

Lineamenti e dinamica della costa pugliese

Giuseppe Mastronuzzi ¹, Giovanni Palmentola ¹, Paolo Sansò ²

¹ Sezione di Geografia Fisica e Geomorfologia, Dipartimento di Geologia e Geofisica, Campus Universitario, Via Orabona 4, 70125 Bari. g.mastrozz@geo.uniba.it

² Osservatorio di Chimica, Fisica e Geologia ambientale, Dipartimento di Scienza dei Materiali, Via per Arnesano, 73100 Lecce

Riassunto

Da secoli, e con particolare intensità negli ultimi cinquant'anni, l'intero sistema costiero pugliese è stato sottoposto a forte pressione antropica i cui effetti si sono cumulati con quelli delle variazioni del livello del mare. I corsi d'acqua principali sono stati tutti sbarrati da dighe di ritenuta; negli alvei sono state in più luoghi aperte cave di prestito di inerti; le sabbie dei sistemi dunari costieri sono state utilizzate nell'edilizia o private della copertura vegetale protettiva a causa dell'intenso calpestio, soprattutto durante la stagione balneare. A ciò si aggiunga che la costruzione di opere portuali e di protezione della costa ha condizionato, modificandole in parte, le caratteristiche idrodinamiche sotto costa. Il complesso di questi interventi ha dato luogo a una situazione di diffuso disequilibrio, particolarmente evidente in corrispondenza dell'elemento più suscettibile del sistema: le spiagge. Lo studio, dopo un breve inquadramento geologico-morfologico, descrive ed esamina la fascia costiera pugliese e, successivamente, analizza i fattori più importanti che condizionano il suo equilibrio morfologico e le modificazioni in atto.

Parole Chiave: morfologia costiera, dinamica costiera, Puglia, Italia.

Abstract

During the last centuries -and especially in the last fifty years- the entire Apulian coastal system underwent a strong anthropic pressure, whose effects sum up to the coastal modifications linked to sea level changes. Quarries exploit fluvial sediments at main river beds, main rivers have been dammed, coastal dune sediments have been used for construction works and, especially in the summer, the vegetation cover has been stripped because of stamping. Finally, harbour structures and sea defences have modified the nearshore coastal dynamics. This situation led to widespread erosion, especially of beaches.

In this paper the Apulian coastal zone and the most important factors which influence its morphological evolution are described and examined.

Key-words: coastal morphology, coastal dynamics, Apulia, Italy.

Introduzione

La maggior parte delle aree costiere densamente popolate del globo sono soggette all'innalzamento del livello medio del mare (Bird, 1993; Nicholls e Leatherman, 1995; Nicholls et al., 1995; Leatherman, 2001). Esso, dovuto a fattori eustatici e sterici su scala planetaria, ed esasperato da fatti locali, può essere stimato nell'ordine di grandezza di alcuni mm/anno, fra circa 1 e un massimo di 6 mm/anno (Pirazzoli, 1996; Douglas, 2001). Dati forniti dai satelliti ERS-1 e Topex-Poseidon hanno indicato la stessa tendenza per il livello del mare eustatico con un aumento di circa 0.5 mm/anno (Cazenave et

al., 1998; Pirazzoli, 1998; Pirazzoli e Tomasin, 1999). Espresse in questi termini, le dimensioni del fenomeno sembrano essere addirittura trascurabili rispetto a manifestazioni parossistiche quali eruzioni o terremoti. Già agli inizi degli anni '60 del secolo scorso Bruun (1962) suggerì che il manifestarsi di sensibili arretramenti della linea di riva lungo la maggior parte delle coste del globo fosse da mettere in relazione con l'innalzamento del livello medio del mare. Il modello di Bruun prevede che la risalita del livello del mare ed il connesso arretramento della linea di riva siano nel rapporto di 1 a 50-200. Se tale teoria apparve dimostrabile da subito per piccoli specchi d'acqua, l'applicabilità di tale modello ai bacini oceanici fu sottolineata solo in tempi più recenti da Leatherman et al. (2000). Studi compiuti lungo le coste atlantiche degli Stati Uniti misero in evidenza un rapporto fra innalzamento del livello del mare ed arretramento della linea di riva pari a 1 a 150.

