cartography, shoreline changes, river plain.

### **Inquadramento geologico e geomorfologico**

Il Golfo di Salerno è una depressione tettonica estesa in direzione WSW-ENE lungo il margine continentale tirrenico, delimitata dai M. Lattari della Penisola Sorrentina (NW), dai M. Picentini (NE) e dal Promontorio del Cilento (SE) che individuano l'ampia Piana del Sele (Fig. 1). Le faglie dirette, che delimitano ai bordi la piana con un rigetto di circa 3000 m, probabilmente connesse a trascorrenze con movimento sinistro, mostrano un prevalente andamento anti-appenninico (Brancaccio et al., 1986; Cinque et al., 2000) individuando in mare un sistema a *Horst e Graben*.

L'individuazione della depressione del Golfo di Salerno-Piana del Sele è conseguente alle fasi di apertura del Mar Tirreno, un bacino di tipo interarco a margine passivo (Bartole et al., 1984).

Alcuni elementi morfostrutturali che caratterizzano il paesaggio di quest'area campana sono la Valle di Salerno, costituita da una profonda depressione sottomarina bordata a N dalle faglie dirette della Penisola Sorrentina e riempita da una sequenza di sedimenti spessa circa 3300 m, d'età compresa tra il Neogene superiore ed il Quaternario, e la Linea del Sele, che rappresenta invece l'estensione a mare del fronte allocatone delle unità del Gruppo del Cilento (Bartole et al., 1984).

Nell'area in esame sono state riconosciute quattro unità sismiche di cui la più recente, correlata a sedimenti d'età compresa tra il Pliocene inferiore ed il Quaternario, poggia in discordanza stratigrafica su quelle più antiche, attribuita alle fasi tettoniche del Pliocene inferiore (Budillon et al., 1994).

Il principale elemento morfostrutturale del Golfo di Salerno è però rappresentato dall'ampia depressione della piana costiera del F. Sele, il cui elemento morfologico dominante è rappresentato da estese superfici subpianeggianti, ben raccordabili fra loro in destra e sinistra idrografica delle incisioni dissecate dal Sele, dal Calore e da altri corsi d'acqua minori (Cinque et al., 1986).

La bassa valle fluviale, invece, posta ad ovest di Borgo San Cesareo tra la confluenza del F. Calore in sinistra idrografica del Sele e la foce, è caratterizzata dalla presenza di 4 ampi meandri fin oltre Ponte Barizzo ed infine da un segmento subrettilineo lungo circa 3 km fino alla località Foce del Sele, dove il fiume sbocca nel Mar Tirreno.

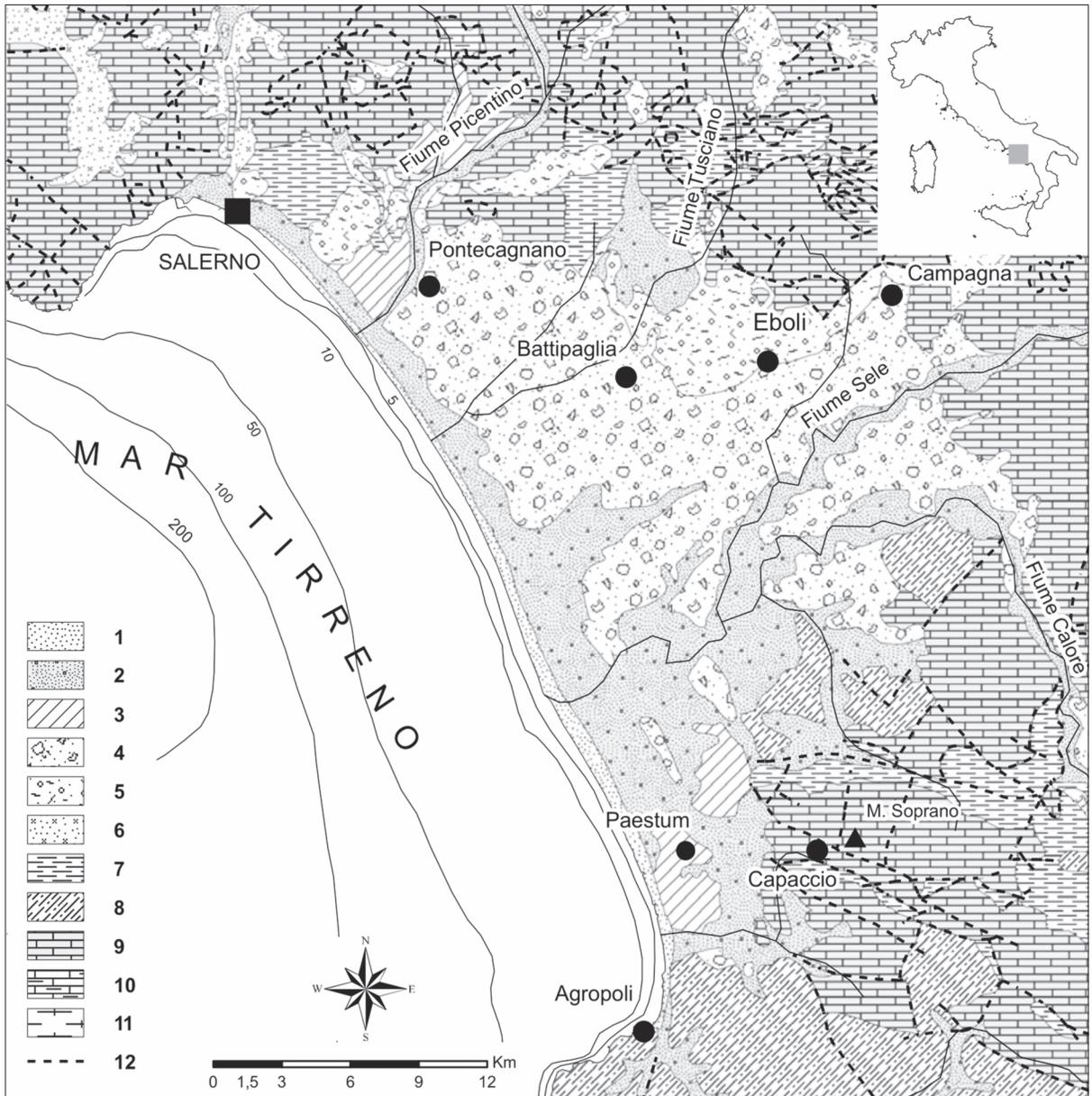


Figura 1 - Schema geologico semplificato della Piana del Fiume Sele (Golfo di Salerno): 1) spiagge e dune costiere; 2) alluvioni, sedimenti lacustri e lagunari; 3) travertini; 4) antichi depositi marini e alluvionali terrazzati, dune, spiagge; 5) conglomerati alluvionali dislocati; 6) depositi piroclastici e vulcano-sedimentari; 7) successioni terrigene mioceniche preorogene e sinorogene; 8) gruppo del cilento; 9) unità carbonatiche; 10) unità lagonegresi; 11) unità nord-calabrese; 12) faglie.

