

Arretramento ed indice d'erosione lungo il litorale di Alghero

Sergio Ginesu e Stefania Sias

Istituto di Scienze Geologico Mineralogiche, Università di Sassari.
Corso Angjoi, 12 - 07100 Sassari. Email: ginesu@uniss.it, stesi@uniss.it

Riassunto

Lo studio dell'evoluzione della linea di riva nel litorale di Alghero ha messo in evidenza, nei tre anni di osservazione 1999-2002, un arretramento medio della linea di riva di circa 3,5 m, un dato che messo a confronto con quelli desunti da informazioni storiche, confermerebbe un progressivo avanzamento del livello del mare. Il litorale, a bilancio chiuso, evidenzia un forte spostamento dei sedimenti dal tratto centrale verso gli opposti promontori, determinando una deriva indotta dalla presenza dell'isola della Maddalenetta posta all'imboccatura del Golfo. Le cause del fenomeno erosivo sono attribuibili in parte al pesante intervento antropico che ha interessato l'intera rada di Alghero con interventi di ogni tipo e con una marcata urbanizzazione. Lo studio ha considerato 10 stazioni di monitoraggio fisse che hanno permesso di ricavare il volume complessivo della sabbia perduta durante il periodo di osservazione al fine di quantificare l'entità di un possibile intervento di ripascimento del litorale.

L'erosione della spiaggia risulta più grave nel settore meridionale, dove sono concentrate le attività economiche protette dai primi interventi di protezione delle spiagge attuati in Sardegna. Tra gli elementi naturali che favoriscono l'erosione non è trascurabile l'effetto eolico delle masse d'aria provenienti dal IV quadrante che, con letture al suolo, dimostra una propria attività influenzata dalle condizioni locali.

Parole chiave: spiagge, evoluzione della costa, erosione, Sardegna.

Abstract

The study on shorelines evolution along the coast of Alghero has pointed out a mean shoreline recession of about 3.5 m in 3 years of observation. This data confirms the continuous advancing of the sea supported by the historical documentations. The littoral, a pocket beach, shows an evident drift of sediments moving from a central point to the opposite promontories because of the presence of Maddalenetta, a little island located at the entrance of the bay. The reasons for the erosion process can be partially attributed to the vast anthropic utilization of the territory with important public and private works (coastal defence, harbours and resorts). This study has considered 10 observation stations in order to obtain the whole quantity of sand moved during the 3 years in order to renew the beach. Beach erosion is more evident in the southern sector where the most important economic structures of the territory are located. Here, the first coastal defence works of the island are present. The eolian process is an element that contributes to the coastal erosion, mainly due to winds coming from the northwestern sector.

Key words: beaches, coastal evolution, erosion, Sardinia, Italy.

Introduzione

Il presente studio si inquadra nell'attività di ricerca che l'Unità operativa dell'Università di Sassari svolge, da tempo, sullo studio dell'evoluzione costiera e nel monitoraggio dei processi erosivi in atto sui litorali settentrionali dell'Isola nel quadro del programma nazionale M.U.R.S.T. COFIN 2000 e 2002, coordinato dall'Università degli Studi di Genova.

L'indagine sulla rada di Alghero è stata intrapresa per alcuni aspetti peculiari di questo territorio che conferma ancora una volta la rapidità del fenomeno erosivo anche lungo le coste della Sardegna settentrionale (Spano e Pinna, 1956; Aminti e Pranzini, 1993; Atzeni e Ginesu, 1993).

La città catalana, edificata nel 1102 da una famiglia genovese, i Doria, conosce l'industria turistica, prima timidamente, poi sempre più massicciamente fin dal secolo scorso, conoscendo un'affluenza turistica crescente che, nel periodo estivo, aumenta in modo esponenziale.

Inseguendo le richieste del mercato, le amministrazioni pubbliche hanno incentivato tutte le opere turistiche che hanno favorito l'espansione della città verso il litorale determinando il tal modo l'urbanizzazione di tutta la fascia meridionale del litorale nel corso degli ultimi 50 anni.

A condizionare l'assetto del litorale sono anche gli eventi meteomarini più recenti; si possono ricordare gli eventi di tempesta provenienti da Libeccio e da Ponente che, nel 1983, determinarono numerosi danni sulla costa. A causa di questi episodi vennero realizzate alcune opere di protezione del litorale che risultarono essere le prime a difesa delle spiagge nell'intero perimetro costiero della Sardegna. Nove scogliere parallele sormontabili e permeabili furono realizzate a circa 150 metri dalla riva nello specchio di mare antistante l'Ospedale marino ed il nuovo molo di sottoflutto del porto d'Alghero.

Dieci anni dopo questo intervento, in corrispondenza dell'ultima scogliera parallela, a Punta del Paru, antistante il campeggio "Mariposa", vennero realizzate le barriere aderenti. Le evidenti situazioni di degrado, testimoniate dalle forme erosive ai piedi delle dune prospicienti al mare in tutto l'arenile antistante la pineta di Maria Pia, con gli apparati radicali oramai aerei, stanno ad indicare l'intensa erosione marina ancora oggi in atto.