L'innalzamento del livello del mare e l'arretramento della linea di riva rappresentano due componenti della pericolosità in quanto ad essi sono connessi l'alterazione degli ecosistemi e della vivibilità della fascia costiera; ad essi sono da attribuire l'aumento dei danni e della possibilità di inondazioni a seguito di mareggiate, l'intrusione salina negli acquiferi, la distruzione di ecosistemi costieri (Nicholls e Leatherman, 1994; Mazzini e Simeoni, 1997).

Come per tutte le aree costiere, la dinamica di quella pugliese è il risultato di complesse interazioni tra elementi morfologici emersi e sommersi, caratteri idrologici e oceanografici, condizioni climatiche e meteomarine. Già in tempi storici l'equilibrio fra questi elementi è stato profondamente modificato dalla crescente pressione antropica: diffusi lavori di bonifica nelle aree costiere e lavori idraulici lungo i maggiori corsi d'acqua sono stati eseguiti a partire dal periodo Greco-Romano e fino ai nostri giorni (Boenzi et al., 1997). Durante gli ultimi decenni, in particolare, la pressione antropica ha fortemente e direttamente pesato sulla dinamica dell'ambiente costiero. I lavori idraulici hanno interessato tutti i bacini di drenaggio tributari dell'area costiera della Puglia, diminuendo il contributo di sedimenti di origine fluviale alla costa e inducendovi un bilancio sedimentario negativo. Strutture portuali e lavori di difesa costiera hanno modificato le condizioni idrodinamiche lungo la costa impedendo il trasporto di sedimenti lungo riva; urbanizzazione ed industrializzazione sono state concentrate su aree costiere sempre più ampie rendendole vulnerabili anche ai piccoli cambiamenti degli equilibri naturali, tanto che le aree costiere di Taranto, Brindisi e Manfredonia ricadono fra quelle dichiarate ad alto rischio ambientale dal Ministero dell'Ambiente (1992). Su parecchi tratti della costa pugliese, insomma, sono stati indotti disequilibri fra le componenti ambientali che ne hanno modificato le relazioni funzionali alterando la dinamica naturale. In alcuni casi ne è derivata l'erosione delle coste o, altrimenti, ne è aumentata la vulnerabilità rispetto agli eventi a lungo periodo o a quelli catastrofici. Spiagge caratterizzate da progradazione dalla fine dello scorso secolo fino agli anni 50 hanno drammaticamente invertito la loro tendenza durante gli ultimi 40 anni. Recenti studi denunciano che in Puglia, oggi, circa il 30% delle spiagge e parecchi tratti di costa rocciosa sono soggetti a erosione (Caputo et al., 1991; Ministero dell'Ambiente, 1992; Caldara et al., 1998); in alcuni casi essa è particolarmente rapida e pericolosa per l'integrità dell'ambiente e/o delle strutture insediative e produttive (Maracchione et al., 2001; Sergio, 1999).

In questo lavoro vengono esaminati, comparati e, in qualche misura, valutati i principali fattori responsabili delle recenti modificazioni morfologiche e dell'attuale dinamica della costa pugliese.

Lineamenti geologici, morfologici, idrologici e climatici

La Puglia rappresenta la parte emersa dell'avampese della catena Appenninica da una parte e delle Dinaridi dall'altra. In funzione delle caratteristiche geologiche, geodinamiche e morfologiche è possibile distinguere nel territorio pugliese unità fisiografiche alquanto differenti: un piccolo lembo della catena Appenninica - il Subappennino Dauno -, il Gargano, il Tavoliere, le Murge, la piana Tarantino-Brindisina, il Salento e la piana Metapontina (Fig.1).

Il Subappennino Dauno ha rilievo energetico, caratterizzato da diffusa instabilità morfologica, con frane e fenomeni di erosione rapida lungo il corso del fiume Fortore e nelle aree montane dei bacini che versano in Adriatico dopo aver attraversato il Tavoliere.