Il sistema di foce, nonostante gli intensi fenomeni d'erosione registrati negli ultimi 50 anni, conserva ancora ai margini alcuni elementi morfologici caratteristici di un delta tra i quali riconosciamo il lieve protendimento della linea di riva verso il largo, in corrispondenza delle ali un tempo quasi simmetriche ed attualmente erose e la debole flessione verso il largo degli assi di culminazione dei cordoni dunari, sia l'attuale

che il tardo-olocenico, più accentuata in prossimità di entrambe le sponde in destra e sinistra idrografica. In ogni caso, la morfografia del sistema di foce appare del tipo intermedio tra un delta ed un estuario, con una tendenza evolutiva verso quest'ultima forma.

In quest'area sono stati identificati depositi di spiaggia sormontati da cinque cordoni dunari subparalleli alla linea di riva attuale e di differenti età, decrescenti in direzione E-W ovvero dai più antichi (130 ka BP), posti nelle aree interne della piana, verso i più recenti (~2 ka BP), ubicati invece a breve distanza dalla battigia (Budillon et al., 1994).

Le quote medie delle culminazioni degli assi dei paleocordoni dunari sono comprese tra +25 e +1 m e diminuiscono dai più antichi ai più recenti. In particolare, sulla base di datazioni, tali depositi eolici sono stati attribuiti ad alti stazionamenti del livello marino d'età tirreniana ed olocenica (Brancaccio et al., 1986; Russo, 1990; Amato et al., 1991; Russo e Belluomini, 1992; Barra et al., 1998).

I cordoni dunari olocenici rivestono anche un rilevante significato geoarcheologico ed insieme a quelli d'età pleistocenica superiore rappresentano importanti elementi morfosedimentari utili per la ricostruzione paleoambientale della piana, nonché dell'evoluzione della linea di riva tra il Tirreniano e l'epoca greco-romana.

Secondo Budillon et al. (1994), in accordo con i precedenti Autori, l'attuale quota dei cordoni dunari e la presenza di depositi marini trasgressivi nel substrato a mare è indice di movimenti differenziati, con un generalizzato sollevamento tettonico a terra e con fenomeni di subsidenza a mare, di età sin- e post-Tirreniano, che nell'insieme hanno determinato il basculamento del sistema Golfo di Salerno-Piana del Sele con fulcro ubicato sulla zona costiera.

## Metodologia

Lo studio dell'evoluzione della linea di costa del tratto litoraneo compreso tra Salerno ed Agropoli, avvenuto negli ultimi 50 anni, è stato condotto utilizzando riprese aeree storiche e metodologie proprie dell'aerofotogrammetria con elaborazione di cartografia numerica e immagini digitali ortorettificate utili alla ricostruzione delle variazioni della linea di costa nonché della geometria di tutte le entità geografiche restituite in forma cartografica convenzionale.

Il buon esito di tale applicazione metodologica passa attraverso l'accettazione di:

- omogeneizzazione della rete di appoggio alle prese aeree;
- validazione ed accettazione degli orientamenti assoluti e relativi;
- scelta degli appoggi topografici e successive validazioni di questi ultimi;
- corretta compensazione finale degli errori;
- accettazione degli errori che da essa conseguono e scelta della scala di restituzione cartografica.

La metodica fotogrammetrica consente di ottenere prodotti cartografici raffinati in cui tutte le entità restituite sono connotate da triplette x, y, z spazialmente e geograficamente orientate che rendono possibile la valutazione di ogni variazione ambientale e morfologica, sia di natura antropica che naturale.

Nello specifico sono state utilizzate prese aerofotografiche relative agli anni 1954-1955, 1984, 1994 e 2001 (Tab. 1).

Tabella 1 - La tabella indica la data dei voli, la scala delle foto utilizzate, il numero dei punti utilizzati per le triangolazioni, gli appoggi e i relativi residui di errore.

Data voli	Scala fotografica	Numero di punti utilizzati	Residui massimi sui punti
1954-1955	1: 36.000/37.000	151	n. 2 punti > 180 cm
1984	1: 28.000	181	< 70 cm
1994	1: 4.000	1066	< 50 cm
2001	1: 14.000	234	< 100 cm

La restituzione cartografica ha interessato una fascia costiera ampia circa 300 m a partire dalla battigia. Le modalità tecniche per l'elaborazione della cartografia numerica impongono, prioritariamente, l'accertamento e la verifica dei punti di appoggio cartografici.

L'inquadramento planimetrico ed altimetrico della cartografia è stato derivato dalla rete dei punti dell'IGMI, utilizzati per la formazione delle tavolette 1: 25.000 delle zone, oltre che da punti omogenei e comuni a tutte le diverse prese aerofotografiche di cui è stata, preventivamente, accertata l'idoneità (fabbricati di impianto, elementi inamovibili quotati ecc.); le coordinate di questi ultimi sono state acquisite dalla cartografia regionale realizzata, su prese aeree 1998, alla scala 1: 5.000.

Le uniche difficoltà da segnalare sono state quelle relative alle aerofoto 1954/55, realizzate dall'Istituto Geografico Militare Italiano, poiché alcune di esse si presentano alquanto danneggiate mentre alcune coppie stereometriche, mancanti delle marche per l'orientamento interno, sono state ricostruite successivamente dai tecnici dello stesso Ente. Ciò ha costretto ad utilizzare poco le triangolazioni di interesse strisciate di presa optando, spesso, per l'orientamento assoluto su coppie (modelli), al fine di ridurre gli errori ed affinare il più possibile i singoli modelli e le relative concatenazioni attigue.

A partire dalla rete geodetica esistente è stata determinata, quindi, una rete di punti di raffittimento planimetrici ed altimetrici atti a consentire la determinazione dei punti di appoggio delle aerofotografie. Per ogni coppia di fotogrammi sono stati determinati 6 punti di appoggio oltre ad un punto nella zona centrale utilizzando, come detto in precedenza, i punti trigonometrici dell'I.G.M.I. o punti riconoscibili, collimabili e coerenti per tutte le aerofoto storiche usate.

