

Caratterizzazione morfologico-dinamica e meteomarina della costa molisana nel settore compreso tra la foce del torrente Sinarca e Campomarino Lido (Molise, Italia meridionale)

Pietro Patrizio **Ciro Aucelli**¹, Tommaso **De Pippo**², Emanuela **Iannantuono**¹
e Carmen **Maria Roskopf**¹

¹Dipartimento S.T.A.T., Università degli Studi del Molise, Contrada Fonte Lappone - 86090 Pesche.

²Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Napoli Federico II,
Largo San Marcellino, 10 - 80138 Napoli.

Riassunto

La costa molisana è interessata da una prevalente tendenza all'arretramento che si è delineata marcatamente nel corso degli ultimi cinquanta anni. Le cause di tale tendenza non sono ancora ben chiare, e in particolare non sono disponibili ad oggi dati che consentano di valutare le possibili influenze climatiche. Il presente lavoro, pertanto, si è posto l'obiettivo di indagare sui rapporti tra dinamica costiera e parametri meteomarini e, in particolare, sulla possibile influenza di questi ultimi sulle recenti tendenze evolutive della linea di costa. A tal fine, è stato effettuato uno studio di dettaglio del settore costiero compreso tra la foce del torrente Sinarca e Campomarino Lido. Lo studio condotto ha consentito di caratterizzare tale settore dal punto di vista morfologico-dinamico e meteomarina, e di distinguerlo in tre tratti in base alla tendenza evolutiva recente ricostruita per ciascuno di essi. I dati acquisiti hanno permesso di evidenziare una stretta relazione tra regime ondoso e quello anemologico e una diversa sensibilità dei tratti distinti all'azione del moto ondoso e conseguente *drift* litoraneo, tale da suggerire una probabile relazione tra tendenze evolutive dei vari tratti e locali condizioni meteomarine. Lo studio ha permesso, inoltre, di accertare importanti variazioni del regime anemologico a partire dalla metà degli anni '70. Queste variazioni, consistenti in un incremento significativo delle frequenze dei venti dominanti e regnanti provenienti dagli ottanti settentrionali e in una recentissima riduzione delle frequenze delle calme, hanno portato ad una maggiore esposizione del settore costiero esaminato all'azione delle ondate principali e quindi ad un incremento delle sue condizioni di rischio di erosione.

Parole chiave: morfologia costiera, dinamica litorale, erosione, clima meteomarina, Molise, Italia.

Abstract

Since about at least 50 years, the Molise coast is affected by a marked and prevailing tendency to shoreline recession. The causes of such a tendency aren't still clear, and on particular there aren't available data which allow to evaluate possible climate influences. Aim of the present paper is therefore to investigate the possible relationships between coastal dynamics and meteomarine parameters, and to ascertain the possible influence of the latter on recent shoreline trends. Thus, a detailed study has been carried out for the coastal sector located between the mouth of the Sinarca torrent and Campomarino Lido. This study has allowed to characterise the studied coastal sector in relation to its morphological and meteomarine features and to distinguish it, with reference to recent shoreline trends, into three reaches. It furthermore permitted to put in evidence the strong relationship between wind and wave regimes, and the different incidence of wave action due to local meteomarine conditions which, in our hypothesis, have controlled the shoreline tendencies of each reach. Furthermore, important changes of the wind regime, occurred from the mid-70s onwards, have been reconstructed. Said changes consist mainly in an increase of the frequency of northern winds and a very recent but significant decrease of calms, which altogether have caused a major sensibility of the examined coastal sector to main waves and related littoral currents, and, consequently, an increase of erosion risk.

Keywords: *coast morphology, littoral dynamics, erosion, meteomarine climate, Molise, Italy.*

Introduzione

La costa molisana ha una lunghezza di circa 36 km ed è delimitata a nord dallo sbocco del canale del Formale del Molino (Fig. 1) e a sud dalla foce del torrente Saccione. Complessivamente, conserva un orientamento prevalente ca. NW-SE ed è riferibile (Girardi et al., 1985a, 1985b) ad un'unica grande unità fisiografica, delimitata a nord da P.ta Penna e a sud da P.ta Pietre Nere (Fig. 1).

I maggiori corsi d'acqua che sfociano lungo il litorale molisano sono i fiumi Trigno e Biferno ed i torrenti Sinarca e Saccione. I loro apporti alle foci sono prevalentemente pelitico-sabbiosi, essendo i loro bacini idrografici impostati in prevalenza su terreni arenaceo-marnosi e pelitico-argillosi e solo subordinatamente su terreni carbonatici (Aucelli et al., 2004).

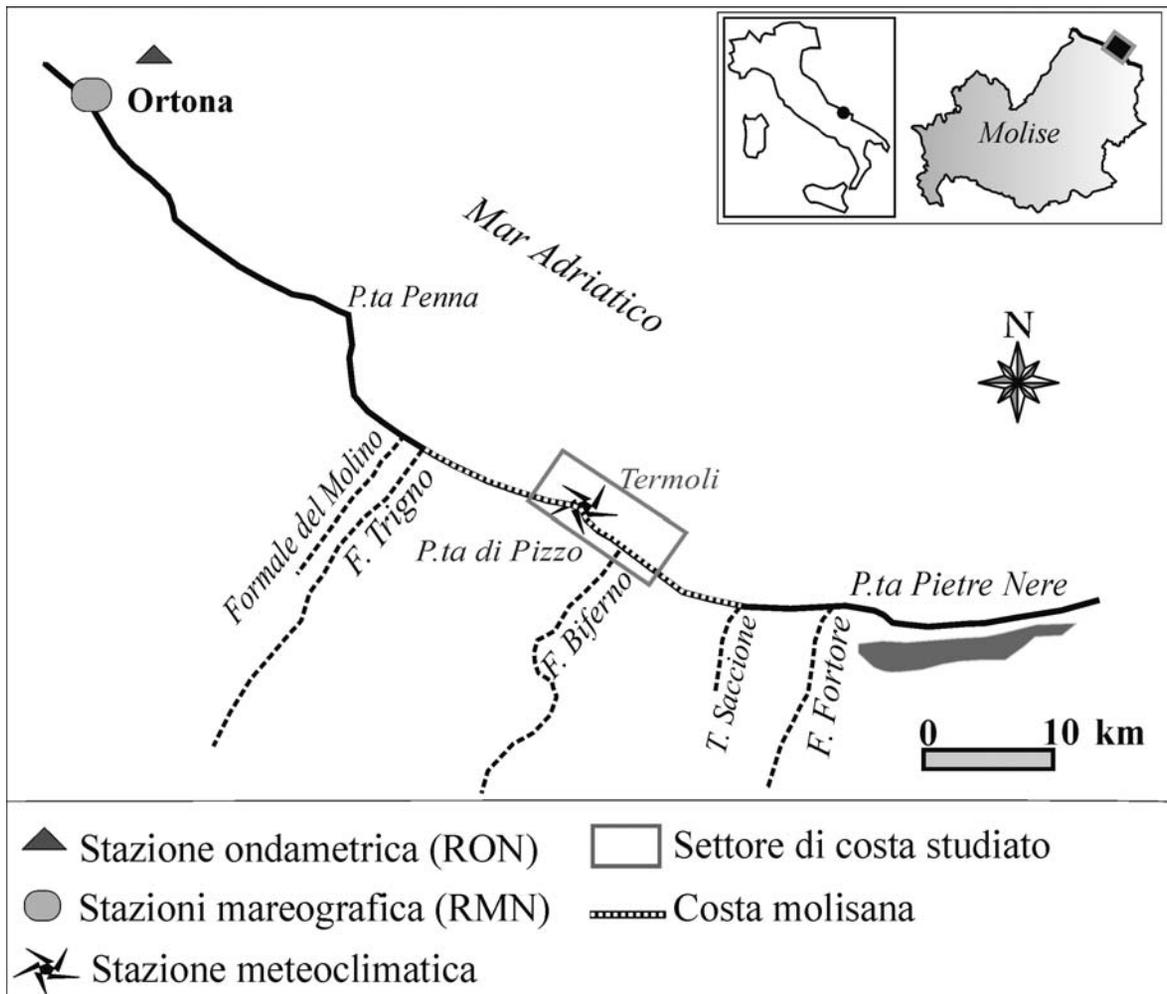


Figura 1 - Ubicazione della costa molisana e del settore costiero studiato.

Il litorale molisano è caratterizzato dall'alternarsi di tratti di costa bassa e di costa alta. La costa alta è presente tra la foce del Sinarca e Punta Pizzo (Fig. 1) ed è caratterizzata da una tipica morfologia a terrazzo (Zunica, 1987) dove si distinguono vari ordini di terrazzi quaternari impostati su sedimenti sabbioso-pelitici di ambiente marino e su depositi sabbiosi e ciottolosi di ambiente litorale ed alluvionale (Parea, 1978). Le superfici terrazzate più esterne sono delimitate verso la costa da scarpate di erosione

marina alte fino ad una trentina di metri, oggi inattive e in posizione leggermente arretrata rispetto alla linea di costa.

I tratti di costa bassa, caratterizzati da quote generalmente sui 4-5 m, comprendono, oltre alle piccole pianure alluvionali costiere costruite dai principali corsi d'acqua, una fascia litorale più o meno ampia antistante i rilievi collinari costituita, oltre che dal sistema spiaggia-duna attuale, da sistemi dunali da storici a recenti e relative aree sia intra- che retrodunali, topograficamente più depresse.

Come hanno evidenziato alcuni recenti studi (Iannantuono, 2002; Aucelli et al., 2004; Iannantuono et al., 2005; Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero, 2006) l'evoluzione della costa molisana nel corso dell'ultimo secolo è stata dominata da una prevalente tendenza all'arretramento. L'erosione ha interessato soprattutto i tratti costieri che includono le principali foci fluviali, dove sono stati misurati i valori massimi di arretramento, causando nel corso della prima metà del secolo scorso lo smantellamento completo delle morfologie a cuspidate che caratterizzavano le foci dei fiumi Trigno e Biferno, ed un arretramento prevalente e persistente della linea di costa nel cinquantennio successivo.

Circa le cause di tale arretramento, l'esame di una serie di possibili fattori di controllo suggerisce fortemente la sovrapposizione di fattori climatici ed antropici (Aucelli e Roszkopf, 2000; Aucelli et al., 2004). Tra i secondi sono da inserire in particolare le sistemazioni idraulico-forestali dei bacini fluviali, le estrazioni in alveo, il progressivo abbandono delle aree agricole e la conseguente re-stabilizzazione di coperture vegetali permanenti, nonché la realizzazione dell'invaso artificiale di Ponte Liscione, che nell'insieme hanno fortemente contribuito ad una diminuzione progressiva degli apporti sedimentari in generale, e delle frazioni sabbiose e ghiaiose in particolare, alle principali foci.