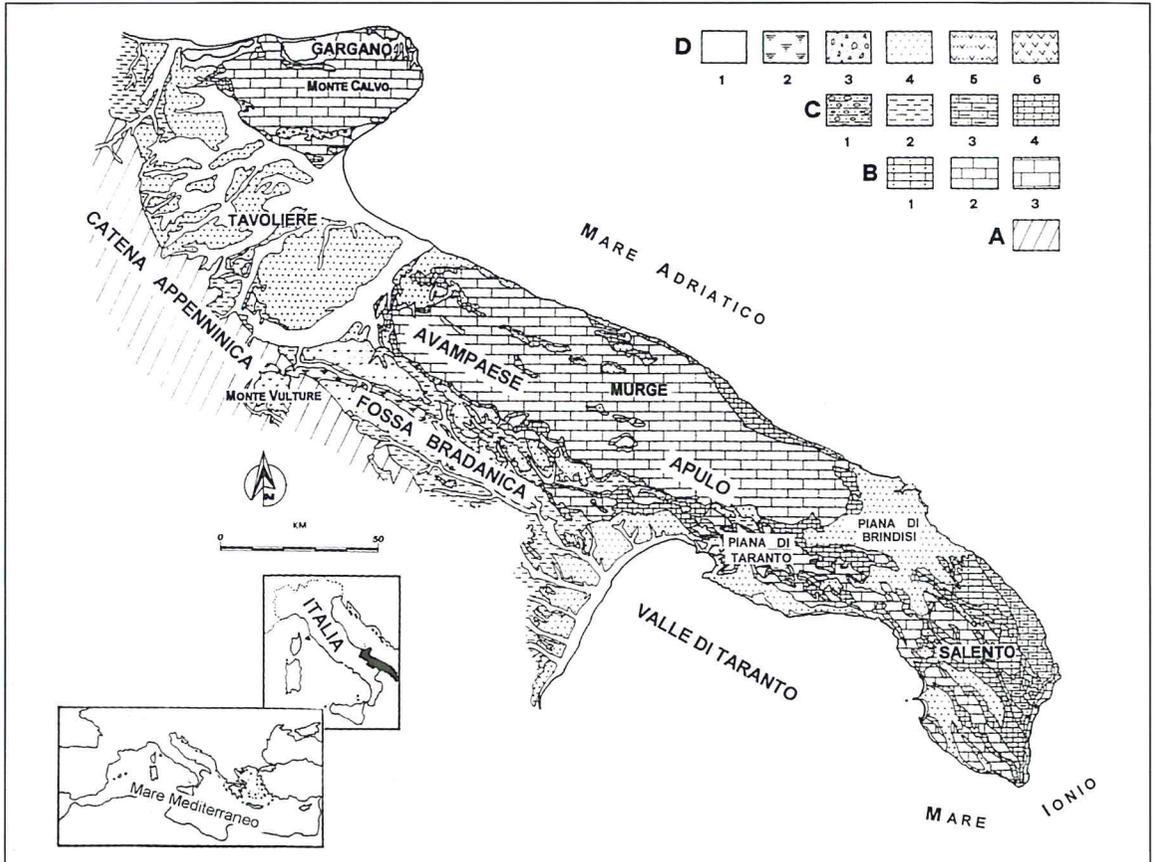


Figura 1 - Carta geologica schematica: A - Unità della Catena Appenninica; B - Unità dell'Avampaese Apulo: 1 - calcari e calcareniti (Miocene); 2 - calcareniti e calcari (Paleocene - Oligocene); 3 - calcari e dolomie (Cretaceo); C - Unità dell'Avanfossa: 1- sabbie e conglomerati (Pleistocene inferiore); 3- argille (Pleistocene inferiore); 3 - calcareniti e calcilutiti (Pliocene); 4 - calcareniti (Pliocene medio - Pleistocene inferiore); D: Quaternario: 1 - alluvioni, spiagge e depositi dunari (Pleistocene superiore - Olocene); 2 - depositi lacustri (Pleistocene medio - superiore); 3 - depositi di versante (Pleistocene superiore); 4 - depositi marini terrazzati (Pleistocene medio - superiore); 5 - depositi vulcano-sedimentari (Pleistocene medio); 6 - depositi vulcanici terrazzati (Pleistocene medio) (da Caldara et al., 1998, parz. mod.).

Quest'ultimo è una vasta superficie, poco elevata e piuttosto regolare, che si spinge dai piedi del Subappennino fino al Golfo di Manfredonia costituita da depositi alluvionali, solcati dagli unici corsi d'acqua della regione: l'Ofanto, il Cervaro, il Carapelle e il Candelaro. Questi, impostati su rocce impermeabili ed erodibili, dalla granulometria fine, pur scorrendo in bacini di drenaggio ben sviluppati, a causa del loro recente sbarramento ad opera di dighe di ritenuta, sono caratterizzati da contributi liquidi e solidi pressoché nulli.