Tutti i punti osservati e monografati sono stati utilizzati per effettuare triangolazioni aeree complessive, o per modelli, compensate per l'intera estensione ed il metodo utilizzato è stato quello della triangolazione aerea per blocchi; le osservazioni sono state eseguite su stereorestitutore analitico mod. Digicart 40 della Galileo di Firenze, secondo il metodo dei modelli indipendenti.

Il calcolo di compensazione è stata eseguito utilizzando algoritmi di compensazione (Galetto e Inghilleri, 1967).

In Tabella 1 è indicata la data dei voli, la scala della foto, il numero dei punti utilizzati per le triangolazioni, gli appoggi e i relativi residui di errore.

La tabella evidenzia come i voli utilizzati presentino differenti anni di esecuzione, quote di presa e conseguente diversa scala fotografica; ciò renderebbe incongrua un'unica restituzione cartografica se non fosse per la congruità del grado di errore (residui) sui punti collimati.

La scelta della scala di rappresentazione ha tenuto conto dell'errore massimo ammissibile "q" nella posizione planimetrica dei punti ben individuati sulla carta e sul terreno, che è pari, graficamente, a 0.4 mm. Pertanto se con misure di elevata precisione effettuate sul terreno si mettono in evidenza gli errori  $dN$  e  $dE$  delle coordinate di un punto lette sulla carta, si dovrà sempre verificare che:

$$(dN^2 + dE^2)^{1/2} \leq t$$

dove:  $t = 2.0$  m per la scala 1:5000 e l'errore massimo ammissibile "q" della quota di un punto ben localizzato e ben individuabile sul terreno, messo in evidenza con misure di elevata precisione sarà :

$q = 1.20$  m per la scala 1:5000.

La scelta della scala di rappresentazione 1: 5.000 risulta coerente con i criteri di accettazione che vedono gli errori riportati in Tabella 1, ad eccezione di due punti, tutti compatibili ed inferiori alle tolleranze di scala sopracitate.

La cartografia è stata rappresentata nella proiezione di Gauss, il rilevamento ed il relativo reticolato cartesiano è stato riferito al sistema nazionale Gauss-Boaga.

Nella cartografia sono stati riportati tutti i particolari naturali ed artificiali del terreno con una densità che non pregiudica la chiarezza di lettura della sintesi grafica così realizzata, mentre l'altimetria è stata rappresentata da punti quotati isolati e/o da curve di livello con equidistanza di 5.0 m.

La formazione di cartografia numerica con metodo aerofotogrammetrico consente di discretizzare le entità territoriali, spazialmente orientate e riferite, osservate in acquisizione strutturandole in livelli (*layers*), differenziando le entità restituite per codici e colori convenzionali, ciò rende possibile aggiungere la 4<sup>a</sup> dimensione, quella storica che completa in modo soddisfacente il quadro conoscitivo complessivo.

La documentazione cartografica prodotta ha fornito indispensabili dati metrici e tridimensionali, non ottenibili con altre metodiche, consentendo analisi sugli aspetti geomorfologici e morfogenetici nonché sull'evoluzione temporale degli stessi.

Le osservazioni sono state estese ad alcuni tratti di aste fluviali e sistemi di foce (Sele e Tusciano) acquisendo dati, aspetti territoriali ed ambientali di dettaglio. È stata così sviluppata un'analisi diacronica (Figg. 2 e 3), delle aree monitorate, che ha permesso di fissare l'esatta posizione della linea di costa riferita agli anni delle aerofoto e di definire con esattezza le tendenze evolutive in termini di arretramento o avanzamento della riva.

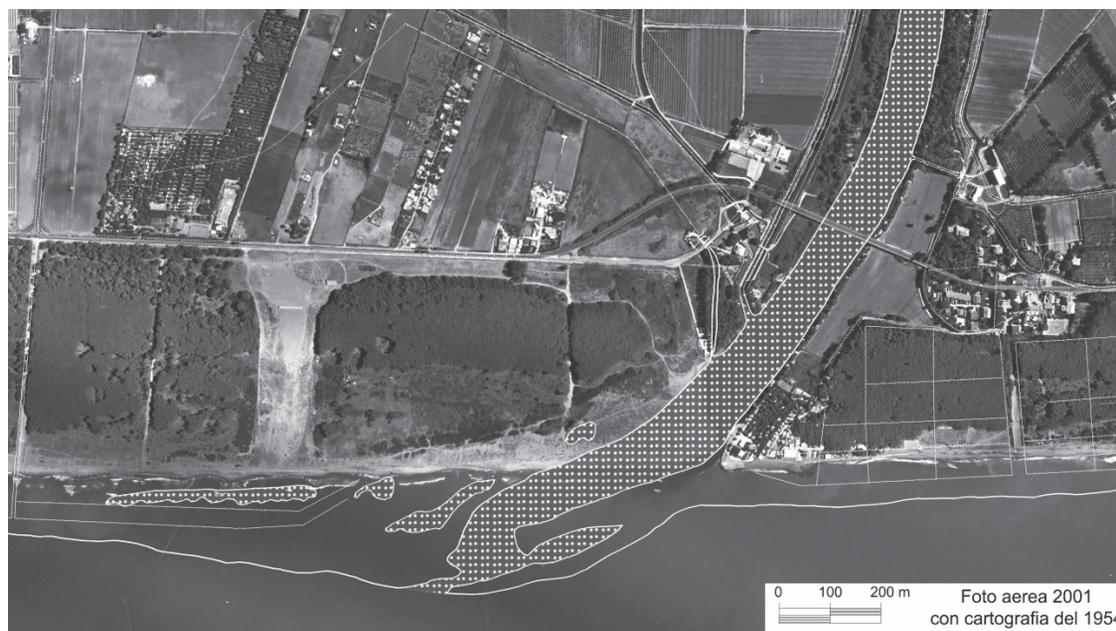


Figura 2 - Variazione della linea di riva, e ambienti di transizione collegati, alla foce del Fiume Sele risultante dall'analisi diacronica basata su aerofoto del 2001 e sulla cartografia I.G.M.I. del 1954.