Riguardo invece i fattori climatici, se si prescinde dalla recente tendenza all'innalzamento del livello del mare (Antonioli, 2000), per ora ancora difficile da valutare sia nella sua entità che influenza sui processi di erosione costiera, un ruolo importante assume sicuramente la diminuzione delle portate liquide e solide dei fiumi italiani documentata da Vittorini (1991) per il periodo dal 1921 al 1973. Questa diminuzione viene imputata ad un decremento degli afflussi meteorici (confermato anche dai dati riportati in Aucelli e Roszkopf (2000) per il bacino del fiume Trigno), e alla diminuzione della frequenza di eventi di piena di una certa portata (500 m³/s per i maggiori corsi d'acqua italiani), capaci cioè di portare ad una percentuale apprezzabile la frazione sabbiosa del carico solido.

La risposta del sistema costiero, ovviamente, potrebbe dipendere non soltanto dai fattori appena menzionati, ma essere influenzata ancora da altri fattori che attualmente, per mancanza di dati, non trovano considerazione. Il presente lavoro, pertanto, si è posto l'obiettivo di indagare, attraverso uno studio di dettaglio di un settore costiero prescelto, sui possibili rapporti tra dinamica costiera e parametri meteo-marini, e sulla possibile influenza locale di questi ultimi sulla evoluzione della linea di costa.

Inquadramento geologico e geomorfologico dell'area di studio

Il settore costiero preso in esame è compreso tra la foce del torrente Sinarca e l'inizio dell'abitato di Campomarino Lido (Fig. 1). Questo settore, dalla lunghezza complessiva di ca. 10 km, è stato suddiviso in tre tratti (A, B e C, Fig. 2) in base alla recente tendenza evolutiva ricostruita per ciascuno di essi. Il tratto A è lungo ca. 3 km e si estende dalla foce del torrente Sinarca fino al promontorio di Termoli; questo tratto si caratterizza per la presenza di due spiagge (Foce dell'Angelo e S. Antonio, Fig. 2) ad elevato valore turistico, e per le sue discrete condizioni di stabilità, con tratti in leggero avanzamento ed altri in arretramento. Tuttavia, molto recentemente la spiaggia di S. Antonio appare essere interessata da un fenomeno di arretramento locale piuttosto spinto, per ora non facilmente inquadrabile in termini di tendenza (AA.VV., 2005; AA.VV., 2006). Il tratto B si estende per quasi 2,5 km dal molo sud del Porto di Termoli fino a P.ta Pizzo e comprende la spiaggia di Rio Vivo che, contrariamente a quanto osservato per molti altri tratti della costa molisana di costa, risulta essere in progressivo avanzamento (Aucelli et al., 2004; AA.VV., 2005). Il tratto C, infine, si estende per circa 4,5 km da P.ta Pizzo fino all'inizio dell'abitato di Campomarino e comprende le spiagge di Marinelle e la foce del fiume Biferno; questo tratto è caratterizzato da una tendenza pronunciata all'arretramento, solo localmente attenuata dalle difese costiere realizzate durante gli ultimi decenni.

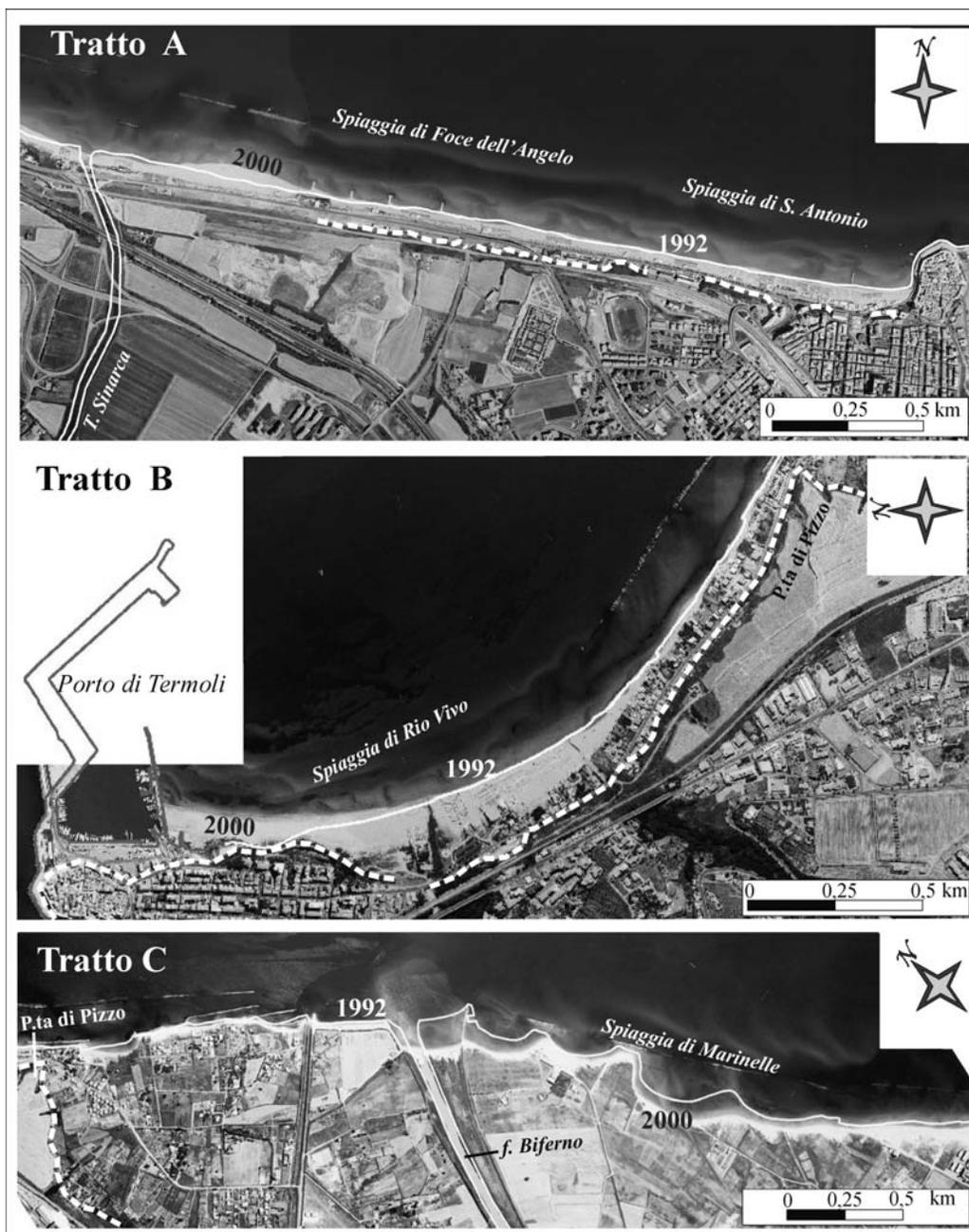


Figura 2 - Inquadramento dei tre tratti costieri A (a), B (b) e C (c) costituenti il settore costiero studiato, che consente anche il confronto tra le linee di riva relative al 1992 e al 2000. Con la linea bianca a tratteggio è indicato l'orlo superiore della falesia che delimita i tratti a costa alta.

I tratti A e B sono caratterizzati da una prevalente morfologia a costa alta a terrazzo che risulta delimitata da una falesia posta ad una distanza compresa tra poche decine di metri (lungo il promontorio di Termoli) e 500 m circa dall'attuale linea di costa, lasciando così spazio alla spiaggia attuale ed i retrostanti sistemi dunali da storici ad attuali. La costa alta è impostata su formazioni riferibili al ciclo regressivo pliocenico-pleistocenico (Patacca et al., 1992). Queste formazioni, nel settore in sinistra del Sinarca sono rappresentate (Fig. 3) dalle *Argille di Montesecco* e dalle *Sabbie di Serracapriola* (Foglio n. 148 della Carta Geologica d'Italia). La prima for-

mazione è costituita da terreni prevalentemente argillosi, la seconda da termini sabbioso-arenacei. Nel settore in destra del Sinarca sono presenti le formazioni delle *Sabbie di Serracapriola* e dei *Conglomerati di Campomarino* (Foglio n. 153 della Carta Geologica d'Italia), caratterizzate nell'insieme da terreni prevalentemente sabbiosi e conglomeratici. Le formazioni plio-pleistoceniche risultano ricoperte in modo discontinuo da terreni alluvionali, non riportati per motivi di scala nello schema geolitologico della Figura 3. Il tratto C è caratterizzato da una morfologia di costa bassa, ed è largamente dominato dall'ampia piana deltizia del Biferno.

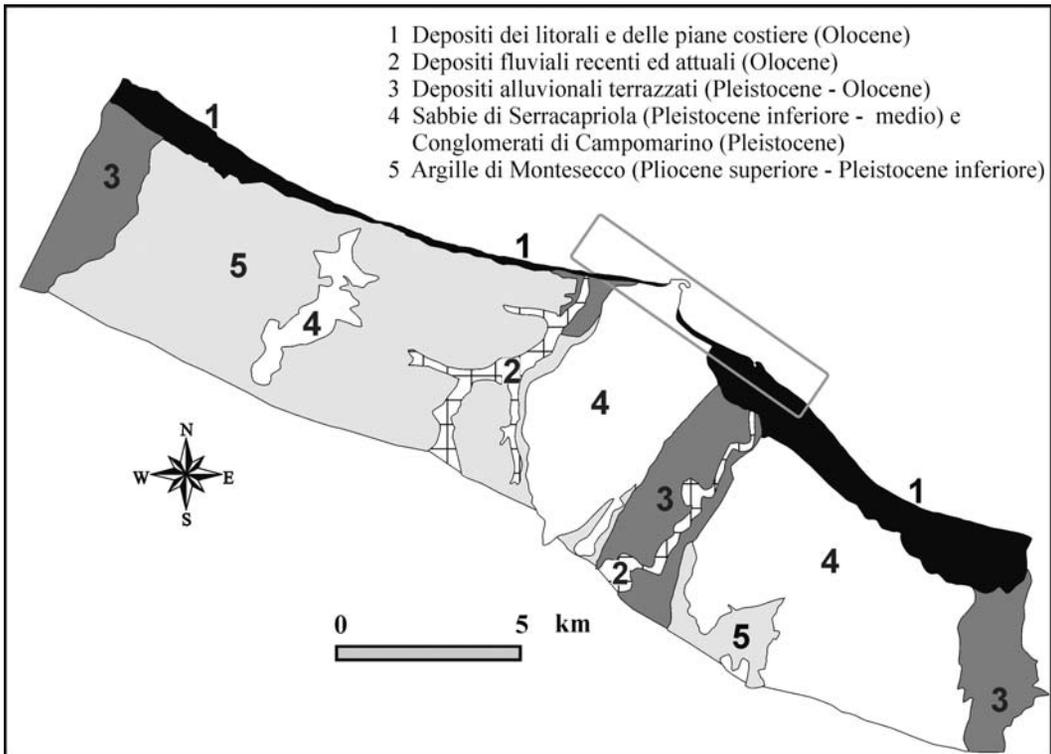


Figura 3 - Schema geolitologico della fascia costiera molisana. Nel riquadro il settore costiero studiato.