Dal confronto dei dati e delle testimonianze documentali storiche e topografiche, è stato possibile ricostruire le continue trasformazioni che il litorale ha subito nel corso degli ultimi 150 anni. I dati ricavati hanno permesso di elaborare i dati batimetrici riportati nella relativa Carta geomorfologica in scala 1:10.000, relativa alla situazione generale di tutta l'insenatura.

Negli ultimi anni sono state realizzate opere anche a monte della spiaggia che hanno condizionato, anche se marginalmente, l'apporto di sedimenti verso mare; infatti, sono presenti sbarramenti fluviali nel reticolo idrografico che alimenta lo Stagno del Calich dove sono state effettuate diverse opere di bonifica. Inoltre, la costruzione del molo del porto di Fertilia ha ulteriormente diminuito e ostacolato l'apporto sedimentario a mare.

Questo studio, iniziato nel 1999 e concluso nel 2002, tende a valutare il fenomeno dell'erosione marina con l'utilizzo dei dati raccolti e del confronto con quelli storici e quelli provenienti dalla prospezione geomorfologica sul terreno al fine di quantificare la dinamica del litorale e le cause dell'erosione in questo tratto di spiaggia. A tal fine sono stati considerati alcuni lavori effettuati in circostanze e ambienti simili relativi a tratti di costa nell'Italia peninsulare (Caputo et al., 1993; D'Alessandro et al., 1982) che hanno consolidato l'interesse e la validità di alcuni dati ottenuti.

Lineamenti geomorfologici

Il territorio d'Alghero, è ubicato nella parte meridionale della Nurra, sub-regione della Sardegna Nord-occidentale (Fig. 1), che comprende anche parte della costa del Golfo dell'Asinara. Ha uno sviluppo costiero di circa 80 km, dall'insenatura di Porto Poglina, situata a sud della città, sino Porto Ferro a Nord, in un succedersi di insenature e promontori su substrati carbonatici e vulcanici.

Morfologicamente il territorio della Nurra rappresenta i lembi di una microzona piuttosto stabile che conserva nei suoi lineamenti le tracce di un territorio molto evoluto riconducibile a resti di un paleopaesaggio (Pecorini, 1968; Federici et al., 1999; Ginesu, 1984, 1999). In particolare, l'area oggetto del presente studio si trova inserita tra calcari del Mesozoico ed i depositi recenti del Plio-Pleistocene che determinano l'estesa piana retrostante lo Stagno del Calich; lungo il cordone litorale che separa questa piana dal litorale, affiorano le rocce ignimbritiche del ciclo calcareo del Terziario. Tali rocce, accompagnate da sequenze tufaceo-cineritiche, hanno invaso una paleomorfologia modellata sul paesaggio calcareo del Terziario antico costituendo, in tal modo, un substrato ideale alla costituzione di un, seppur modesto, reticolo fluviale.

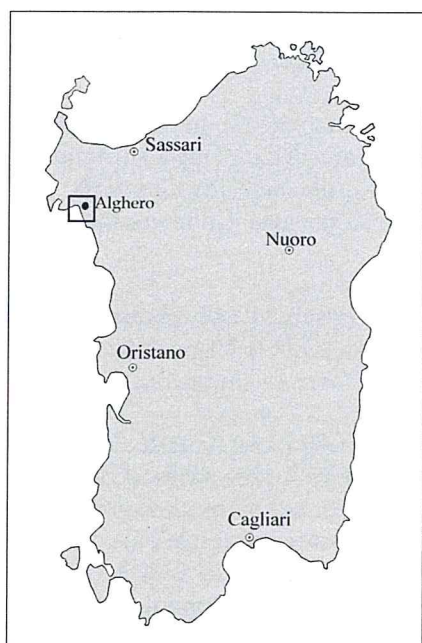


Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio.

Come è evidente dalla Carta geomorfologica allegata, i differenti litotipi influenzano fortemente le forme del territorio come i rilievi cupoliformi che spiccano sul paesaggio pianeggiante, denotando un elevato grado di maturità (*inselberg*) del substrato carbonatico. Le ampie superfici pianeggianti che ricordano questi rilievi sono dei *pediments* sui quali si osservano, localmente, depositi di travertino originatisi dall'alterazione degli stessi calcari, probabilmente durante il tardo Terziario (Cremaschi e Ginesu, 1990) e oggi costituiscono un substrato che influenza particolarmente le coperture di suolo. Il territorio, per la sua condizione di continentalità sin dalla fine del Mesozoico, presenta una complessità geomorfologica definita dal susseguirsi di eventi continentali riferibili a condizioni climatiche con persistenti fasi caldo-umide (Miocene inferiore) e arido-caldo (Miocene superiore) (Cremaschi et al., 1990; Federici et al., 1999). Il modellamento recente risulta più evidente lungo la fascia costiera, dove depositi eolici, intercalati da vecchie linee di riva, ricoprono gran parte del litorale algherese ed in particolare la cala di Porticciolo; qui si osserva la successione classica del Pleistocene superiore marino caratterizzata dalla presenza dei livelli di spiaggia del Tirreniano coperti dalle eolianiti del Würm, con livelli di paleosuoli, sino alla quota dei 10 metri s.l.m.