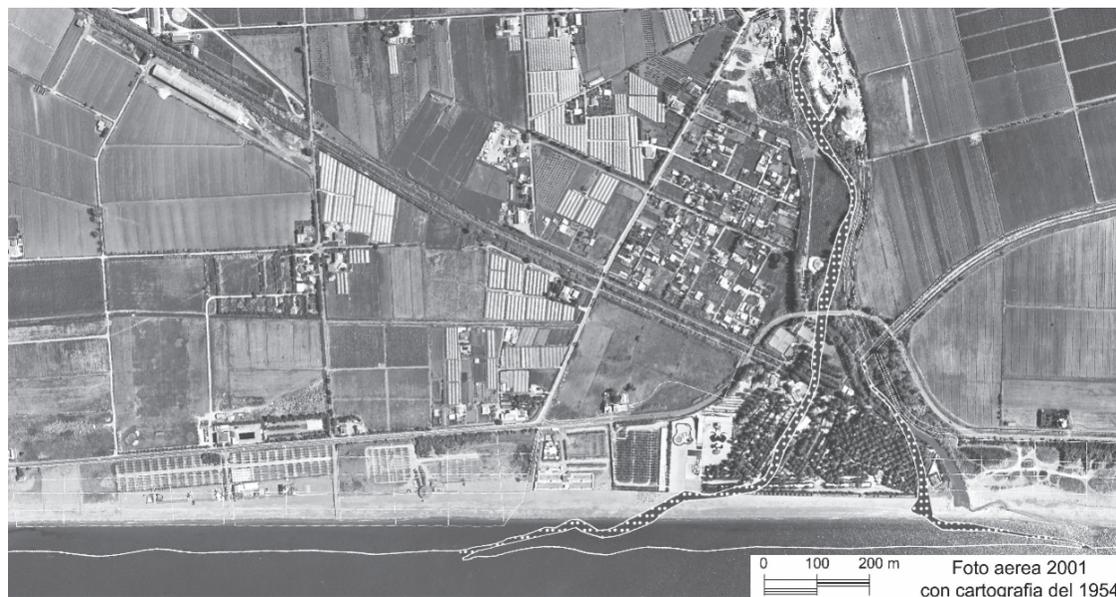


Figura 3 - Variazione della linea di riva, e ambienti di transizione collegati, alla foce del Fiume Tusciano risultante dall'analisi diacronica basata su aerofoto del 2001 e sulla cartografia I.G.M.I. del 1954.

E' stato, altresì, realizzato un elaborato cartografico digitale (ortofotocarta), in cui al tratto grafico convenzionale è sostituito l'elemento immagine elementare (*pixel*) ortocorretto, che permette una fruibilità dei tematismi estremamente univoca.

Metodologicamente si è operato creando il modello di dati spaziali georiferito in modo volumetrico e planoaltimetrico realizzando, in modo prototipale, un DEM (*Digital Elevation Model*) con costituzione di matrice TIN (Triangulated Irregular Network) e costruzione di un modello solido con utilizzo di *breakline* (strade, aste fluviali, edificato) e *contour* (laghi e mare) al fine di ortogonalizzare le riprese aeree; tale processo riporta il *pixel* di acquisizione in posizione ortogonale corretta rispetto alla posizione geografica.

Sulle stesse immagini di cartografia digitale, così costituite e relative al 2001, è stato successivamente sovrimposto il modello vettoriale dell'anno di ripresa 1954-55 (Figg. 2 e 3) ottenendo così una immediata fruizione di tutte le variazioni tematiche avvenute (linea di costa, uso del suolo agricolo, urbano, aspetto morfo-evolutivo) tutte valutabili in modo plano-altimetrico.

Quest'ultima elaborazione dà modo di effettuare ulteriori analisi e modellistiche solide (carta delle acclività, delle altezze) predittive sull'impatto di opere antropiche realizzate e/o da eseguire.

Le procedure utilizzate si caratterizzano per l'alta precisione e l'elevata versatilità del prodotto finale, archiviabile in *database*, gestibile ed aggiornabile in *editing off line* e costituente la base dati per Sistemi Informativi Geografici (GIS).

Ciò schiude nuovi scenari prefigurando applicazioni ed analisi (monitoraggio *ex ante*) con raccolta di dati metrici e tematici estremamente raffinati. E' evidente come l'utilizzo corretto di prese aeree storiche offra possibilità di studi a scala territoriale anche molto vasta con precisioni certamente ineguagliate da altre metodologie ad eccezione di quelle topografiche che difficilmente hanno il vantaggio diacronico storico e di ampiezza territoriale.

### Analisi dei dati e discussione

Il litorale della Piana del Sele, in prevalenza sabbioso e a tratti sabbioso-ciottoloso, è stato interessato da variazioni della linea di riva la cui ricostruzione è basata sull'allineamento delle torri costiere a pianta circolare risalenti al XIII e XIV secolo. Dalla loro posizione si evince che la riva era posta a circa 200-250 m più al largo dell'attuale e che essa ha subito negli ultimi secoli consistenti fenomeni di arretramento intervallati da brevi periodi durante cui la costa è avanzata (De Pippo et al., 1989).

In particolare, l'analisi cartografica storica ed aerofotogrammetrica ha messo in evidenza che l'evoluzione recente ed attuale del litorale di Paestum a partire dal 1800 è stata caratterizzata da fenomeni alquanto differenziati nelle diverse zone a N o a S della foce fluviale del Sele. La velocità di avanzamento risulta inferiore rispetto a quella registrata in epoche precedenti e talora in qualche zona si rilevano arretramenti del litorale per fenomeni d'erosione (Cocco e De Pippo, 1988).

Infatti, procedendo verso Sud i fenomeni di avanzamento si riducono gradualmente fino a raggiungere una sostanziale stabilità nelle aree più meridionali. Nelle zone a Nord della foce, invece, si osserva l'alternanza di settori in avanzamento ed arretramento.

In particolare, tra il 1809 ed il 1908 (De Pippo et al., 1989) si registra un lieve arretramento della linea di riva nella zona più settentrionale (Mercatello - foce del Tusciano), seguito da una fase di avanzamento protrattasi fino al 1954, mentre nelle altre zone si osserva una generale progradazione fino a metà degli anni '50 (Cocco e De Magistris, 1988; Cocco e De Pippo, 1988; De Pippo et al., 1989).

I dati relativi agli ultimi 50 anni, invece, indicano una complessiva tendenza all'arretramento della linea di costa nel Golfo di Salerno (Tab. 2), con differenti valori nelle diverse aree e con alcuni tratti in controtendenza. In particolare, al fine di meglio evidenziare le tendenze evolutive nei diversi tratti costieri, l'intero litorale è stato suddiviso in quattro macroaree, di cui la prima si estende dalla città di Salerno fino alla foce fluviale del Picentino, la seconda tra le foci del Picentino e del Tusciano, la terza tra le foci del Tusciano e del Sele e l'ultima da questa località fino ad Agropoli. La Figura 4 mostra l'andamento delle variazioni della linea di riva nei periodi 1954-1984 e 1984-2001 per il litorale in esame suddiviso in 4 differenti settori costieri; in particolare il primo di essi si sviluppa tra la città di Salerno e la foce del Fiume Picentino, il secondo si estende dal Fiume Picentino al Fiume Tusciano, il terzo dal Fiume Tusciano al Fiume Sele e l'ultimo da quest'ultima località fino all'abitato di Agropoli.