Caratteristiche sedimentologiche della spiaggia emersa

Per giungere ad una preliminare caratterizzazione sedimentologica del settore costiero in esame sono stati effettuati nel 2005 primi prelievi di campioni sedimentologici lungo la spiaggia emersa. In particolare, sono stati prelevati nella zona di battigia ad una distanza media di ca. 800 m, 12 campioni di sedimento che sono stati poi sottoposti ad analisi sedimentologiche. In particolare, sono state effettuate, sulla base dei diagrammi e delle scale di Folk & Ward (1957), l'analisi granulometrica e la determinazione dei principali parametri statistici quali le frazioni percentuali e percentili, il granulo medio e la mediana (in mm), la deviazione standard, la curtosi, l'asimmetria e la classazione.

In Tabella 1 si trovano sintetizzati i principali parametri calcolati per i campioni raccolti, la cui numerazione è progressiva da nord verso sud e identificativa del tratto di provenienza: tratto A: campioni 1-3; tratto B: campioni 4-6; tratto C: campioni 7-12. I campioni presentano caratteristiche tessiturali abbastanza uniformi e corrispondono, ad eccezione del campione 4, a sabbie da fini a grossolane, con una netta prevalenza delle sabbie fini (campioni 1, 3, 5, 7, 8 e 11). Sabbie medie sono presenti sulla spiaggia di S. Antonio e nuovamente a sud della foce del Biferno (campioni 2, 9 e 10), sabbie grossolane invece all'estremità sud dei tratti B e C sulle spiagge di Rio Vivo e di Marinelle (campioni 6 e 12). Soltanto in sinistra della foce del Biferno, presso l'estremità nord della spiaggia di Rio Vivo, è stata rilevata la presenza di sabbie molto fini (campione 4). Quasi tutti i campioni sabbiosi sono risultati ben selezionati (da discretamente ad estrema-

mente classati) e in prevalenza quasi simmetrici. Tutti i campioni sono risultati unimodali, ad eccezione del campione 6 che è stato prelevato in sinistra del Biferno, presso il limite nord del tratto B. Inoltre, sono risultati tutti leptocurtici, ad eccezione di quelli prelevati in destra della foce del Biferno (campioni 9-12), e caratterizzati da una moda spiccata nel *range* di dimensioni tra 0,12 e 0,28 mm.

Tabella 1 - Sintesi dei principali parametri statistici calcolati per i campioni prelevati sulla spiaggia emersa nel settore costiero studiato.

Campione	Granulo medio (mm) e classificazione granulometrica		Classazione	Asimmetria
1	0,25	sabbia fine	estremamente classato	asimmetrica fine
2	0,50	sabbia media	ben classato	asimmetrica grossolana
3	0,22	sabbia fine	ben classato	quasi simmetrica
4	0,13	sabbia molto fine	estremamente classato	quasi simmetrica
5	0,13	sabbia fine	ben classato	quasi simmetrica
6	1,19	sabbia molto grossolana	mediocrementemente classato	fortemente asimmetrica grossolana
7	0,18	sabbia fine	discretamente classato	asimmetrica grossolana
8	0,19	sabbia fine	discretamente classato	asimmetrica grossolana
9	0,30	sabbia media	discretamente classato	quasi simmetrica
10	0,28	sabbia media	discretamente classato	quasi simmetrica
11	0,18	sabbia fine	ben classato	quasi simmetrica
12	0,57	sabbia grossolana	ben classato	quasi simmetrica

Caratteristiche sedimentologiche e morfologiche della spiaggia sommersa

I fondali antistanti la costa molisana sono generalmente bassi e caratterizzati da uno stile di sedimentazione ben noto nella maggior parte degli ambiti costieri sia dell'Alto che soprattutto del Medio Adriatico, in base al quale i sedimenti si dispongono a bande sub-parallele alla linea di riva. Dal punto di vista sedimentologico, questi fondali si caratterizzano per una prevalenza di sabbie fini (48%) e medio-fini (41%) (AA.VV., 2005) cui corrispondono, rispettivamente, applicando la formula modale di sintesi, diametri medi pari a 0,15 e 0,3 mm.

Per la caratterizzazione morfologica e sedimentologica di dettaglio della spiaggia sommersa del settore costiero in esame sono stati realizzati nel 2005, con una spaziatura di circa 500 m, diciassette profili batimetrici orientati ortogonali alla linea di costa ed estesi fino ad una profondità di 10 m (Fig. 4a). Di questi 17 profili, sette ricadono nel tratto A (A1-A7), uno soltanto nel tratto B (B1), dove l'avanzamento veloce della linea di costa e la conseguente bassa profondità del fondale non hanno consentito l'esecuzione di ulteriori profili, e nove nel tratto C (C1-C9). In base ai campioni prelevati lungo i profili è stata accertata la presenza esclusiva di sabbie, costituite in gran prevalenza da sabbie medie, medio-fini e fini, a conferma di una buona omogeneità granulometrica del fondale in esame. Il tratto A, in particolare, risulta essere caratterizzato da sabbie prevalentemente medie entro la profondità di 2 m, e fini a profondità maggiori. Nel tratto B, i campioni prelevati lungo il profilo e sul fondale circostante indicano una prevalenza di sabbie fini, e la presenza di una fascia larga circa 300 m ed allungata verso sud di sabbie medio-fini. Il tratto C, infine, è caratterizzato dalla presenza prevalente di sabbie fini. Sedimenti sabbiosi più grossolani, costituiti rispettivamente da sabbie medie e grossolane, si rinvennero in destra del Biferno all'esterno delle scogliere formando una fascia parallela alla costa lunga ca. 1,5 km, e alla foce del Biferno fino ad una profondità di 6 m.

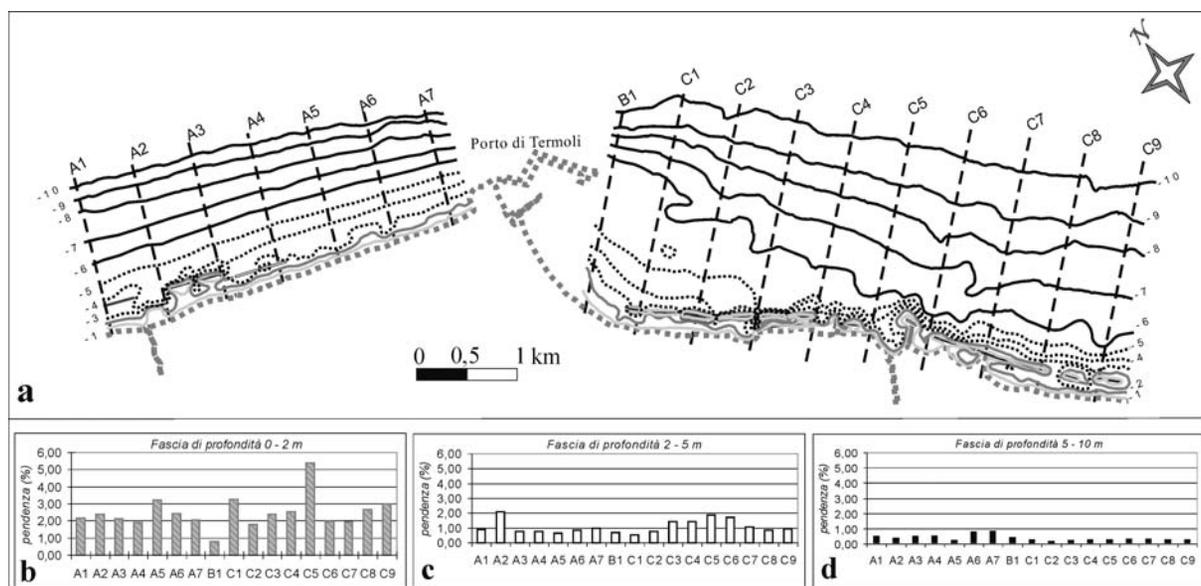


Figura 4 - Caratteristiche batimetriche del settore costiero studiato e localizzazione dei 17 profili batimetrici (a); pendenze percentuali ricostruite lungo i profili batimetrici per le fasce di profondità comprese tra 0 e 2 m (b), 2 e 5 m (c) e 5 e 10 m (d).

Ai fini della caratterizzazione morfologica della spiaggia sommersa, i profili ottenuti sono stati analizzati e poi confrontati con una serie di altri profili batimetrici riportati in vari studi (Carobene e Bramati 1975, 1977; Bondesan e Simeoni, 1983; Cipriani et al., 2001). Da tale confronto, in particolare, è emerso l'assenza, nei tratti A e C, di una morfologia a barre e truogoli che invece è stata rilevata in altri settori della costa molisana (ad es. lungo i fondali antistanti le spiagge del Litorale nord di Termoli, in sinistra del Sinarca, e di Nuova Cliternia, a sud del settore costiero in esame) non interessati da opere di protezione. Ciò porta ad ipotizzare che l'assenza di tale morfologia fosse collegata alla presenza di opere di difesa longitudinali nei tratti suddetti, ivi poste a profondità comprese tra 2/3 e 5 m, che tendono ad indurre modifiche agli schemi di circolazione nella fascia di fondale compreso tra la linea di battigia e l'isobata dei 5 m circa.

Il settore costiero in esame è coperto per il 70% da opere di protezione (Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero, 2006), costituite da barriere longitudinali e pennelli. In particolare, nei tratti A e C, la copertura da parte delle opere di difesa è ormai del 100%. Nel tratto A, tale copertura è molto recente se si considera che nel 2000 esisteva solo un paio di scogliere (Fig. 2a); sono presenti quasi esclusivamente scogliere emerse, disposte lungo un singolo allineamento. Nel tratto C, oltre ad una serie di pennelli, sono presenti scogliere emerse, staccate ed aderenti, più volte rifiorite, e disposte in più file circa parallele.