Evoluzione della linea di costa

Come gran parte della costa della Nurra, anche il litorale di Alghero è stato coinvolto nelle profonde modificazioni della costa seguite alle periodiche oscillazioni climatiche del Quaternario.

Testimonianze di queste regressioni e trasgressioni marine sono ampiamente documentate nell'immediato entroterra della rada, lungo il cordone litorale che separa la spiaggia dal retrostante Stagno del Calich. Nella vicina spiaggia di Porto Conte, la linea di costa è avanzata profondamente lungo la *ria* trasformando drasticamente il profilo della costa e causando la sparizione del paleostagno fin dal periodo Nuragico (Federici et al., 1999). In quest'area, numerose testimonianze archeologiche hanno permesso un confronto, anche stratigrafico tra le modificazioni della costa e l'attività antropica storica e preistorica.

Anche all'interno della rada di Alghero esistono tracce storiche della profonda variazione della linea di costa, in particolare, nel tratto di mare antistante l'ospedale marino, a pochi metri di profondità, sono emersi i resti di due galeoni spagnoli sepolti dai sedimenti sabbiosi che costituiscono il serbatoio di alimentazione della stessa spiaggia (comunicazione orale dott. Francesco Guido).

Probabilmente, le opere a mare e le difese costiere hanno favorito lo spostamento delle sabbie da questo tratto verso nord, causando l'emersione della struttura lignea di queste imbarcazioni che sono a tutt'oggi ancora allo studio da parte della Soprintendenza Archeologica per le Province di Sassari e Nuoro.

La presenza di questi resti evidenzia una sostanziale modifica anche dei fondali della baia, in un tempo relativamente breve, e costituisce un dato storico recente nella raccolta della letteratura e delle informazioni esistenti, oltre i dati cartografici.

Il rilevamento sul terreno si è dimostrato difficile e complesso a causa della elevata fruizione delle aree più interne, sia per usi agricoli che turistici, che per le condizioni morfologiche caratterizzate dalla presenza di una estesa pianura impostata sui depositi lacustri e travertinosi (calcrete) del Plio-Pleistocene (Cremaschi e Ginesu, 1990).

Si è pertanto proceduto mediante il raccordo delle quote di tali depositi in rapporto alle varie linee di riva e alle superfici di abrasione marina che le separano. In tal modo, è stato possibile confermare tali ipotesi attraverso i rari affioramenti delle spiagge Tirreniane e delle paleofalesie presenti sulle sponde orientali dello Stagno.

L'erosione recente ha messo in luce, in un breve tratto di spiaggia verso Fertilia, la *beach rock* del Tirreniano ancora al livello del mare, mentre nel tratto corrispondente verso lo Stagno, affiorano estesamente le eolianiti Würmiane, la *beach rock* Tirreniana e, limitatamente, anche le ignimbriti Terziarie.

L'intero profilo dello Stagno mostra per lunghi tratti una falesia impostata su questi litotipi confermando una dinamica intensa, non certo ascrivibile alla persistenza di morfologie lacustri ma confermando il periodico instaurarsi di condizioni lagunari.

La Carta geomorfologica allegata evidenzia l'esistenza di un paleocanale, documentato da un deposito argilloso-sabbioso emerso in un recente scavo effettuato per lavori di riqualificazione della spiaggia antistante il centro Congressi, che taglia il cordone litorale nel settore settentrionale e prosegue nell'area sommersa, sottolineando questa trasformazione della costa con la modifica sostanziale della spiaggia dell'intera rada.

Le forme costiere

La sostanziale trasformazione di questo litorale nel corso del tempo ha determinato una certa varietà di forme e di depositi in tutta la porzione interna della costa; a questa si associano tutte le forme derivate dalla modificazione antropica della fascia costiera che, nel tratto meridionale dell'area in studio, ha completamente assorbito le spiagge residue nel tessuto urbano.

La spiaggia presenta un profilo a debole pendenza che tende ad accentuarsi nella parte centrale della baia, dove è presente un'incisione che produce un solco di circa 5 metri nei sedimenti limoso sabbiosi dell'inse-natura. Nella parte settentrionale, la superficie del fondale conserva ancora, nei sedimenti limoso-argillosi e nelle forme di colmamento, le testimonianze del paleocanale che tagliava il cordone litorale più a est dell'attuale bocca dello Stagno del Calich. Oggi il canale è attivo dalla foce dello Stagno del Calich e risulta caratterizzato da una sedimentazione ricca di limi che costituisce una conoide di fondo lungo il promontorio calcareo di Fertilia, verso est. Questo canale costituisce la confluenza a mare del corso d'acqua più significativo di tutta la Nurra occidentale, dal momento che i movimenti legati alla tettonica recente hanno imposto al reticolo idrografico una vergenza nord-nord/est, verso il Golfo dell'Asinara.

Il sollevamento recente del livello marino ha determinato una profonda penetrazione del mare nell'entroterra secondo un modello a *ria* che ha determinato una diversificazione nella componente sedimentologica oggi riconoscibile dai caratteri pedogenici nei tratti morfologicamente più depressi dell'immediato entroterra.

Nelle porzioni dove il substrato è costituito dalle rocce carbonatiche del Mesozoico, questo processo è testimoniato solamente da morfologie debolmente concave, non sempre riconoscibili, ma ben documentate dalla variazione dei suoli. L'antica costa a *rias* sui calcari non determinava, come oggi, accumuli di sabbie o detriti tali da lasciare dei veri affioramenti in prossimità dell'antica linea di riva.