Tabella 2 - Entità delle variazioni della linea di riva registrate lungo il litorale del Sele negli ultimi 50 anni (1954-1984, 1984-2001 e 1954-2001), relative ai quattro settori costieri in cui è stato suddiviso il litorale in esame.

	st.	variazione linea di riva (m)		
		1954-84	1984-01	tot
a) Salerno - foce Picentino	1	32	-14	18
	2	22	-9	13
	3	7	-15	-8
	4	8	-6	2
	5	7	-9	-2
	6	1	-8	-7
	7	2	-6	-4
	8	4	-7	-3
	9	5	-5	0
	10	6	-5	1
	11	0	-4	-4
	12	-10	-7	-17
	13	-15	-8	-23
	14	-2	-19	-21
	15	-15	-4	-19
	16	-20	0	-20
	17	-31	-4	-35
	18	-40	-3	-43
	19	-22	-7	-29
	20	-26	-1	-27
	21	-34	-4	-38
	22	-45	-2	-47
	23	-40	0	-40
b) foce Picentino - foce Tusciano	1	-39	-7	-46
	2	-35	-8	-43
	3	-37	-2	-39
	4	-35	-5	-40
	5	-37	-4	-41
	6	-42	-1	-41
	7	-32	-5	-37
	8	-43	-7	-50
	9	-41	16	-57
	10	-44	-10	-54
	11	-57	-6	-63
	12	-40	-8	-48
	13	-45	-3	-48
	14	-56	-3	-59
	15	-58	5	-53
	16	-70	6	-64
	17	-61	10	-51
	18	-52	8	-44
c) foce Tusciano - foce Sele	1	-30	10	-20
	2	-21	12	-9
	3	2	6	8
	4	-10	9	-1
	5	0	-3	-3
	6	4	-8	-4
	7	-9	7	-2
	8	12	-14	-2
	9	-12	12	0
	10	12	-10	2
	11	7	-2	5
	12	-9	15	6
	13	-19	11	-8
	14	-4	28	24
	15	-2	6	4
	16	-3	22	19
	17	21	-9	12
	18	10	11	21
	19	-2	-26	-28
	20	-3	-32	-35
	21	-20	-20	-40
	22	-26	-18	-44
	23	-25	-37	-62
	24	-50	-22	-72
	25	-61	-23	-84
	26	-73	-24	-97
	27	-101	-21	-122
	28	-192	-23	-215

	st.	variazione linea di riva (m)		
		1954-84	1984-01	tot
b) foce Picentino - foce Tusciano	1	-39	-7	-46
	2	-35	-8	-43
	3	-37	-2	-39
	4	-35	-5	-40
	5	-37	-4	-41
	6	-42	-1	-41
	7	-32	-5	-37
	8	-43	-7	-50
	9	-41	16	-57
	10	-44	-10	-54
	11	-57	-6	-63
	12	-40	-8	-48
	13	-45	-3	-48
	14	-56	-3	-59
	15	-58	5	-53
	16	-70	6	-64
	17	-61	10	-51
	18	-52	8	-44
c) foce Tusciano - foce Sele	1	-30	10	-20
	2	-21	12	-9
	3	2	6	8
	4	-10	9	-1
	5	0	-3	-3
	6	4	-8	-4
	7	-9	7	-2
	8	12	-14	-2
	9	-12	12	0
	10	12	-10	2
	11	7	-2	5
	12	-9	15	6
	13	-19	11	-8
	14	-4	28	24
	15	-2	6	4
	16	-3	22	19
	17	21	-9	12
	18	10	11	21
	19	-2	-26	-28
	20	-3	-32	-35
	21	-20	-20	-40
	22	-26	-18	-44
	23	-25	-37	-62
	24	-50	-22	-72
	25	-61	-23	-84
	26	-73	-24	-97
	27	-101	-21	-122
	28	-192	-23	-215

➔	Avanzamento
➔	Arretramento
↔	Equilibrio

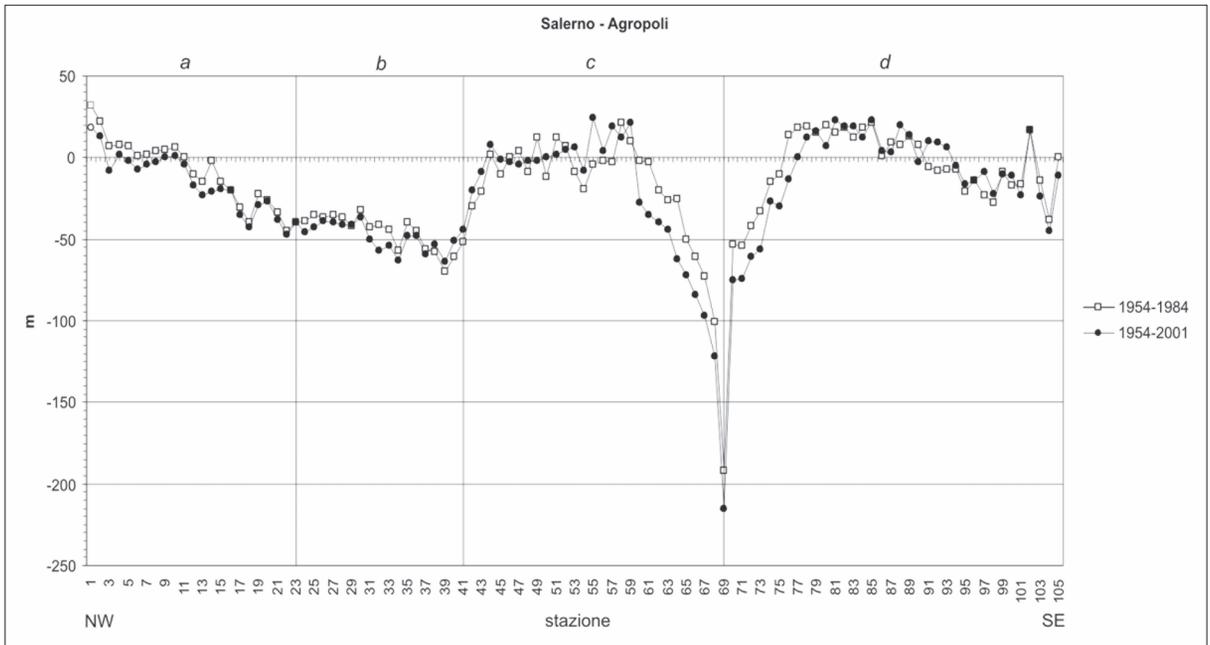
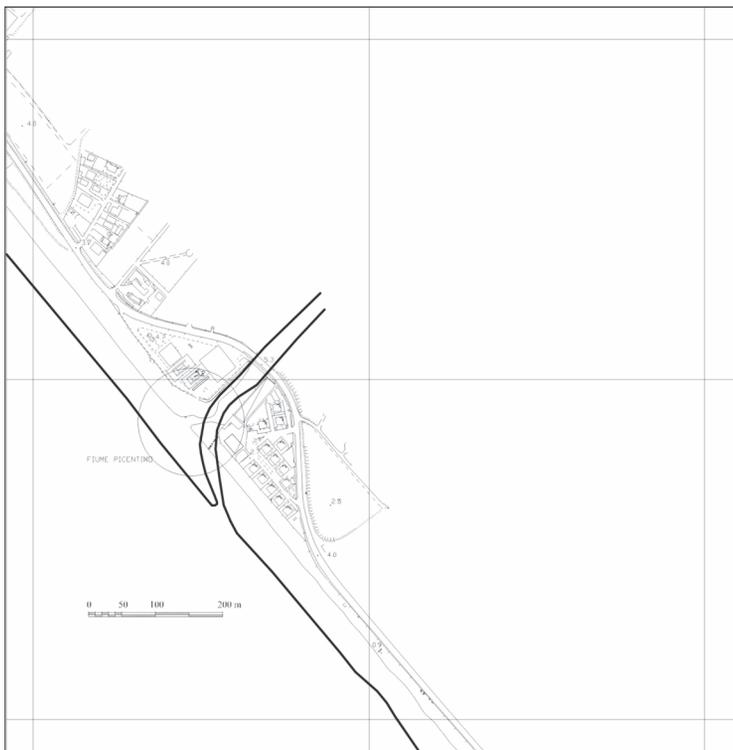