Come hanno evidenziato l'esame dei profili realizzati e le osservazioni compiute su recenti foto aeree ed immagini satellitari, i tratti di fondale posti entro i primi 3 metri di profondità - ricadenti solitamente nella fascia tra l'attuale linea di riva e le scogliere - sono caratterizzati dalla presenza di piccoli canali di flusso. La genesi di tali canali di flusso va collegata con ogni probabilità alle particolari condizioni di circolazione attorno alle scogliere (Balzano et al., 2005) e in particolare all'azione di correnti longitudinali e di ritorno prodotte a seguito dei fenomeni di frangimento e di tracimazione delle onde in corrispondenza delle stesse scogliere. All'azione delle stesse correnti andrebbe imputata l'osservata forte erosione localizzata delle scogliere che causa una loro progressiva destabilizzazione.

Ad evidenziare i fenomeni di erosione in atto e la conseguente tendenza alla destabilizzazione delle scogliere, sono anche le pendenze del fondale che sono state calcolate per ogni profilo per le seguenti fasce di profondità: 0-2 m, 2-5 m e 5-10 m (Fig. 4b-d). Sono stati innanzitutto individuati i profili caratterizzati nella fascia tra 0 e 2 m di profondità da una pendenza superiore all'1%, in quanto tale percentuale rappresenta un importante valore soglia fortemente indicativo di fenomeni di erosione più o meno spinti (Marabini, 2000). In particolare, per i profili A1-A7 e C1-C9 si sono ottenuti valori di pendenza media nettamente superiori all'1%, pari rispettivamente a 2,33 e 2,77%. Il profilo B1, invece, come era ovvio aspettarsi, man-

tiene in questa fascia di profondità un valore inferiore all'1%, pari cioè a 0,79%. Alcuni dei profili realizzati, pur non essendo interessati direttamente da alcuna opera di protezione, sono caratterizzati da pendenze comunque piuttosto elevate entro i 2 m di profondità (sempre superiori all'1%), a conferma delle condizioni di elevata dinamica e di erosione in atto. Per la fascia di profondità successiva (2-5 m), in tutti i tre tratti si osserva una diminuzione delle pendenze, di entità molta modesta per il tratto B, ma molto consistente nei tratti A e C dove si registrano rispettivamente pendenze comprese tra ca. 0,7 e 2,1% e 0,5 e 2,0% (Fig. 4c), cui corrisponde una pendenza media rispettivamente di 1,0 e 1,2%. Nella fascia di profondità tra i 5 e 10 m, infine, si nota un ulteriore notevole abbassamento delle pendenze medie nei tratti A e C, che sono pari rispettivamente a 0,6 e 0,5% (Fig. 4d). Considerando, invece, come un'unica fascia di profondità quella compresa tra la battigia e l'isobata dei 5 m, si registrano pendenze medie rispettivamente per A e C di 1,2 e 1,5%. Confrontando queste pendenze con quelle estratte dall'Atlante delle spiagge (Girardi et al., 1985a, 1985b) e riportate in Figura 5, si nota una buona coincidenza per il tratto A (1,2%), una pendenza media invece nettamente superiore nel tratto C (1,5 rispetto allo 0,5%) e indicativa, presumibilmente, proprio dei fenomeni di destabilizzazione avvenuti nel corso dell'ultimo ventennio.

Caratterizzazione del clima meteomarina

Caratteristiche del moto ondoso

Il settore costiero in esame ricade nel settore di traversia compreso tra i 310° - 110° N (Fig. 5), le cui direzioni si appoggiano rispettivamente su Punta Penna e Punta Pietre Nere (Fig. 1). Di tale settore di traversia, tuttavia, ai fini della propagazione sotto costa, viene considerato soltanto il settore compreso tra i 350° e 95° N. Ciò, in quanto, come hanno evidenziato alcuni studi precedenti che si sono occupati della ricostruzione, tramite modelli, del moto ondoso lungo il litorale molisano (Assessorato ai Lavori Pubblici della Regione Molise, 2001), si deve tener conto di un restringimento del paraggio sottocosta perché i mari provenienti dai sub-settori 310° N- 350° N e 95° N- 110° N vengono deviati per effetto della rifrazione e quindi non raggiungono, in corrispondenza dei bassi fondali, il litorale in questione. Pertanto, per il presente lavoro, viene fatto riferimento alle direzioni del moto ondoso comprese tra 350° N e 95° N. Il promontorio di Termoli costituisce un chiaro elemento di separazione, rafforzato dalla struttura del porto, che porta a dividere il settore costiero in esame in due sub-unità orientate, rispettivamente, in direzione prevalente ca. WNW-ESE e NW-SE (Fig. 5).

Per la caratterizzazione del moto ondoso sono stati utilizzati i dati forniti dal Servizio Mareografico dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT) relativi alle registrazioni effettuate dalla boa ondometrica direzionale posta al largo di Ortona (Fig. 1). L'analisi dei dati reperiti, relativi al periodo 1990-2003, ha compreso il calcolo delle frequenze delle direzioni ($^{\circ}$ N), dell'altezza (m) e dell'energia (N/m) delle onde per ogni direzione di ampiezza pari a 45° inclusa nel settore di traversia principale.

Il calcolo delle frequenze percentuali delle altezze d'onda per settori di provenienza è stato realizzato considerando le classi di altezza indicate dalla scala Douglas relativa allo stato del mare.

In base alla relazione esistente tra altezza ed energia dell'onda, sono state create delle classi di altezza d'onda per ognuna delle quali è stato calcolato un valore minimo e massimo di energia (N/m).

I risultati ottenuti evidenziano che le onde prevalenti provengono dai quadranti settentrionali. Le onde con altezza superiore a 1 m (Fig. 6a) provengono prevalentemente da 23° N (12%), 90° N (9%) e 344° N (15%). Per altezze d'onda maggiori di 2 m (Fig. 6b) il campo direzionale delle onde diventa molto più selettivo e si nota un aumento della frequenza, pari a circa l'11%, delle onde provenienti da 23° N ed una riduzione del 10% per le onde provenienti da 90° N. Per altezze d'onda maggiori di 3 m il 40% delle onde proviene dalla direzione $1-45^{\circ}$ N (Fig. 6c).

Per le onde prevalenti è stato effettuato il calcolo del campo di energia sulla base della relazione esistente tra altezza delle onde ed energia. Dal calcolo del campo di energia per settori di provenienza (Fig. 7a) emerge che i valori massimi di densità totale di energia possono essere associati ad un campo direzionale compreso tra 316° N e 45° N che corrisponde al campo direzionale delle onde a maggiore altezza. Le onde provenienti da queste direzioni sono caratterizzate da un periodo medio di 3-4s e massimo compreso tra 7,6 e 10 s, da una lunghezza media di 129 m e massima di 200 m, e da valori di altezza compresi tra 4 e 6 m.

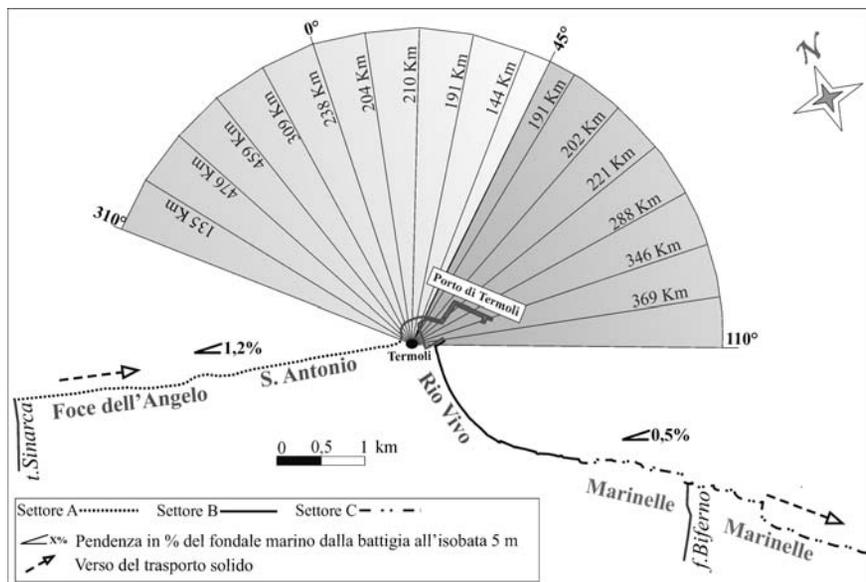
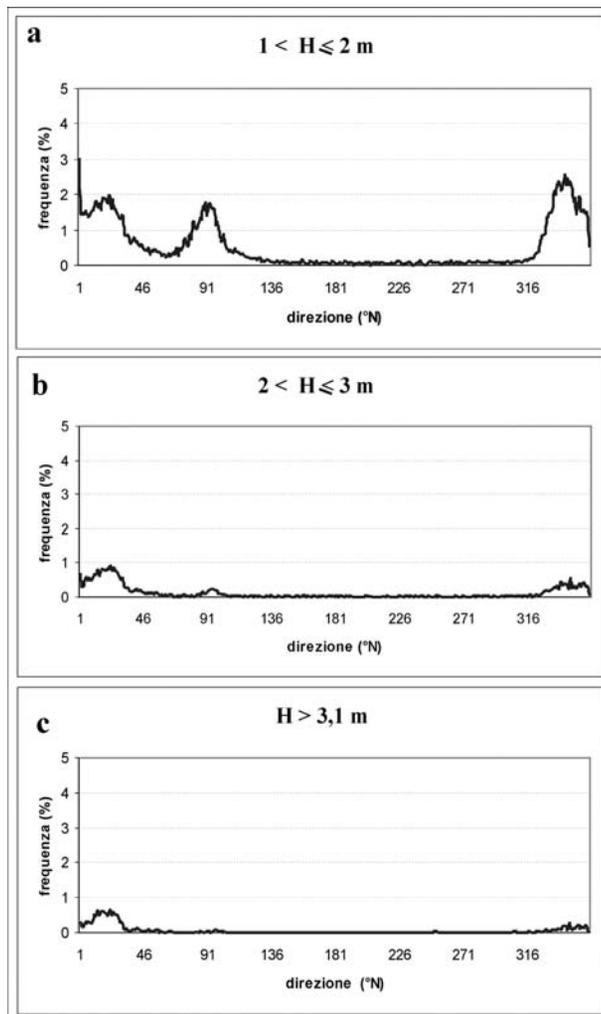


Figura 5 - Visualizzazione del settore di traversia in cui ricade il settore costiero in esame con l'indicazione del verso del trasporto sedimentario lungo costa e della pendenza del fondale tra 0 e 5 m di profondità rispettivamente a nord e a sud del promontorio di Termoli.