Più evidente è la linea di riva Tirreniana dove il substrato è costituito dalle rocce travertinose del tardo Terziario o dalle vulcaniti. Qui, infatti, l'antica linea di riva viene testimoniata da una evidente scarpata o da un gradino di erosione che conserva, talvolta, le tracce della paleospiaggia nell'elevata percentuale di sabbia silicea presente nello scheletro del suolo.

Nel settore meridionale in prossimità della periferia urbana, giace un campo di dune potente, ma di modesta estensione. Gli scavi per la costruzione del Centro Congressi della città catalana hanno messo in luce la sequenza stratigrafica del cordone. Questo risulta costituito da un basamento ignimbrico piuttosto alterato, che affiora unicamente in un breve tratto di costa, sormontato direttamente da una *beach rock* di circa 1,5 m, riferibile al Tirreniano. Tale livello, come precedentemente detto, affiora estesamente nel tratto interno del cordone ed in un breve tratto della spiaggia dove l'erosione ha asportato la copertura di sabbia.

I depositi eolici nella parte settentrionale della spiaggia non danno luogo a forme dunali ma costituiscono una semplice copertura eolica; tuttavia questo carattere può essere attribuito all'intervento antropico in questa zona dove sono presenti anche insediamenti turistici quali campeggi ed una vasta pineta artificiale; purtroppo non è stato possibile rinvenire alcuna documentazione storica sulla presenza di eventuali dune in questo settore del litorale.

Area di studio

La porzione di costa considerata nello studio interessa tutto il litorale della rada di Alghero, corrispondente alla fascia compresa tra il porto di sottoflutto (S. Giovanni), nel centro urbano d'Alghero, ed il porto della frazione di Fertilia (Punta del Gall), per un'estensione complessiva di circa 5,4 km.

L'area si presenta separata in due falcature dal promontorio di Punta del Paru (Ospedale Marino); qui, il cordone litorale è in parte costituito da dune recenti e in parte da dune fossili sulle quali si estende la Pineta di Maria Pia. La presenza della pineta ha certamente condizionato l'uso antropico contenendo le iniziative turistiche ma lasciando sostanzialmente integro il litorale in condizioni di semi-naturalità.



Figura 2 - Particolare della spiaggia di Alghero, si può osservare il punto di più intensa attività erosiva del settore “artificiale” protetto dalle 9 barriere a mare e dalla barriera parallela a difesa dell’ospedale marino.

Il tratto di spiaggia antistante l’abitato di Alghero mostra, invece, un pesante intervento antropico con opere marittime e strutture turistiche, che hanno modificato in maniera sostanziale questo tratto di litorale che, per esigenze di studio, è stato definito “artificiale” (Fig. 2).

Al centro della rada si trova l’isolotto della Maddalenetta, distante circa 1,5 km, a nord-ovest del porto di Alghero. L’Isola, costituita da eolianiti pleistoceniche, intercetta il moto ondoso ad una certa distanza della battigia e altera sensibilmente la sua direzione. Infatti, si osserva una duplice area d’inflessione del treno d’onde: la prima nel settore nord (nel tratto “naturale”), e l’altra a mezzogiorno (tratto “artificiale”).

Nella fascia “naturale” è presente il cordone delle dune, con la pineta artificiale di Maria Pia e lo stagno retrodunale del Calich, che sbocca all’interno del porto di Fertilia (Fig. 3).



Figura 3 - Panoramica della bocca a mare dello Stagno del Calich, presso Fertilia, dove è evidente l’accumulo delle sabbie sul molo di Ponente del porticciolo turistico.

Tra le strutture antropiche presenti, dall'abitato di Fertilia fino all'Ospedale Marino, sono da menzionare anche i fortini militari, del periodo bellico ed i resti di un antico molo, di cui non si ha alcuna documentazione storica, probabile testimone di un antico sbocco a mare dello Stagno del Calich.

Qui, il profilo della spiaggia sommersa presenta un'inclinazione maggiore rispetto a quella che si riscontra nella seconda fascia; la granulometria della spiaggia è caratterizzata anche da elementi dell'ordine del centimetro.

La spiaggia, nel primo tratto, è normalmente coperta da uno spesso deposito di posidonia frammentata e sminuzzata a differenza della stazione opposta, San Giovanni, dove gli apparati fogliari si mostrano integri. Gli elementi più grossolani del sedimento presenti in quest'area, favoriscono la triturazione del deposito organico.

In questa porzione, solo il primo tratto, adiacente al porto di Fertilia, è risultato stabile, grazie alla sua condizione morfologica (si trova a ridosso dei venti) e alla presenza del deposito di posidonia spiaggiata, che lo protegge.

La seconda fascia "antropizzata", è sede di stazioni balneari, costruzioni alberghiere, edifici urbani, strade, scarichi di acque bianche; mentre, a mare, si trovano numerose opere marittime: il porto, le barriere parallele, le opere di difesa aderenti. Per meglio identificare questo settore di litorale ad elevato impatto antropico, è stato definito "artificiale".