Figura 4 - Diagramma della variazione della linea di riva nei periodi 1954-1984 e 1984-2001 nelle 4 macroaree analizzate: a) Salerno - foce F. Picentino; b) foce F. Picentino - foce F. Tusciano; c) foce F. Tusciano - foce F. Sele; d) foce F. Sele - Agropoli.



a) Salerno - Foce Picentino

In questo tratto (Fig. 5) si osserva un generale arretramento che mostra i suoi massimi valori in prossimità dello Stadio Arechi (- 43 m) e della foce del F. Picentino (- 47 m). In particolare, nella parte più meridionale del settore litoraneo si registra un arretramento più marcato durante il trentennio 1954-1984, mentre nell'ultimo decennio la tendenza all'arretramento è generale ma meno accentuata, con punte massime nei pressi della città di Salerno (-13 m a Foce Irno e -11 m sul litorale di Via Leucosia).

Figura 5 - Stralcio cartografico della foce del Fiume Picentino. La linea a tratto grosso si riferisce al 1954, quella fine al 2001.

I fenomeni d'erosione riscontrati lungo questa fascia di litorale, oltre che alla progressiva diminuzione nell'apporto di sedimenti fluviali alla costa da parte dei principali corsi d'acqua (T. Mariconda e F. Picentino), sono connessi soprattutto all'intensa urbanizzazione, spinta fino alla linea di riva.

Questa ha comportato nel tempo la progressiva scomparsa del cordone dunare recente, la consistente riduzione della profondità dell'antistante spiaggia ed il relativo aumento della pendenza media. Inoltre, la presenza della struttura portuale commerciale e turistica di Salerno e di numerose barriere artificiali emerse parallele alla riva, sia radenti sia distaccate, ha interferito con la dinamica litoranea, amplificando localmente i fenomeni erosivi delle spiagge. A testimonianza di ciò la particolare morfologia della costa che ha mostrato chiari segni di erosione, a sud delle opere di difesa, appena dopo la costruzione di esse.

#### b) Foce Picentino - foce Tusciano

La tendenza all'arretramento in questo tratto costiero (Fig. 6) è ancora più evidente e generalizzata, con oscillazioni comprese tra -37 m e -64 m, e anche in questo caso gli arretramenti maggiori si registrano nel primo trentennio, con una punta pari a -70 m in corrispondenza della zona ove sfociava il F. Tusciano nel 1954; attualmente la stessa foce risulta spostata verso SE di circa 1 km. Si sottolinea la completa antropizzazione dell'area di foce del F. Tusciano,



con spostamento indotto dell'alveo e la completa scomparsa della naturale cassa di espansione del fiume (alveo di magra) per diverse centinaia di metri verso l'entroterra. Inoltre, si registra una divagazione della foce del T. Asa da SE a NW tra il 1954 ed il 1984 di circa 300 m, e successivamente da NW a SE tra il 1984 ed il 2001, di circa 250 m. In questo tratto di litorale sono assenti opere di difesa.

Figura 6 - Stralcio cartografico della foce del Fiume Tusciano. La linea a tratto grosso si riferisce al 1954, quella fine al 2001. Per la scala vedi Figura 5.

#### c) Foce Tusciano - Foce Sele

In questo settore (Fig. 7) l'evoluzione della linea di riva risulta più articolata, sia nel tempo sia nello spazio. Pur evidenziandosi una complessiva tendenza all'arretramento, tuttavia si registra un'alternanza di arretramenti ed avanzamenti nel primo tratto (F. Tusciano - Campolongo) ed una decisa tendenza all'arretramento in quello successivo, con un massimo di -215 m in corrispondenza della foce del F. Sele. In quest'ultimo tratto il maggiore arretramento si registra anche in tal caso nel primo trentennio (-192 m in corrispondenza della foce del fiume Sele), mentre nell'ultimo trentennio gli arretramenti, seppur generalizzati, non sono mai risultati superiori a -40 m. Nell'ultimo decennio, inoltre, si evidenzia una decisa tendenza alla progradazione della linea di riva in un tratto esteso per circa 3 km, tra Lido Lago e località Campolongo, con punte di +24 m laddove in precedenza si osservava un'alternanza di fasi di arretramento ed avanzamento. Inoltre, si registra una progressiva divagazione della Foce Idrovora da NW verso SE tra il 1954 ed il 2001, dell'ordine di circa 250 m. Nell'intero tratto di litorale il grado di antropizzazione risulta molto più basso dei precedenti e spesso consiste nella sola presenza di strutture turistico-ricreative, stabilimenti balneari e



strade di accesso agli stessi. Inoltre, è presente il cordone dunare recente, in genere esteso e ben conservato, anche se a luoghi mostra fenomeni d'erosione connessi proprio alla presenza delle strutture dei lidi e di scalzamento al piede a seguito di intense mareggiate, laddove la spiaggia risulta meno profonda. Infine, sono assenti opere di difesa costiera.