I dati acquisiti evidenziano, inoltre, che alle onde provenienti dal I ottante (1-45°N) sono associati valori più elevati di energia pari a circa 30.000 N/m, contro i 20.000 N/m associati alle onde provenienti dal VIII ottante (Fig. 7a). In termini di frequenza risulta che le ondazioni prevalenti con energia inferiore a 1,2 N/m corrispondono rispettivamente a 350°N e 6°N con valori di frequenza percentuale rispettivamente pari a 15% e 12%. Per classi di energia superiori a 1,2 N/m e altezze d'onda superiori a 1 m, la frequenza percentuale delle onde con direzione media di 23°N raggiunge il 24% contro il 10% delle onde provenienti da 350°N. Da ciò si deduce che le onde con altezza superiore a 1 m sono molto frequenti e provengono prevalentemente dal I ottante (0-45°N).

Per determinare la variabilità del fattore energetico nel tempo è stata calcolata la densità totale di energia per ogni anno. I risultati ottenuti (Fig. 7b) mostrano un valore minimo registrato nel 2000, seguito da valori crescenti negli anni successivi fino a raggiungere il valore massimo nel 2003 pari a ca. 10.000 N/m. Un valore di densità totale di energia piuttosto elevato (7.500 N/m) è stato calcolato anche per il 1995, caratterizzato da un evento di mareggiata del tutto eccezionale; questo evento di mareggiata, avvenuto il 28 maggio, è riferibile al campo direzionale delle onde a maggiore altezza compreso tra 316-45°N e si è distinto per l'altezza eccezionale delle onde pari a 6,2 m, massima per l'intero periodo indagato.

Figura 6 - Distribuzione delle frequenze percentuali delle onde per settori di provenienza (45°) e altezze delle onde comprese tra 1 e 2 m (a), 2 e 3 m (b) e > 3 m (c).

Caratteristiche anemometriche

Per la caratterizzazione anemometrica del settore costiero in esame sono stati utilizzati i dati registrati nel periodo compreso tra il 1953 e 2003 dall'anemografo della stazione climatica dell'Aeronautica Militare posizionata sul castello di Termoli (Fig. 1).

L'elaborazione dei dati è stata effettuata considerando le stesse classi di direzione usate per la caratterizzazione del moto ondoso (settori di 45°, ottanti).

L'elaborazione dei dati relativi alle intensità dei venti è stata eseguita adottando le classi specificate nella scala di Beaufort (Bascom, 1965; Komar, 1998; Pranzini, 2004).

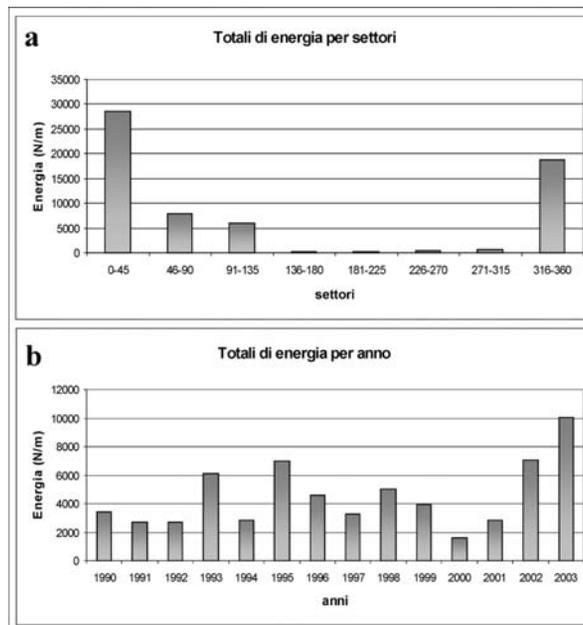


Figura 7 - Distribuzione dei valori di energia delle onde (in N/m) per anno (a) e per settori di provenienza (b).

Dall'elaborazione della serie anemometrica emerge (Fig. 8a) che i venti più frequenti sono quelli settentrionali, provenienti cioè dal I (0-45°N) e VIII ottante (315-360°N). Per l'intero periodo studiato i venti provenienti dal I ottante hanno una maggiore frequenza dei venti provenienti dal VIII ottante di circa il 10% (fatta eccezione per i periodi 1953-1956 e 1998-2003 in cui si verifica il caso opposto) e quindi rappresentano i venti regnanti (Fig. 8b). Come illustrato in Figura 9, con l'aumento dell'intensità dei venti, passando cioè da condizioni di Brezza tesa (11-16 nodi) a quelle di Burrasca (41-47 nodi), i venti cui si associano valori di intensità più alti sono quelli provenienti dal VIII ottante (316-360°N), che risultano essere caratterizzati da valori di frequenza maggiori del 50% per ognuna delle classi di intensità studiate. Ciò consente di affermare che i venti provenienti dal VIII ottante risultano essere i più intensi e dunque possono essere considerati dominanti perché caratterizzano in termini di intensità il regime anemometrico della costa molisana. I venti regnanti e dominanti non hanno alcun carattere stagionale, in quanto la loro frequenza di apparizione è costante in tutte quattro le stagioni.

L'analisi della frequenza dei venti settentrionali, provenienti cioè dal I e VIII ottante, per singole classi di intensità porta ad individuare nella serie 1953-2003 due periodi (1953-1975 e 1976-2003) che, messi a confronto (Tab. 2), mostrano chiaramente gli aumenti di frequenza spesso consistenti di tali venti nel secondo periodo.

L'analisi della frequenza dei venti settentrionali, provenienti cioè dal I e VIII ottante, per singole classi di intensità porta ad individuare nella serie 1953-2003 due periodi (1953-1975 e 1976-2003) che, messi a confronto (Tab. 2), mostrano chiaramente gli aumenti di frequenza spesso consistenti di tali venti nel secondo periodo.

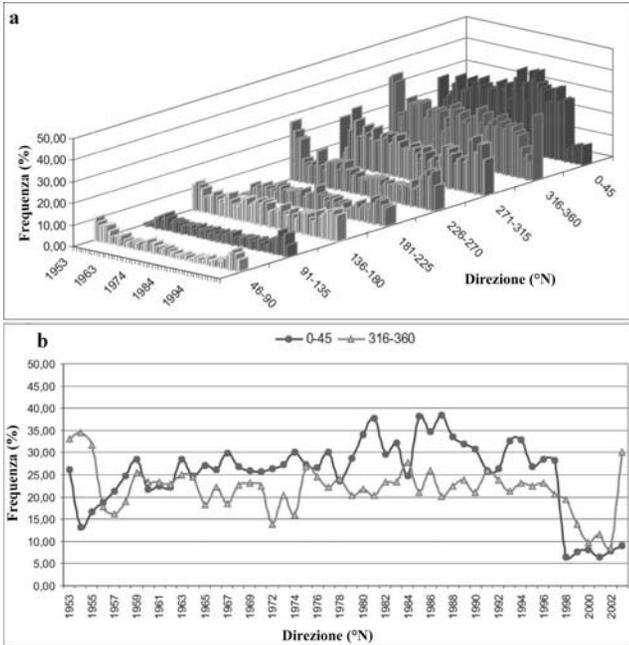


Figura 8 - a) Frequenze percentuali annuali dei venti per settori di provenienza con ampiezza di 45° (ottanti) durante il periodo 1953-2003; b) confronto tra le frequenze percentuali dei venti provenienti dal I (0-45°N) e dal VIII ottante (316-360°N).

Questi aumenti interessano in modo significativo le classi di intensità a partire dai 17 nodi, e le variazioni percentuali più consistenti superano in alcuni casi addirittura il 12%. In particolare, gli aumenti di frequenza per i venti provenienti dal I ottante (Tab. 2a) appaiono significative e di crescente consistenza a partire da intensità di 22 nodi, mentre quelli dei venti provenienti dal VIII ottante (Tab. 2b) risultano essere molto consistenti nell'intervallo di intensità comprese tra 17 e 33 nodi. Molto importante appare anche la comparsa, nel secondo periodo, di venti provenienti dal I ottante aventi intensità comprese tra 48 e 55 nodi, che raggiungono una frequenza media di 10,71%, e l'aumento notevole in contemporaneo dei venti provenienti dal VIII ottante per le stesse intensità, cui corrisponde una variazione percentuale addirittura del 12,73%.

Un altro risultato importante è emerso dall'analisi della frequenza dei venti aventi intensità inferiori a 1 nodo e classificati come calme di vento nella scala di Beaufort. Confrontando, infatti, i due periodi, si osserva una diminuzione complessiva della frequenza percentuale dell'1% (Tab. 2c) che, se da un lato appare molto modesta, dall'altro lato assume una grande importanza se si considera che essa è interamente imputabile alle elevate variazioni negative di frequenza avvenute nel breve periodo 1998-2003.

In questo periodo, infatti, le frequenze delle calme di vento si mantengono addirittura a valori inferiori al 5%, quindi molto basse se confrontati con quelle degli anni precedenti, sempre riferibili al periodo 1976-2003, comprese tra il 20 e poco più del 30%.