Lungo le due fasce così distinte sono state eseguite misure periodiche in apposite stazioni fisse, prescelte al fine di rilevare le variazioni della linea di spiaggia. Queste ultime consistono in 10 stazioni di monitoraggio, mentre nella stazione denominata "G" (sulla carta, Fig. 4), situata in posizione mediana rispetto al litorale e lontana dal centro abitato, sono state effettuate letture anemometriche al livello del suolo.

Dal confronto dei dati forniti dal S.A.R. (Servizio Agrometeorologico della Regione), si osserva una variazione significativa tra i valori elaborati sulla stazione di Alghero rispetto a quelli registrati al suolo; differenza dovuta probabilmente alla differente quota di rilevazione, alla posizione geografica e alle condizioni locali.

Il monitoraggio del litorale è stato effettuato attraverso una campagna di controlli realizzata in tre anni, dal 1999 fino al Dicembre 2002. I dati sono stati elaborati secondo metodi statistici ed elaborati in grafici al fine di evidenziare l'arretramento puntuale di ogni singola stazione e quello complessivo dell'intera rada.

Sono state considerate 10 stazioni di controllo, di cui nove, le più significative sono riportate in testo

(Fig. 4) e, alla fine dello studio, hanno confermato una generale tendenza all'arretramento ben leggibile dai singoli grafici delle medie di tutte le stazioni. La tendenza al ritiro della linea di spiaggia è altresì confermata anche da tutti i documenti d'archivio e storici che sono stati recuperati nel corso dell'indagine, confrontati sia con la cartografia più recente che con le misure ottenute sul terreno.

Complessivamente sono state effettuate e documentate circa 2000 osservazioni durante i tre anni e consultati oltre 250 documenti d'archivio storico e fotografico. Tra i documenti consultati riguardanti il litorale si possono menzionare:

- 1 La "Carta particolar de la Nurra" anno 1742;
- 2 I profili della scogliera, del muro di difesa e della torretta per il fanale. Scala 1:2.000 anno 1871 C. Castiglioni;
- 3 La Pianta del porto di Alghero, scala 1:1.000, anno 1869 A. Musso;
- 4 La Pianta del porto di Alghero, scala 1:2.000, anno 1871 C. Castiglioni;
- 5 Il Progetto di sistemazione ed ampliamento del porto di Alghero, pianta del porto, pianta e sezione della scogliera, scala 1:100 anno 1871 C. Castiglioni;

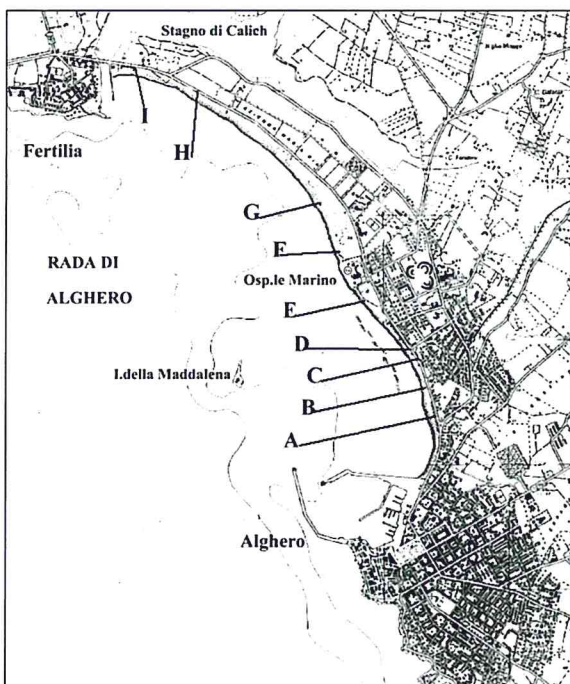


Figura 4 - Ubicazione delle stazioni di monitoraggio (Base cartografica 1:25.000).

- 6 La Pianta di una parte dell'abitato di Alghero. Progetto di un nuovo condotto di spurgo, per deviare dal porto, mediante una galleria, il corso del canale principale. Scala 1:500, anno 1880 A. Musso;
- 7 La Pianta del porto di Alghero. Prolungamento del molo. Demolizione delle opere avanzate del terrapieno antistante il forte della Maddalena, opere di ampliamento per mettere in comunicazione la porta a mare con la strada per Porto Conte, anno 1870 E Contin;
- 8 La Planimetria del porto di Alghero, scala 1:1000 anno 1902 S. Giardine;
- 9 Foto Storiche, che raccontano la vita del porto di Alghero nel novecento.

Tutto il materiale storico è stato gentilmente fornito dall' Archivio Storico di Alghero e di Sassari, dalla biblioteca della Facoltà di Lettere dell'Università di Sassari, dal Genio Civile Opere Marittime di Porto Torres e dalle ricerche personali.

Risultati

Lo studio ha messo in luce il ruolo dell'intervento antropico nel processo di erosione, attraverso la ricostruzione geomorfologica e la storia delle opere marittime eseguite a difesa ed a fruizione turistica del litorale. L'insieme dei dati raccolti ha permesso di realizzare una Carta geomorfologica del litorale alla scala di 1:20.000. Infatti, è stato possibile registrare valori di arretramento significativo in soli tre anni (1999-2002) di osservazioni sul campo eseguite nel corso di questa nota (De Santis, 2000).