Il Gargano è un rilievo carbonatico diffusamente modellato dal fenomeno carsico che presenta qua e là forme di origine strutturale connesse con una tettonica ancora attiva. Il reticolo idrografico, a carattere torrentizio e poco sviluppato, convoglia le acque nella rete idrografica carsica e quindi a mare attraverso sorgenti sottomarine.

L'altopiano carbonatico delle Murge è caratterizzato da forme decisamente dolci, modellate dall'azione fluvio-carsica. Il reticolo idrografico pur presentando forme relitte ben evidenti, oggi mostra carattere effimero e convoglia le acque direttamente nella falda profonda.

La piana di Brindisi e Taranto, verso occidente interrotta da *horst* nei carbonati mesozoici, corrisponde ad un esteso sedipiano di età medio-pleistocenica; esso è solcato da un reticolo idrografico a carattere torrentizio ormai in buona parte con alveo artificiale.

La Penisola Salentina è caratterizzata da poco elevate dorsali strutturali, carbonatiche, alle quali si interpongono zone pianeggianti meno elevate cui corrispondono sedimenti di età pliocenica e quaternaria. La Penisola è caratterizzata da un reticolo idrografico endoreico, con deflusso naturale in corrispondenza di inghiottitoi carsici, e da uno esoreico, relitto, privo di significativi deflussi.

La piana di Metaponto è una piana alluvionale costiera, costruita nell'area esterna della Fossa Bradanica dagli apporti dei fiumi lucani - il Bradano il Basento, l'Agri e il Sinni - e, verso Taranto, da quelli meno importanti di risorgiva, che raccolgono parte delle acque murgiane: il Tara, il Lenne e il Patemisco.

I caratteri idrici del reticolo idrografico oltre che dalle unità geologiche in affioramento sono condizionati dal clima, caratterizzato da inverni miti e piuttosto asciutti ed estati calde e secche. I valori medi annui di precipitazioni sono compresi tra circa 1100-1200 mm sul Promontorio del Gargano e meno di 400 mm per il Tavoliere, con una media per l'intera regione di circa 600 mm per il periodo 1921-1990. La tendenza attuale è verso la diminuzione delle precipitazioni sia pure con ampie oscillazioni fra un anno e l'altro (Falocco e Lubello, 2001).

La piattaforma continentale Pugliese (Fig. 2) mostra lungo la costa adriatica larghezza variabile dai 18 km nei pressi di Otranto, agli oltre 60 km nel Golfo di Manfredonia. Sul lato occidentale essa è mediamente più stretta e raggiunge la massima larghezza, 20 Km, tra Porto Cesareo e Santa Maria di Leuca; raggiunge la sua larghezza minima, circa 5 km, di fronte alla foce del Fiume Bradano. La sua pendenza si aggira in media sull'1,5‰.