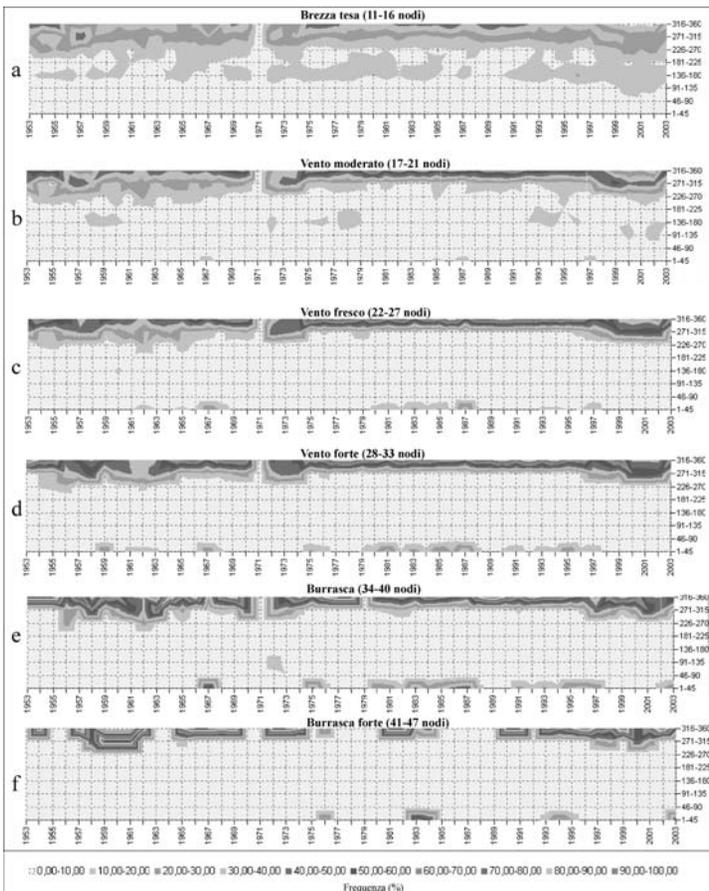


Figura 9 - Frequenza percentuale delle intensità dei venti per settori di provenienza e classi di intensità: a) 11-16 nodi; b) 17-21 nodi; c) 22-27 nodi; d) 28-33 nodi; e) 34-40 nodi; f) 41-47 nodi.

a			
I ottante (0 - 45°N)			
Forza (nodi)	frequenza media (%)		totale
	1953-1975	1976-2003	%
4-6	6,42	6,29	-0,13
7-10	3,89	4,27	0,38
11-16	3,55	3,83	0,28
17-21	5,32	6,32	1,00
22-27	8,34	10,61	2,27
28-33	12,36	16,72	4,36
34-40	18,87	26,84	7,97
41-47	2,03	9,78	7,75
48-55	0,00	10,71	10,71

b			
VIII ottante			
Forza (nodi)	frequenza media (%)		totale
	1953-1975	1976-2003	%
4-6	17,95	14,90	-3,04
7-10	21,87	20,06	-1,80
11-16	32,85	33,86	1,02
17-21	44,10	52,33	8,23
22-27	53,53	65,58	12,05
28-33	59,47	68,74	9,27
34-40	64,33	68,20	3,87
41-47	48,52	49,34	0,82
48-55	8,70	22,41	13,72

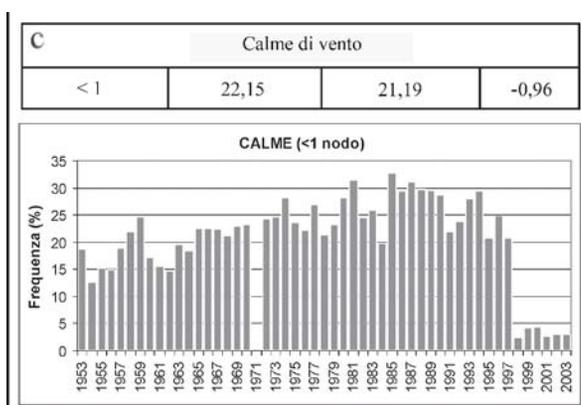


Tabella 2 - Frequenze percentuali, per varie classi di intensità, dei venti provenienti dal I (a) e dal VIII ottante (b) e delle calme di vento (c) nei due periodi considerati (1953-1975 e 1976-2003) e relative variazioni percentuali (in alto).

Emerge, quindi, in sintesi, oltre alla recente riduzione delle frequenze delle calme di vento, un consistente aumento, nel corso degli ultimi trenta anni circa, delle frequenze e delle intensità massime dei venti settentrionali. Simili variazioni del regime anemometrico sono state riscontrate da Pirazzoli e Tomasin (2003) che mettono in evidenza un aumento dell'intensità dei venti provenienti da NE per la stazione di Termoli, lungo il litorale calabro (D'Alessandro et al., 1982; 2002), sulla costa occidentale francese (Pirazzoli et al., 2003), dove è stato osservato un aumento della velocità del vento relativo ai quadranti settentrionali a partire dal 1975, ma anche nell'intera area mediterranea occidentale (Metaxas, 1991) e nel Nord Atlantico (Werner et al., 2000).

Come già dimostrato da vari autori (Bascom, 1965; Komar, 1998; Pranzini, 2004), la componente energetica delle onde è fortemente influenzata dal vento e in particolare dalla sua intensità. Al fine di verificare il grado di correlazione esistente tra altezze delle onde ed intensità dei venti è stato effettuato il calcolo dell'indice di correlazione tra i dati ondometrici e mareografici registrati nel periodo 1990-2003 rispettivamente dalle stazioni ondometrica e mareografica di Ortona. Tale indice è risultato pari a 0,8, a conferma di un buon grado di correlazione tra i due parametri presi in esame.

Successivamente, i dati ondometrici della stazione di Ortona sono stati confrontati con i dati anemometrici della stazione di Termoli. Il confronto è stato effettuato sempre per il periodo 1990-2003 per il quale entrambe le stazioni hanno fornito regolari registrazioni. L'indice di correlazione ottenuto è particolarmente alto per i venti provenienti dai quadranti settentrionali ed è risultato pari a 0,9 per venti con intensità superiori ai 30 nodi e pari a 0,7 per venti con intensità inferiori ai 30 nodi.

Evoluzione recente della linea di riva

La costa molisana, come già accennato in precedenza, è stata interessata nel corso dell'ultimo secolo da un cospicuo arretramento della sua linea di riva che ha interessato soprattutto i settori che includono le principali foci fluviali.

Nell'ambito del presente lavoro è stata effettuata una ricostruzione dettagliata della evoluzione recente della linea di riva nel settore costiero preso in esame, e quindi dei singoli tratti distinti. A tal fine è stata effettuata la digitalizzazione delle varie linee di riva ricostruite in base alla carta topografica I.G.M.I. in scala 1:25.000 del 1954, alla Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000 del 1992, alle ortofoto dell'A.I.M.A. del 1997 in scala 10.000 e, infine, alle foto aeree in scala 1:13.000 della R.T.A. del 2000. E' stata quindi effettuata una analisi comparativa, in ambito GIS, delle varie linee di costa ricostruite. Essendo i supporti cartografici, le ortofoto e le foto aeree, messi a confronto e sovrapposti alle carte topografiche dell'I.G.M.I., a grande scala (≥ 13.000), è possibile stimare pari a 5 m l'errore massimo nella localizzazione della linea di costa dovuta ad eventuali difficoltà visive dell'operatore. Tale valore appare molto ridotto se confrontato con le variazioni lineari calcolate per i vari periodi distinti (vedi oltre), e non influisce, quindi, in modo significativo sulle varie tendenze ricostruite.

Procedendo con un passo di misura di 100 m, sono stati calcolati per i tre tratti A, B e C per i periodi 1954-1992, 1992-1997 e 1997-2000 sia gli spostamenti lineari della linea di costa, sia le relative variazioni areali negative e positive, corrispondenti cioè alle superfici perse a seguito dell'arretramento della linea di costa oppure aggiunte a seguito dell'avanzamento della stessa.

Per quanto riguarda il periodo 1954-1992, i risultati ottenuti (Fig. 10a) confermano le ricostruzioni precedenti (Iannantuono, 2002; Aucelli et al., 2004; Iannantuono et al., 2005; Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero, 2006) che vedono soprattutto i tratti costieri includenti le principali foci fluviali maggiormente interessati da erosione. Mentre il tratto B mostra una netta tendenza all'avanzamento, i tratti A e C mostrano notevoli arretramenti che raggiungono valori massimi di circa 260 m nel tratto C cui corrisponde un tasso annuale di ca. 6,5 m/a.

Circa l'evoluzione più recente del settore costiero in esame, i due periodi successivi distinti (1992-1997 e 1997-2000, Fig. 10, b e c) confermano le tendenze precedentemente rilevate per i tratti B e C, caratterizzati dal permanere della tendenza rispettivamente alla progradazione e all'erosione.

Nel tratto C, in particolare, si registrano dei tassi di erosione annua molto elevati, nettamente superiori a quelli calcolati per il primo periodo, e pari rispettivamente a ca. 40 e 16 m/a, cui corrispondono arretramenti massimi di ca. 200 m e 50 m nell'area di foce del Biferno. Il tratto A, invece, mostra una inversione di tendenza abbastanza netta, suddividendosi in piccoli tratti alternativamente interessati da avanzamento e erosione, così da approssimare complessivamente condizioni di sostanziale stabilità per quanto riguarda gli ultimi 8 anni considerati.

Facendo un bilancio delle variazioni areali avvenute complessivamente nell'intero periodo 1954-2000, risultano in erosione i tratti A (spiaggia di Foce dell'Angelo e di S. Antonio) e C (spiagge di Marinelle) per i quali sono state calcolate delle superfici erose di rispettivamente 12.000 e 585.000 m². Da una netta variazione positiva di superficie, pari a 118.614 m², è stato invece interessato il tratto B.

Complessivamente, il settore costiero studiato è interessato da significativi processi di erosione, molto più pronunciati nel tratto C che non nel tratto A. Questo ultimo, infatti, nel complessivo periodo indagato, è caratterizzato da una sostanziale stabilità, che soltanto molto recentemente, a seguito dei fenomeni di erosione che si registrano da pochi anni in corrispondenza della spiaggia di S. Antonio (AA.VV., 2005; Iannantuono et al., 2005; AA.VV., 2006) sta lasciando spazio ad una crescente instabilità.

Per proteggere il litorale dai fenomeni erosivi sono state realizzate, nel corso degli ultimi venti anni in particolare, numerose opere di difesa sia longitudinali che trasversali, che nel settore costiero in esame si trovano localizzati in particolare lungo le spiagge di Foce dell'Angelo, di S. Antonio, di Rio Vivo e di Marinelle. Allo stato attuale, tuttavia, le opere realizzate non sempre si sono dimostrati efficaci nell'eliminare i fenomeni erosivi, che talora continuano ad interessare gli stessi tratti protetti, oppure si "spostano" semplicemente verso i tratti non ancora protetti.