#### *d) Foce Sele - Agropoli*

In questo tratto più meridionale del litorale si registra un generale arretramento soprattutto nei primi 3 km, con valori fino ad oltre 70 m in prossimità del sistema di foce del Sele. Tale arretramento tende gradualmente a diminuire, fino ad annullarsi, procedendo verso SE.

**Figura 7 - Stralcio cartografico della foce del Fiume Sele. La linea a tratto grosso si riferisce al 1954, quella fine al 2001. Per la scala vedi Figura 5.**

Nel successivo tratto costiero, fino alla foce del F. Capodifiume, si osserva invece una complessiva tendenza all'avanzamento della riva, soprattutto durante il primo trentennio, con valori massimi di +23 m tra Laura e Torre di Paestum. Al contrario, nel tratto successivo, tra la foce del F. Capodifiume ed Agropoli, si registra di nuovo una complessiva tendenza all'erosione, anch'essa manifestatasi specialmente nel primo trentennio, con un massimo di -23 m presso la foce del F. Solofrone. In ambedue i tratti, tuttavia, nell'ultimo decennio non si evidenzia una netta tendenza evolutiva, registrandosi limitati arretramenti o avanzamenti della linea di riva nelle singole stazioni di misura. Inoltre, anche la foce fluviale del Sele è stata interessata da una graduale migrazione da NW verso SE tra il 1954 ed il 2001, pari complessivamente a circa 800 m, a differenza della Foce Fiumarello che tra il 1954 ed il 1984 si è spostata da SE verso NW e successivamente, tra il 1984 ed il 2001, da NW verso SE. L'ampio cordone dunare recente appare in discreto stato di conservazione, scarsamente urbanizzato e colonizzato da un'estesa pineta. Infine, questo tratto di litorale non presenta opere di difesa costiera, ad eccezione di un breve segmento di foce in destra idrografica del F. Sele.

### **Conclusioni**

Alla luce di quanto si evince dall'analisi cartografica della fascia costiera del Sele relativa agli ultimi 50 anni, il litorale in studio mostra una generale e localmente diffusa tendenza all'arretramento, talora con fenomeni d'erosione estesi fino al piede della duna recente.

I focus erosivi rilevati sono connessi per lo più allo scarso apporto solido fluviale dovuto sia al prelievo d'inerti lungo gli alvei, sia alle sistemazioni idraulico-forestali dei bacini e agli sbarramenti artificiali, nonché all'asporto diretto di sedimenti dalle aree dunari e di spiaggia ed a luoghi all'intensa antropizzazione della fascia costiera (De Pippo et al., 1989).

L'analisi cartografica della linea di riva ha inoltre messo in evidenza che in gran parte dei quattro settori esaminati la velocità media di arretramento del litorale risulta pari a 1.07 m/anno nel trentennio 1954-1984 e 0.62 m/anno nell'arco dei 17 anni del più breve intervallo 1984-2001; pertanto, la velocità media di recessione della riva nell'intero periodo di 47 anni risulta pari a 0.91 m/anno. Invece, la velocità media di avan-

zamento del litorale, limitata comunque a settori estesi meno di 1 km, risulta di 0.39 m/anno nel periodo 1954-1984 e di 0.55 m/anno nel periodo 1984-2001; pertanto, la velocità di progradazione della riva nell'intero intervallo di 47 anni risulta in totale pari a 0.44 m/anno.

In sintesi, pur considerando le locali situazioni di avanzamento della riva, il bilancio nel complesso risulta ugualmente in deficit, con valori della velocità di arretramento compresi tra 0.06 e 0.68 m/anno rispettivamente nei periodi 1954-1984 e 1984-2001, ovvero pari a 0.28 m/anno tra il 1954 ed il 2001. Questo dato è il risultato della mutua interazione tra vari processi in atto soprattutto negli ultimi 50 anni a scala locale, regionale e globale. Tra essi, in ordine di importanza riconosciamo la scarsa e spesso assente compensazione delle perdite per apporto di nuovi sedimenti fluviali, verosimilmente dovuta alla diminuzione delle piogge nelle ultime decadi, alla presenza di sbarramenti artificiali lungo i corsi fluviali (es. Traversa di Persano) ed alla coltivazione di cave in alveo. Segue poi l'irrigidimento artificiale della linea di riva a seguito della costruzione di numerose barriere artificiali emerse, sia distaccate sia aderenti, che interferiscono sulla naturale deriva litoranea dei sedimenti e la spinta antropizzazione costiera per la presenza di strutture ed infrastrutture, sia sul cordone dunare recente sia sulla spiaggia, e la conseguente accelerazione della subsidenza indotta a causa dell'aumento dei carichi delle strutture antropiche su terreni in cui sono presenti livelli organici e pertanto compressibili. Si ha infine l'amplificazione locale dell'innalzamento del livello marino globale, sia per cause tettono-eustatiche sia per le variazioni del clima meteomarinario (diminuzione delle calme di vento, aumento delle eventi estremi) connesse verosimilmente all'alternanza di brevi crisi climatiche caldo-aride e freddo-umide della durata di 20-50 anni (Brückner, 1890; Tomasino e Dalla Valle, 2000; Luongo e Mazzarella, 2004), probabilmente anche al riscaldamento globale ( $+0.6^{\circ}\text{C}$ ; IPCC, 2001) nonché all'isola di calore urbana di Salerno ( $+1.8^{\circ}\text{C}$ ; Palumbo e Mazzarella, 1981).

Inoltre, la deriva litoranea dei sedimenti, con verso prevalente da NW a SE (De Pippo et al., 1989), ha determinato nel corso dell'ultimo cinquantennio una maggiore erosione nei settori settentrionali prossimi all'abitato di Salerno, che sono tra l'altro quelli più antropizzati, ed una generale progradazione in quelli meridionali, contigui al promontorio di Agropoli. L'effetto risultante, già noto in altre fasce costiere campane (Garigliano-Volturno, Sarno), e verosimilmente in gran parte di quelle tirreniche sottese a piane alluvionali, anche sulla base dell'orientamento degli assi di culminazione dei cordoni dunari pleisto-olocenici (De Pippo et al., 2007(a) e (b)), è una graduale rotazione in senso orario della linea di riva, con fulcro ubicato nei pressi della foce fluviale del Sele.