Come precedentemente detto, i dati ricavati nei tre anni di monitoraggio hanno confermato che l'intero litorale della rada di Alghero - Fertilia continua a subire l'effetto erosivo da parte del mare. Al di là delle evidenze morfologiche che testimoniano questo processo, come in località San Giovanni dove le mareggiate di Maestrale continuano a demolire le pesanti lastre di accesso all'arenile, l'elaborazione dei dati sulle singole stazioni mostra una generale tendenza all'arretramento. Anche l'elaborazione dei dati storici basati sul confronto delle variazioni con la cartografia più recente e con le foto aeree confermano questa tendenza (Fig. 5).

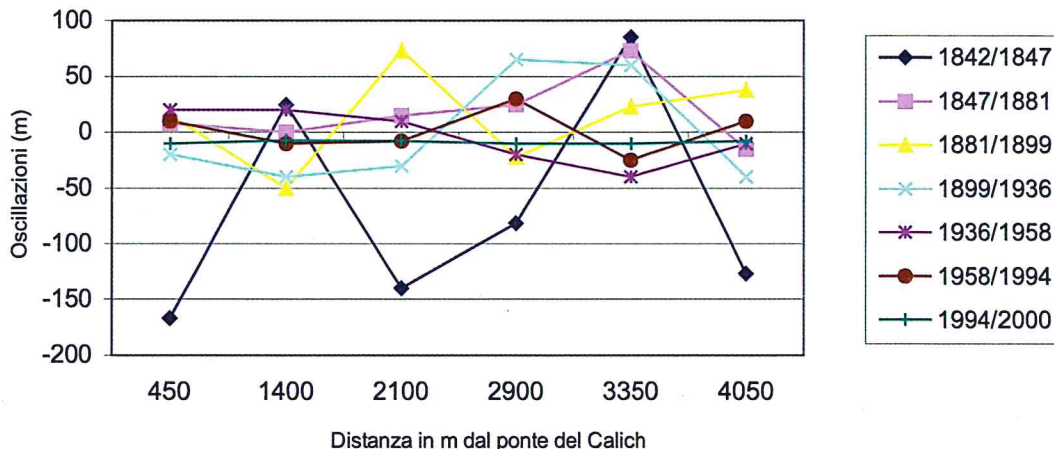


Figura 5 - Grafico delle variazioni storiche sul confronto con la cartografia attuale (Carta tecnica regionale).

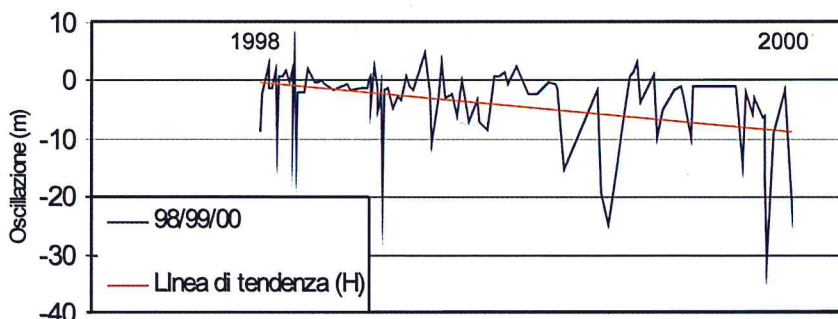


Figura 6 - Grafico e linea di tendenza elaborata sulla base della media dei dati desunti nei tre anni di osservazione nella stazione di monitoraggio H.

I grafici delle medie triennali considerati, alcuni dei quali riportati in questa nota (Figg. 5 e 6), confermano questa tendenza attenuata dai valori meno significativi e meno preoccupanti; tuttavia in alcuni siti i grafici mostrano con evidenza lo stato di estremo degrado, situazioni che sfociano in dissesti ogni qual volta che le condizioni meteomarine si scostano dalle medie.

I recenti avvenimenti di dissesto verificatisi negli ultimi anni sulla costa algherese vanno ricollegati a condizioni di questo tipo; le mareggiate sulla strada litoranea e nei pressi del Centro Congressi, durante l'inverno del 2000, hanno determinato notevoli disagi e profonde preoccupazioni per la popolazione locale e per gli operatori turistici. In particolare, dalle letture dei dati nella stazione H della carta (Fig. 6) emerge una delle situazioni di maggior degrado ma a minor rischio poiché non esistono importanti infrastrutture ma solo la strada litoranea.

Stazioni dove l'energia del mare viene espressa con particolare efficacia risultano la E e la F, oggi protette da un'importante opera longitudinale aderente costruita a difesa delle strutture ospedaliere ed in continuità con le difese a mare della zona del "Lido", stazione C.

La condizione di *pocket beach* dell'intero litorale di Alghero Fertilia favorisce il calcolo del bilancio di perdita della spiaggia nel corso del periodo di osservazione, periodo che ha consentito di verificare che il contributo proveniente dalla bocca a mare dello Stagno del Calich rappresenta un valore del tutto trascurabile.