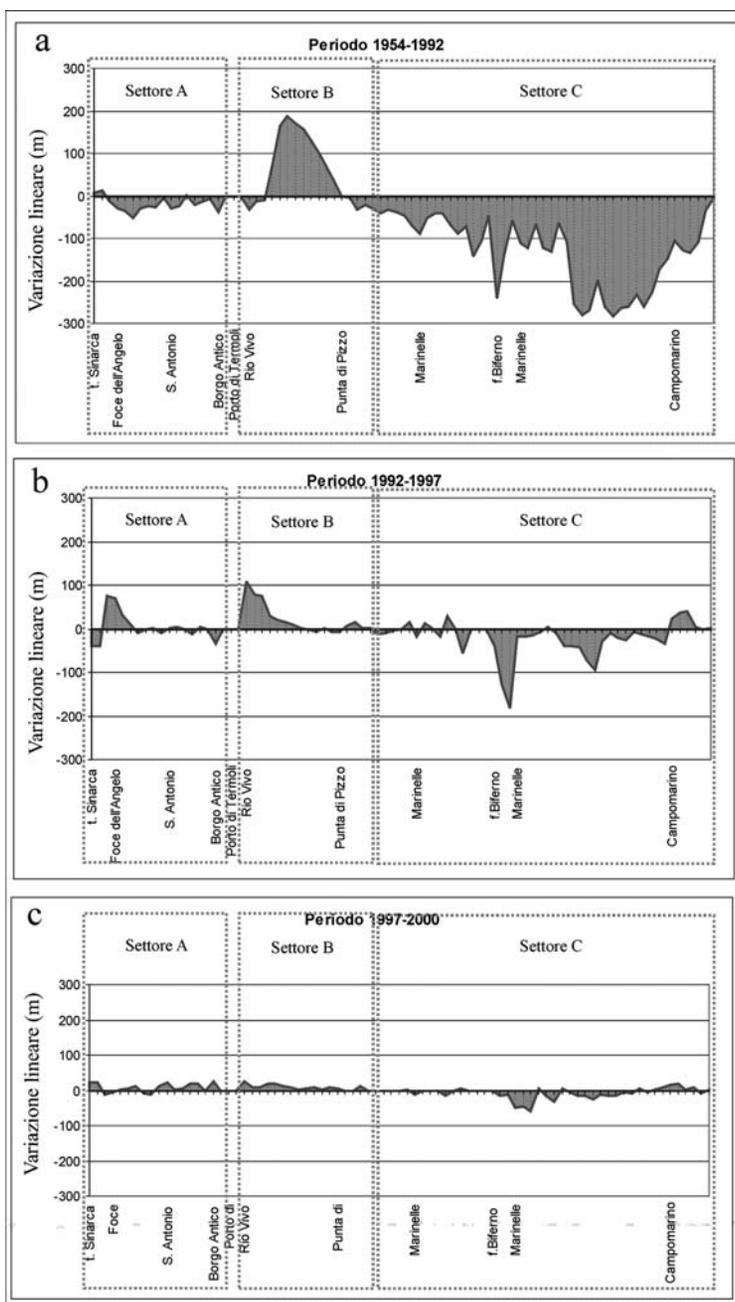


Figura 10 - Variazioni lineari medie (m) della linea di riva nei vari intervalli di tempo considerati: a) 1954-1992; b) 1992-1997; c) 1997-2000.

Discussione dei dati acquisiti

In relazione alle tendenze evolutive più recenti, i risultati ottenuti hanno consentito di definire i tre tratti costieri distinti A, B e C rispettivamente in equilibrio, in progradazione ed in erosione. Le spiagge ricadenti nel tratto A sono state interessate prima da erosione e successivamente da fenomeni locali di progradazione e di erosione che nell'insieme definiscono una condizione di sostanziale equilibrio, anche se si registra una recentissima accentuazione dei processi di erosione. Il tratto B è stato interessato, sia complessivamente che per singoli periodi, da variazioni positive della linea di costa e risulta quindi essere in progressiva progradazione. Il tratto C, infine, sia per singoli periodi che per l'intero periodo, risulta interessato da notevoli fenomeni di arretramento, che lo pongono, nonostante la sua copertura praticamente continua con scogliere longitudinali, in condizioni di elevato pericolo di erosione e degrado.

Lo studio condotto ha evidenziato che il fenomeno erosivo è risultato molto più pronunciato nel tratto C che non nel tratto A. La causa di ciò va ricercata, a nostro avviso, oltre che nelle caratteristiche sedimentologiche e morfologiche dei rispettivi fondali, soprattutto nelle locali condizioni meteomarine, legate all'orientamento della costa e quindi alla sua maggiore o minore esposizione alle ondate a maggior energia.

Le considerazioni qui di seguito esposte scaturiscono dalla applicazione di un semplice modello qualitativo (Fig. 11) per il quale sono state considerate esclusivamente le ondate al largo. Ciò è giustificato dal fatto, che i fondali antistanti il settore costiero in esame non presentano rilevanti variazioni morfologiche e conservano infatti una morfologia a bande sub-parallele decisamente regolare, per cui, in prima approssimazione, è possibile considerare trascurabili eventuali effetti di rifrazione capaci di indurre delle variazioni delle direzioni delle onde.

Il settore costiero in esame risulta caratterizzato da direzioni medie della linea di costa leggermente diverse a nord e a sud del promontorio di Termoli, pari rispettivamente a 113°N e 130°N . Le relative direzioni normali sono quindi date rispettivamente da 23° e 40°N (Fig. 11).

Come già discusso prima, le ondate principali che interessano il settore costiero in esame provengono dal I e VIII ottante ed in particolare da 23° e 350°N .

Lungo la costa a nord di Termoli le onde provenienti da 350°N formano con la normale alla linea di costa un angolo di 33° e attivano una corrente litoranea diretta da NW verso SE (Fig. 11a). Le stesse onde sul litorale a sud di Termoli formano un angolo più ampio con la normale alla linea di costa, pari a 50° , e attivano una corrente litoranea sempre diretta da NW verso SE ma con caratteristiche energetiche più elevate rispetto alla corrente sviluppata sulla spiaggia a nord di Termoli. Quando le ondate provengono da 23°N (Fig. 11b), il loro angolo di incidenza nel tratto a nord di Termoli è pari a 90° , quindi senza effetto sul *drift* litoraneo che si genera, invece, a causa dell'effetto di disturbo da parte della struttura portuale sull'incidenza delle onde, e risulta diretto verso NW. Le stesse ondate, a sud del porto di Termoli, formano un angolo di 17° con la normale alla linea di costa consentendo lo sviluppo di una modesta corrente lungo costa verso SE.

In sintesi, le ondate principali producono, come già evidenziato da studi precedenti (Parea, 1986; Aucelli et al., 2004), una prevalente corrente longitudinale orientata in direzione NW-SE. Sulla base del diverso orientamento della linea di costa, rispettivamente a nord e a sud del promontorio di Termoli, tale corrente risulta essere più pronunciata nel settore C dove favorisce l'istaurarsi di condizioni di maggiore erosione e dispersione dei sedimenti sabbiosi verso SE.

Le generali condizioni di *drift* da NW verso SE non sempre trovano un riscontro locale. Infatti, lungo il litorale molisano in generale e nel settore costiero in esame in particolare, sono state rilevate alcune situazioni per le quali è evidente una locale inversione del *drift* a seguito di fenomeni di diffrazione del moto ondoso dovuti all'effetto di disturbo provocato dalla presenza di strutture marittime di vario tipo. Al riguardo è emblematico il caso del porto di Termoli, costruito intorno al 1900 e più volte ampliato nel corso degli ultimi 25 anni circa. E', infatti, il prolungamento della diga foranea nord ad apparire responsabile dell'innescarsi di un fenomeno di diffrazione del moto ondoso che causa repentini fenomeni di interrimento dell'imboccatura del porto e la veloce e progressiva progradazione della spiaggia di Rio Vivo. Infatti, in presenza di ondate provenienti da NW (315°N) si genera un *drift* prevalente orientato da NW verso SE lungo la spiaggia di S. Antonio (tratto A) che viene ad interrompersi in prossimità della diga foranea nord del porto di Termoli dove viene a formarsi un sistema di circolazione a vortice che muovendosi in senso orario causa un accumulo di sedimenti all'imboccatura del porto e lungo la spiaggia di Rio Vivo. Lo stesso sistema di circolazione viene a formarsi anche in presenza di ondate provenienti da NE ($1-45^{\circ}\text{N}$), che provocano una locale inversione del *drift* costiero che risulta quindi diretto verso NW lungo la spiaggia di S. Antonio. La tendenza alla progradazione del tratto B negli ultimi decenni, appare quindi imputabile ai fenomeni di diffrazione appena descritti. Osservazioni effettuate in campo in occasione di eventi di mareggiata caratterizzati da ondate provenienti dal I e soprattutto dal VIII ottante, confermano che l'oggetto del molo nord determina un cono di diffrazione a tergo dell'opera causando la perdita di energia e favorendo la sedimentazione al margine del molo sud del porto e in corrispondenza della sua imboccatura.

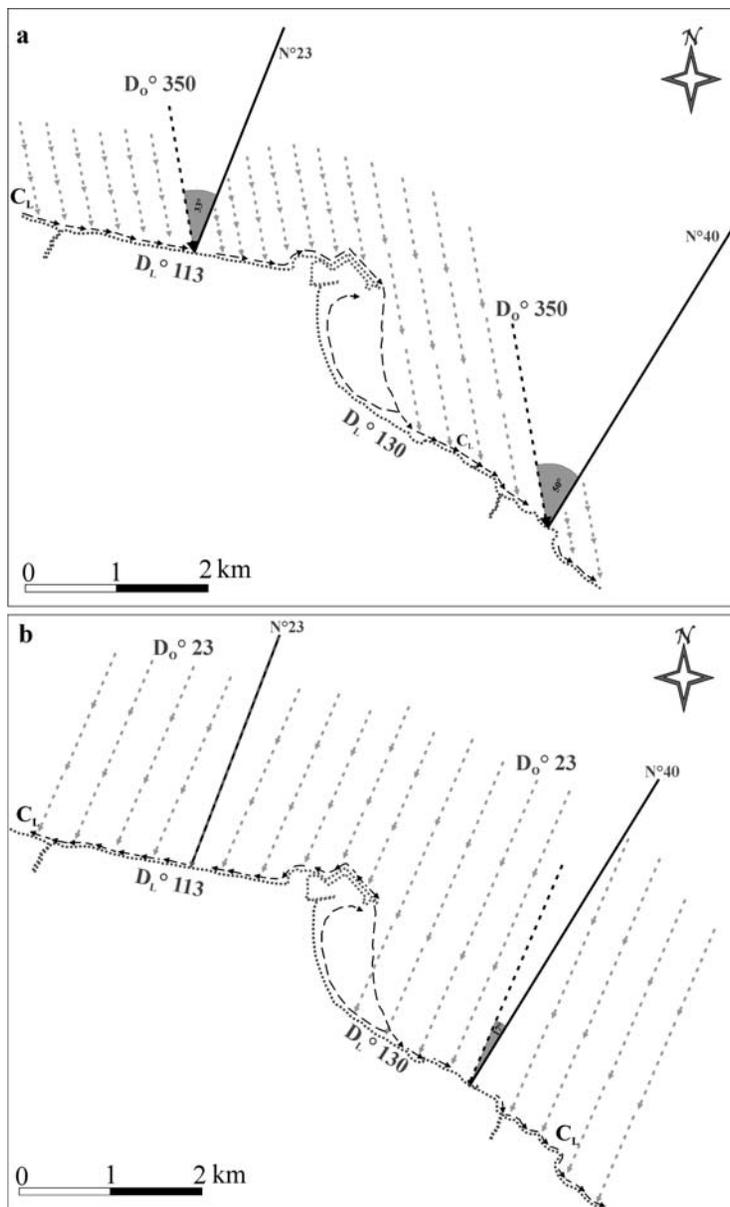


Figura 11 - Verso delle correnti longitudinali rispettivamente a nord e a sud del promontorio di Termoli in base al campo direzionale ed angolo di incidenza sulla costa delle onde prevalenti a maggior energia: a) 350°N; b) 23°N. D_L = direzione della linea di costa in gradi rispetto al Nord. C_L = verso della corrente lungo costa. D_O = Direzione dei fronti d'onda di mare lungo.