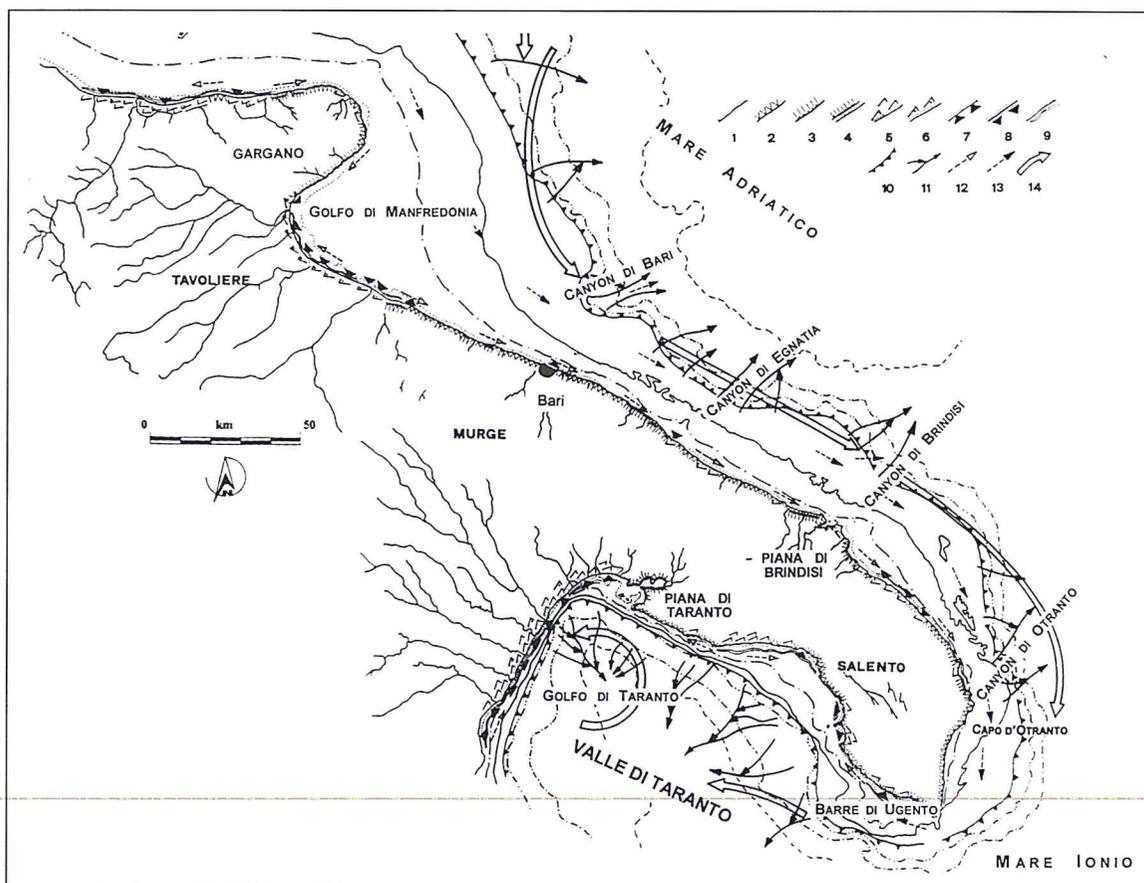


Figura 2 - Morfologia costiera e sottomarina e tendenza evolutiva: 1 - spiagge sabbiose e/o ciottolose; 2 - costa rocciosa digradante; 3 - falesie; 4 - falesie con spiagge al piede; 5 - cordoni dunari; 6 - cordoni dunari in corso di degrado ad opera dell'attività umana; 7 - linea di riva in arretramento; 8 - linea di riva in progradazione; 9 - barre; 10 - ciglio della piattaforma continentale; 11 - canyons sottomarini; 12 - deriva dei sedimenti; 13 - corrente litorale; 14 - corrente superficiale (da Caldara et al., 1998, parz. mod.).

L'orlo della piattaforma è posto a circa 100-110 metri di profondità sul lato occidentale e a circa 160-200 metri di profondità su quello adriatico, ed è inciso dalle testate di canyons che si sviluppano lungo la scarpata continentale; queste, in particolar modo dove non lontane dalla linea di riva, costituiscono vie preferenziali per il trasferimento dei sedimenti verso la piana abissale.

In più luoghi la piattaforma è coperta da sedimenti terrigeni sciolti: sabbie, fino a 10-15 metri di profondità; silt e argilla, fino a 125 metri di profondità; e ancora sabbia alle profondità superiori. La loro composizione rispecchia la litologia delle aree tributarie. In particolare i sedimenti del lato adriatico sono contraddistinti da minerali pesanti recapitati a mare dal fiume Ofanto, nel cui bacino idrografico ricade l'edificio vulcanico del Monte Vulture. L'apporto sedimentario nella parte interna della piattaforma è stata stimato in circa 4 mm/anno (Van Straaten, 1985). Lungo il lato occidentale, i sedimenti sono bioclastici a sud di Taranto, mentre nella zona prospiciente la piana di Metaponto essi sono soprattutto sabbioso-siltosi (Pennetta, 1985).

Praterie di *Posidonia oceanica* colonizzano ampie zone della piattaforma interna; al largo, oltre i -15 m sul lato adriatico ed oltre i -30 su quello ionico, essa è sostituita dal coralligeno di piattaforma (Fig. 3). Essa gioca un ruolo chiave nel ripascimento delle spiagge, tanto più nella situazione attuale, caratterizzata da pressoché trascurabile apporto dall'entroterra.