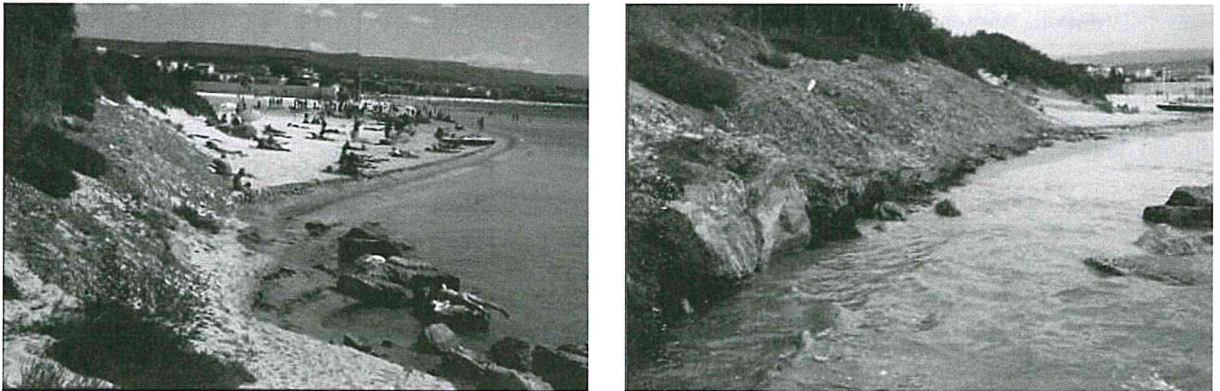


Figura 7 - Stazione E, in prossimità della chiusura della protezione a mare delle barriere parallele. Si può osservare la variazione della linea di costa tra l'inizio delle osservazioni (1999) e alla conclusione del lavoro (2002).

Al fine di valutare l'intensità del fenomeno e quantificare il volume delle sabbie in movimento (Fig. 7), si è considerata l'area di spiaggia perduta nei tre anni e si è calcolato, sulla base dell'inclinazione del profilo di spiaggia fino all'isobata dei 3 metri sufficiente a calcolare il volume della figura geometrica tridimensionale delle sabbie asportate.

Il volume così calcolato ha fornito un valore di circa 264 m^3 all'anno, pari ad un movimento di 0.03 m^3 per metro quadrato nell'arco dei tre anni considerati.

Sebbene tali valori siano inevitabilmente accompagnati da un margine d'errore dovuto principalmente alle minime variazioni di marea, tuttavia forniscono, per la prima volta, dei precisi valori di riferimento per quei movimenti che sono inevitabilmente legati al trasporto delle correnti di deriva litoranea; con lo stesso metodo è stato possibile calcolare il movimento delle sabbie sommerse anche in altri settori dell'isola (Ginesu et al., 1994).

I valori considerati evidenziano un processo di erosione modesto se confrontato con altre situazioni dell'isola, ma sottolineano la velocità con cui il fenomeno si è manifestato tanto da destare preoccupazione alla luce degli ultimi avvenimenti di dissesto.

Appare, pertanto, evidente il ruolo risolutivo che può avere un intervento di ripascimento della spiaggia al fine di risolvere, con una modesta quantità di sabbie ed un limitato costo economico, un problema sentito da tempo da tutti gli operatori economici del turismo locale e dalla stessa popolazione.