Considerazioni conclusive

La costa molisana in generale e il settore costiero in esame in particolare sono interessati da una prevalente e persistente tendenza all'arretramento che appare controllata, oltre che dalla riduzione progressiva degli apporti solidi da parte dei corsi d'acqua principali (fiumi Biferno e Trigno, torrenti Sinarca e Saccione), anche dalle condizioni locali del clima meteomarina e dalle variazioni che questo ha subito a partire dalla metà degli anni '70. Il fenomeno erosivo è risultato particolarmente marcato nel tratto C dove, nonostante la copertura completa con opere di difesa, sono stati raggiunti i valori di arretramento più elevati riscontrati per l'intero litorale molisano e pari a ca. 500 m tra il 1954 e 2000.

Il regime anemometrico nel settore costiero in esame è dominato dai venti provenienti dai settori settentrionali. Il campo anemologico dedotto è risultato coerente e coincidente con il campo ondometrico soprattutto per le direzioni NW e NE a cui sono associati valori di *fetch* più elevati, e di conseguenza gli effetti di erosione legati alle ondatazioni principali risultano essere strettamente collegati al regime anemometrico e di conseguenza anche alle variazioni che questo ha subito. Le variazioni registrate - gli aumenti significati-

vi della frequenza dei venti provenienti dal I e VIII ottante, la comparsa e l'aumento notevole, rispettivamente, degli stessi per intensità superiori ai 48 nodi, e la recentissima riduzione delle frequenze degli eventi di calma - indicano importanti cambiamenti del regime anemometrico e quindi con ogni probabilità del clima. Tali variazioni si traducono in un aggravamento notevole per le condizioni di stabilità del settore costiero in esame, anche perché i venti interessati non sono stagionali ma sempre attivi. L'efficacia delle ondate principali collegate ai venti settentrionali differisce in relazione ai diversi angoli di incidenza sulla costa, sia per propria direzione che per orientamento diverso della costa a nord e a sud del promontorio di Termoli pari rispettivamente a 113°N e 130°N, portando a condizioni di erosione nettamente maggiori nel tratto C. Questo ultimo, infatti, se da un lato risulta relativamente protetto dalle scogliere da una dispersione dei sedimenti verso il largo, dall'altro risulta essere interessato da un maggiore *drift* litoraneo (forse in parte anche imputabile alla presenza stessa delle scogliere) e da una conseguente dispersione dei sedimenti verso SE molto più consistente. Ciò porta a dover definire, tenendo conto delle attuali condizioni meteomarine e della frequenza crescente di mareggiate, il tratto C ad alto rischio di erosione.

Bibliografia

- AA.VV. (2005) - *La Dinamica della costa molisana*. Convenzione tra l'Università degli Studi del Molise - Dipartimento S.T.A.T. e la Regione Molise. IV e V Relazione semestrale, giugno e dicembre 2005.
- AA.VV. (2006) - *La Dinamica della costa molisana*. Convenzione tra l'Università degli Studi del Molise - Dipartimento S.T.A.T. e la Regione Molise. VII Relazione semestrale, novembre 2006.
- Antonioli F. (a cura di) (2000) - *Le fluttuazioni del clima nel corso dell'Olocene: stato dell'arte*. Il Quaternario, 13 (1): 95-128.
- Assessorato ai Lavori Pubblici della Regione Molise (2001) - *Studio specialistico relativo all'erosione marina sulla intera costa della Regione Molise*. Campobasso.
- Atzeni A. (2003) - *Effetti idrodinamici sulle spiagge della costa occidentale della Sardegna*. Studi Costieri, 3: 61-80.
- Aucelli P.P.C. e Roskopf C. (2000) - *Last century valley floor modifications of the Trigno River (Southern Italy): a preliminary report*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 23: 105-115.
- Aucelli P.P.C., Iannantuono E. e Roskopf C.M. (2003) - *Evolutive trends and present morphodynamics along the Molise coast and their relationship to shore protection structures (Southern Italy)*. Atti del Convegno: 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Bologna, Giugno 2003, pp. 157-159.
- Aucelli P.P.C., Brancaccio L., Faillace P.I., Pellegrino P., Roskopf C.M. e Scapillati N. (2004) - *L'evoluzione recente della costa molisana (Italia meridionale)*. Il Quaternario, 17 (1): 21-31.
- Balzano A., Cappiotti L., Soldini L. e Zanuttigh B. (2005) - *Modellazione numerica della circolazione attorno ad opere trascinabili*. Studi costieri, 9: 119-157.
- Bartolini C., Corda L., D'Alessandro L., La Monica G.B e Regini E. (1977) - *Studi di morfologia costiera: III - Il tombolo di Feniglia*. Boll. Soc. Geol. It., 96: 117-157.
- Bascom W. (1965) - *Onde e spiagge*. Zanichelli, Bologna.
- Bondesan M. e Simeoni U. (1983) - *Dinamica e analisi morfologica statistica dei litorali del delta del Po e alle foci dell'Adige e del Brenta*. Memorie di Scienze Geologiche, 36: 1-48.
- Carobene L. e Brambati A. (1975) - *Metodo per l'analisi morfologica quantitative delle spiagge*. Boll. Soc. Geol. It., 94: 479-493.
- Carobene L. e Brambati A. (1977) - *Analisi morfologica delle spiagge dell'alto Adriatico tra I fiumi Brenta e Tagliamento*. Boll. Soc. Geol. It., 96: 1-139.
- Cipriani L.E., Ferri S., Iannotta P., Paolieri F. e Pranzini E. (2001) - *Morfologia e dinamica dei sedimenti del litorale della Toscana settentrionale*. Studi Costieri, 4: 119-156.
- D'Alessandro L., Davoli L., Fredi P. e Lupia Palmieri E. (1982) - *Il litorale calabro compreso tra il delta del Fiume Savuto e Capo Bonifati: evoluzione recente della spiaggia e variazione del regime anemometrico*. Prog. Fin. Conservazione del Suolo - Dinamica dei Litorali, CNR 201, pp. 1-39.
- D'Alessandro L., Davoli L., Lupia Palmieri E. e Raffi R. (2002) - *Natural and anthropogenic factors affecting the recent evolution of beaches in Calabria*. In: applied Geomorphology: Theory and Practise, edited by R.J. Allison. John Wiley & Sons, Ltd., pp. 397-427.

- Folk R.L. e Word W.C. (1957) - *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journ. Sedim. Petrol., 27: 3-26.
- Girardi A., Parea G.C. e Zunica M. (1985a) - *Atlante delle spiagge italiane: Dinamismo - Tendenza evolutiva - Opere umane. Foglio 147 - Lanciano, Foglio 148 - Vasto (scala 1:100.000)*. C.N.R. - P.F. "Conservazione del Suolo", Sottoprogetto "Dinamica dei litorali", S.EL.CA., Firenze.
- Girardi A., Coltellacci M., Parea G.C. e Zunica M. (1985b) - *Atlante delle spiagge italiane: Dinamismo - Tendenza evolutiva - Opere umane. Foglio 155 - San Severo (scala 1:100.000)*. C.N.R. - P.F. "Conservazione del Suolo", Sottoprogetto "Dinamica dei litorali", S.EL.CA., Firenze.
- Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero (2006) - *Le spiagge del Molise*. In: Lo stato dei litorali italiani. Studi costieri, 10: 65-70.
- Iannantuono E. (2002) - *Studio della dinamica della costa molisana dal 1954 ad oggi attraverso l'analisi geomorfologica e climatica*. Tesi di Laurea, anno accademico 2001-2002, Università degli Studi del Molise, 120 pp.
- Iannantuono E., Aucelli P.P.C. e Roskopf C.M. (2005) - *La caratterizzazione ambientale della fascia costiera di Termoli*. In: Pesca marittima e acquicoltura: aspetti economici e ambientali di Forleo M (a cura di). Edizioni Scientifiche Italiane: 171-194.
- Komar P.D. (1998) - *Beach processes and sedimentation*. 2a Ed. Prentice Hall, N.J., 544 pp.
- Marabini F. (2000) - *Effetti sull'erosione costiera dei fenomeni climatici recenti: l'esempio del litorale nord adriatico. Mare e cambiamenti globali*. Convegno IGRAM, 25/26 Febbraio 1999, Roma, pp. 119-134.
- Metaxas D.A., Bartzokas A. e Vibras (1991) - *Temperature fluctuations in the Mediterranean area during the last 120 years*. International Journal of Climatology, 11: 897-908.
- Parea G. C. (1978) - *Trasporto dei sedimenti ed erosione costiera lungo il litorale fra il Tronto ed il Fortore (Adriatico Centrale)*. Mem. Soc. Geol. It., 19: 361-367.
- Patacca E., Sartori R. e Scandone P. (1992) - *Tyrrhenian basin and appenninic arcs: Kinematic relations since late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. It., 45: 425-451.
- Pirazzoli P.A. e Tomasin A. (2003) - *Recent near-surface wind changes in the central Mediterranean and Adriatic areas*. International Journal of Climatology, 23: 963-973.
- Pirazzoli, P.A., Regnaud, H. e Lemasson L. (2004) - *Changes in storminess and surges in western France during the last century*. Marine Geology, 210: 307-323
- Pranzini E. (2004) - *La forma delle coste: geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa dei litorali*. Zanichelli, 245 pp.
- Vittorini S. (1991) - *La diminuzione del trasporto solido nei fiumi italiani tra il periodo prebellico e quello attuale*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 14: 252-258.
- Werner P.C., Gerstengarbe F.W., Fraedrich K. e Oesterle H. (2000) - *Recent climate change in the North Atlantic/European sector*. International Journal of Climatology, 20: 463-471.
- Zunica M. (1987) - *Lo spazio costiero italiano*. Valerio Levi Editore, 212 pp.

Ricevuto il 15/03/2006, accettato il 10/07/2007.