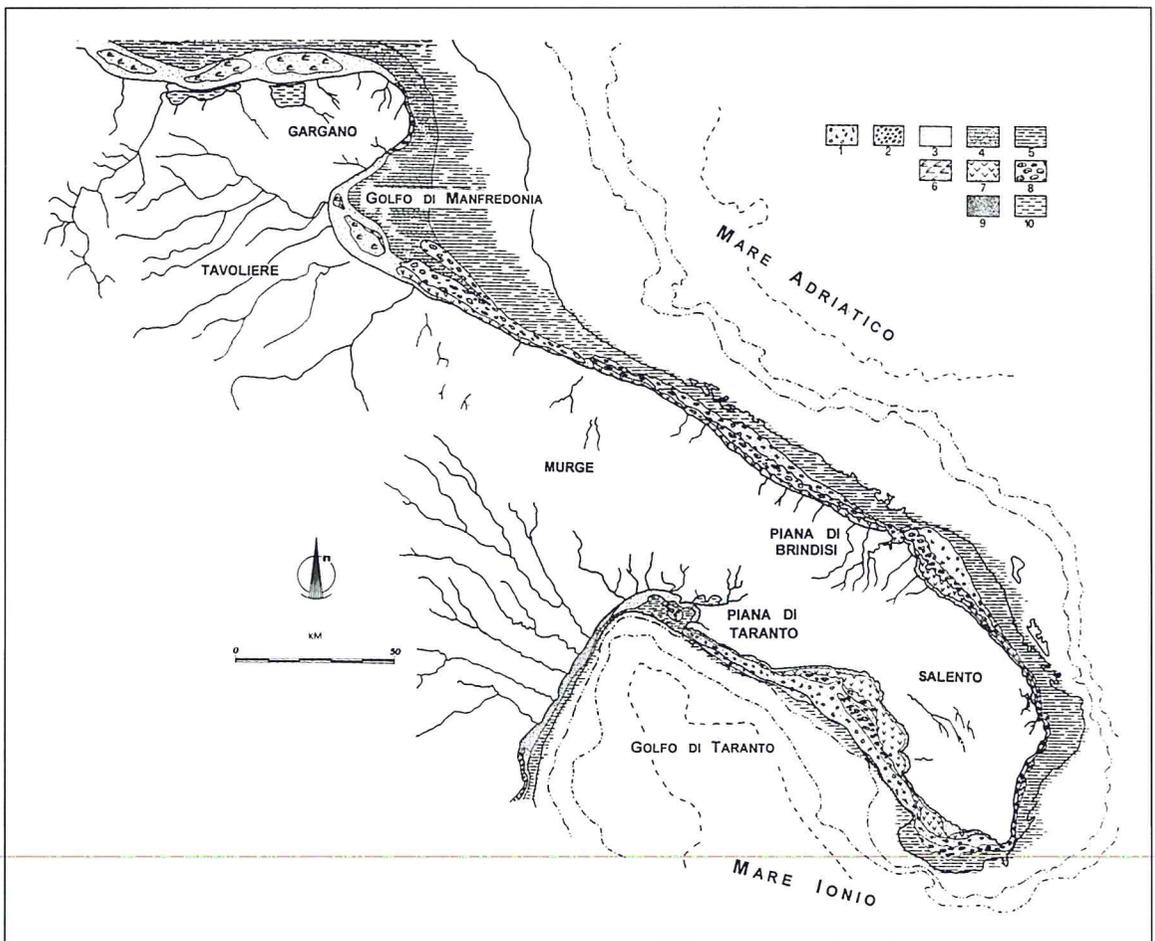


Figura 3 - Caratteri sedimentari e biocenosi bentoniche sulla piattaforma pugliese: 1 - fondali a detriti costieri (DC); 2 - spiagge ciottolose; 3 - fondali con sabbie fini ben sortite (SFBC); 4 - transizione tra SFBC e VTC; 5 - fanghi terrigeni (VTC); 6 - prateria a *Cymodocea nodosa*; 7 - prateria a *Posidonia oceanica* (HP); 8 - coralligeno; 9 - sabbia media terrigena; 10 - sabbie fangose superficiali nell'area riparata (SVMC). (da Caldara et al., 1998, parz. mod.).

La corrente principale dell'Adriatico discendente lungo le coste italiane si allontana dalla linea di costa solo in corrispondenza del Golfo di Manfredonia; la presenza del Promontorio del Gargano la costringe infatti a descrivere una ampia curva, definendo un circuito locale in senso antiorario proprio nel Golfo, prima di riaccostarsi alla terraferma nei dintorni di Bari. La corrente principale scorre quindi verso il Canale d'Otranto dove raggiunge la velocità di 4 nodi (Hydrogeographer of the Navy, 1957), comunque in funzione delle condizioni bariche dello Ionio. Una volta superato Capo Santa Maria di Leuca, essa entra nel Golfo di Taranto e muove verso settentrione costeggiando la Penisola Salentina, dando luogo ad un flusso antiorario, fortemente influenzato da più piccole correnti stagionali (Fig. 2).