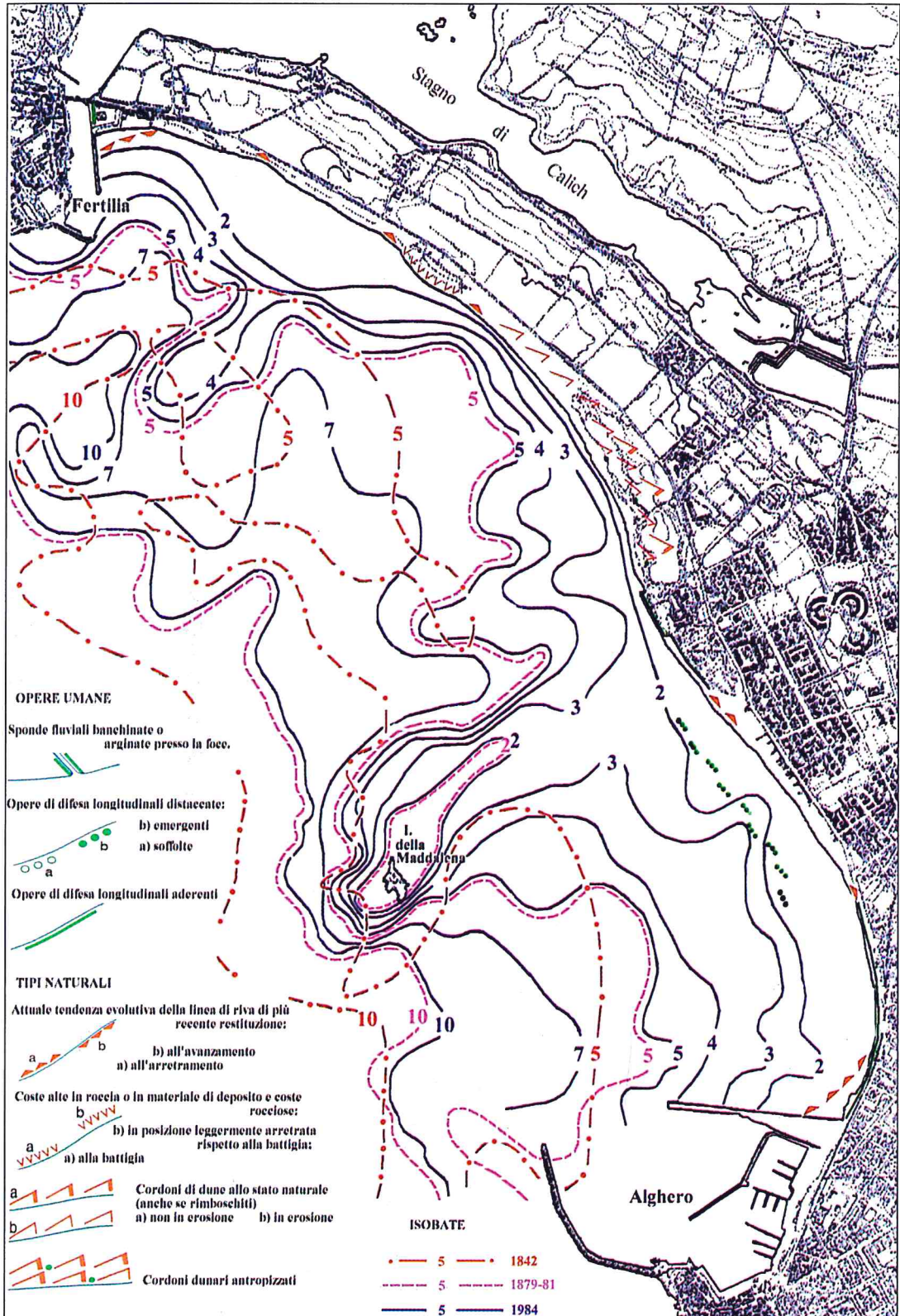


Figura 8 - Carta geomorfologica schematica dell'area studiata.

Bibliografia

- Aminti P. e Pranzini E. (1993) - *L'erosione e la difesa dei litorali*. In "La difesa dei litorali in Italia", a cura di Aminti P. e Pranzini E., Edizioni delle Autonomie, Roma, pp. 326.
- Atzeni A. e Ginesu S. (1993) - *Evoluzione dei litorali della Sardegna e interventi di riequilibrio*. In "La difesa dei litorali in Italia" a cura di Aminti P. Pranzini E., Edizioni delle Autonomie, Roma, pp. 215-233.
- Caputo C., Latino Chiocci F., Ferrante A., La Monica G. B., Landini B. e Pugliese F. (1993) - *La ricostruzione dei litorali in erosione mediante ripascimento artificiale e il problema del reperimento degli inerti*. Da "La difesa dei litorali in Italia" a cura di Aminti P. e Pranzini E., Edizioni delle Autonomie, Roma, pp. 121-151.
- Cremaschi M. e Ginesu S. (1990) - *Morfogenesi e pedogenesi tardo terziaria e Pleistocenica antica nella Nurra occidentale*. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 13, 81/82.
- D'Alessandro L., Davoli L., Fredi P. e Lupia Palmieri E. (1982) - *Il litorale calabro compreso tra il delta del F. Savuto e Capo Bonifati: evoluzione recente della spiaggia e variazione del regime anemometrico*. Consiglio Nazionale delle Ricerche Progetto finalizzato "Conservazione del suolo. Sottoprogetto: Dinamica dei litorali", n° 201.
- De Santis N. (2000) - *L'erosione marina lungo il litorale della rada di Alghero*. Tesi di laurea inedita, Università degli studi di Sassari, AA. 1999\2000, pp.120.
- Federici P., Ginesu S. e Sias S. (1999) - *Lineamenti geomorfologici ed evoluzione recente del paesaggio nella Nurra occidentale (Sardegna N. W.). La fascia costiera di Porto Conte - Porto Ferro*. In "Protezione dell'ambiente e gestione delle risorse naturali" a cura di Gutierrez M.M. CEDAM, Padova 93/138.
- Federici P. R., Ginesu S., Deroma M., Marogna A. e Sias S. (1996) - *Atlante delle spiagge italiane (Dinamismo, Tendenza evolutiva, Opere umane)*. F° 192 Alghero. Scala 1:100.000. S.El.Ca., Firenze.
- Ginesu S. (1999) - *Sardegna: aspetti del paesaggio fisico in un microcontinente*. Ed. Poddighe, Sassari, pp. 193.
- Ginesu S., Marogna A. e Sias S. (1994) - *Evoluzione quaternaria e dinamica attuale della fascia costiera di Fiume Santo (Sassari, Sardegna)*. Il Quaternario, 7: 317/324.
- Pecorini G. (1968) - *Cenni geomorfologici sulla Nurra e sul Logudoro Occidentale (Sardegna)*. Istituto di Geologia e Paleontologia, Università di Cagliari, 73: 1-22.
- Spano B. e Pinna M. (1956) - *Le spiagge della Sardegna*. Stabilimento Grafico Flli Lega, Faenza, pp. 254.

Manoscritto ricevuto il 25/06/2004, accettato il 23/05/2005.