Nell'insieme tali fenomeni sono dovuti e nello stesso tempo contribuiscono nel breve periodo alla perdita di consistenti volumi di sedimenti sabbiosi del litorale, causando lo smantellamento della duna recente che assume un aspetto mammellonare, nonché il generale degrado dell'ambiente costiero oltre che ingenti danni in termini di mancati introiti economici per il settore turistico-ricreativo. Infine, i dati ad oggi disponibili e la relativa cartografia elaborata in ambiente GIS impongono di avviare a breve una verifica ed un'attività di monitoraggio continuo della linea di costa, particolarmente importante per valutare e verificare se l'evoluzione morfologica del litorale, sia a scala di unità che di sub-unità fisiografica costiera, procede secondo le tendenze riconosciute fino al 2001.

## Bibliografia

- Amato A., Ascione A., Cinque A. e Lama A. (1991) - *Morfoevoluzione, sedimentazione e tettonica recente dell'Alta Piana del Sele e delle sue valli tributarie (Campania)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 14: 5-16.
- Barra D., Calderoni G., Cinque A., De Vita P., Roskopf C. e Russo Ermolli E. (1998) - *New data on the evolution of the Sele River coastal plain (southern Italy) during the Holocene*. Il Quaternario, 11: 287-299.
- Bartole R., Savelli D., Tramontana M. e Wezel F.C. (1984) - *Structural and sedimentary features in the Tyrrhenian margin off Campania, southern Italy*. Mar. Geol., 55: 163-180.
- Branaccio L., Cinque A., Belluomini G., Branca M. e Delitala L. (1986) - *Isoleucine epimerization dating and tectonic significance of upper Pleistocene sea-level features of the Sele Plain (Southern Italy)*. Zeit. Geomorph. N. F., Suppl. Bd., 62: 159-166.
- Brückner E. (1890) - *Klimaschwankungen seit 1700 nebenst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit (Climatic fluctuations since 1700 in comparison to the Diluvial era, in German)*. Geographische Abhandlungen, Vienna, Austria, IV(2): 153-184.

- Budillon F., Pescatore T. e Senatore M.R. (1994) - *Cicli deposizionali del Pleistocene superiore-Olocene sulla piattaforma continentale del Golfo di Salerno (Tirreno Meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It., 113: 303-316.
- Capaldi G., Cinque A., Romano P. (1988) - *Ricostruzione di sequenze morfoevolutive nei Picentini Meridionali (Campania, Appennino meridionale)*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 1: 207-222.
- Cestari G. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala di 1:100.000. Foglio 198 Eboli*. Serv. Geol. D'Italia, Roma.
- Cinque A., Ascione A. e Caiazzo C. (2000) - *Distribuzione spazio-temporale e caratterizzazione della fagliazione quaternaria in Appennino meridionale*. In: Galadini F., Meletti C. e Vittori E. (eds.), *Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie. Risultati del progetto 5.1.2 "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili". Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica 1996-1999*, CNR-GNDT, Roma, pp. 203-218.
- Cinque A., Brancaccio L., Sgrosso I., Iaccarino G. e Russo F. (1986) - *Guida alle escursioni geomorfologiche (Penisola Sorrentina, Capri, Piana del Sele, Monti Picentini)*. Gruppo Nazionale di Geografia Fisica e Geomorfologia, Riunione annuale, Amalfi (SA), 9-12 giugno 1986, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Napoli Federico II, Pubbl. n. 33: 60 pp.
- Cinque A., Guida F., Russo F. e Santangelo N. (1988) - *Dati cronologici e stratigrafici su alcuni depositi continentali della Piana del Sele (Campania): i "Conglomerati di Eboli"*. Geogr. Fis. Dinam. Quatern., 11: 39-44.
- Cocco E. e De Magistris M.A. (1988) - *Evoluzione storica e recente del litorale di Paestum (Golfo di Salerno)*. Atti 74° Congr. Soc. Geol. It., Sorrento, vol. A: 165-171.
- Cocco E. e De Pippo T. (1988) - *Tendenze evolutive delle spiagge della Campania e della Lucania*. Mem. Soc. Geol. It., 41: 195-204.
- De Pippo T., Cocco E., De Magistris M.A., Efaicchio M.T., Giulivo I., Tarallo F. e Valente A. (1989) - *Evoluzione e dinamica litoranea delle spiagge della Piana del Sele (Campania, Italia)*. *Pact.*, 25, 15: 271-277.
- De Pippo T., Donadio C., Pennetta M. e Petrosino C., (2007a)- *Land Units of Sarno River basin, southern Italy*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 10 pp. (in corso di pubblicazione).
- De Pippo T., Donadio C., Pennetta M., Terlizzi F. e Valente A. (2007b) - *Genesis and morphological evolution of Fusàro lagoon (Campania, southern Italy) in the Holocene*. Boll. Soc. Geol. It., 126: 89-100.
- Galletto R. e Inghilleri G. (1967) - *Further developments of the method of aerotriangulation by independent models*. Photogrammetria.
- IPCC (2001) - *Third Assessment Report (TAR) - Climate Change 2001*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Luongo G. e Mazzarella A. (2004) - *La tropicalizzazione della pioggia nel bacino del Mediterraneo*. Accademia dei Lincei, Giornata mondiale dell'acqua - La siccità in Italia (Roma 21 marzo 2003), Atti dei Convegni Lincei, 204: 119-124.
- Ortolani F., Torre M., Russo B. e Di Nocera S. (1979) - *Depositi altomiocenici del bordo settentrionale della Piana del Sele (Campania)*. Boll. Soc. Geol. It., 98: 3-14.
- Palumbo A. e Mazzarella A. (1981) - *The heat-island over Naples*. Weather, 36: 28-29.
- Russo F. (1990) - *I sedimenti quaternari della Piana del Sele. Studio geologico e geomorfologico (con allegata una Carta Geologica a scala 1:50.000)*. Tesi di Dottorato di Ricerca, Pubbl. Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Napoli Federico II: 168 pp.
- Russo F. e Belluomini G. (1992) - *Affioramenti di depositi marini tirreniani sulla piana in destra del Fiume Sele (Campania)*. Boll. Soc. Geol. It., 111: 25-31.
- Tomasino M. e Dalla Valle F. (2000) - *Natural climatic changes and solar cycles: an analysis of hydrological time series*. Hydrological Sciences Journal, 45: 477-489.
- Zuppetta A. e Sava A. (1992) - *Pleistocene brittle deformation in the Eboli Conglomerates (Sele Plain - Campanian Apennines)*. Boll. Soc. Geol. It., 111: 273-281

Ricevuto il 15/10/2007, accettato il 28/01/2008.