I venti spirano nel Mare Adriatico principalmente da NO e subordinatamente da S-SE ed inducono una analoga distribuzione del moto ondoso. Secondo Simeoni (1992) oltre il 61% delle onde mostra un'altezza inferiore a 0,5 metri mentre solo lo 0,9% di esse supera i 2,5 metri. La deriva dei sedimenti lungo costa avviene da NO a SE, ad eccezione del tratto di costa tra Margherita di Savoia e Barletta caratterizzato da una deriva dei sedimenti da SE verso NO. La costa occidentale è esposta al vento di scirocco, da SE, localmente il più frequente e il più forte, e che finisce per provocare la deriva dei sedimenti lungo costa da SO a NE.

Le aree costiere della Puglia sono soggette ad escursioni di marea massime annuali di un metro lungo la costa adriatica a Vieste e di 0.6 m lungo la costa ionica a Taranto; le maree massime giornaliere hanno valori rispettivamente di 0,7 m e 0,5 m.

Evidenze morfologiche indicano il completamento della transgressione versiliana circa 6000 anni BP. Da questo momento si verificarono solo piccole oscillazioni, fors'anche di natura sterica, come l'abbassamento di qualche metro sotto la sua posizione attuale, registrato intorno a 2500 anni BP (Mastronuzzi et al., 1989; 1994; Boenzi et al., 1995; Dini et al., 2000; 2001).

Tipi morfologici costieri e velocità dell'erosione

La costa pugliese è marcata dall'alternanza di falesie, di coste rocciose digradanti e di spiagge (Tab. 1; Fig. 2).

Lungo il Promontorio del Gargano falesie instabili sono intagliate su calcari e su depositi di versante tardo Pleistocenici; in genere esse hanno il piede poco sotto il livello del mare, segnato dalla presenza di spiagge a permanenza stagionale. Le coste settentrionali ospitano piccole spiagge sabbiose all'interno di insenature corrispondenti a valli fluviali.

Falesie in arretramento modellate su calcari fratturati sono riconoscibili tra le città di Barletta e di Bisceglie, mentre sono su calcareniti quelle tra Bisceglie e Monopoli, dove, fra l'altro esse sono il risultato del forte arretramento di una costa rocciosa digradante (Maracchione et al., 2001). Stabili sono quelle di Polignano, anche se il carico esercitato dal centro urbano aumenta la pericolosità e il rischio di crolli.

Modellate in calcareniti, con tassi di arretramento di circa 0,2 m/anno, sono quelle che caratterizzano la costa a nord di Otranto e nei dintorni di Porto Miggiano (Mastronuzzi et al., 1992; Sergio 1999) mentre sono intagliate in depositi sabbioso-argillosi quelle nei pressi di Cerano a sud di Brindisi, il cui tasso di arretramento durante lo scorso secolo è stato stimato pari circa 1-1,5 m/anno (Gentile e Monterisi, 1994), e quelle nei pressi di Taranto, dove è stato valutato un tasso di arretramento di circa 0,8 m/anno (Mastronuzzi e Sansò, 1998).

Le coste rocciose digradanti, piane e convesse, sono il più diffuso tipo morfologico della regione. Esse sono rappresentate da superfici riesumate o ereditate in sommersione, anche molto acclivi, corrispondenti a versanti di modellamento continentale, a luoghi coperti da depositi di versante come nella zona di Otranto Capo Santa Maria di Leuca. Spesso sono rappresentate da una bassa, poco inclinata piattaforma intagliata sulle calcareniti dei terrazzi marini, sulle calcareniti Plio-Pleistoceniche o, ancora, su calcari mesozoici.

Tabella 1 - Stato dei litorali pugliesi. In corsivo sono riportati i dati forniti dal Ministero dell'Ambiente (1992). I dati in grassetto includono anche le isole e sono stati rilevati sulla base della cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare in scala 1/100000 e dell'Atlante delle Spiagge (AA.VV., 1995). La differenza rilevata nello sviluppo totale delle coste pugliesi può essere imputata alla differente scala del supporto cartografico sul quale l'indagine è stata svolta.

	Coste in erosione *		Coste in progradazione		Coste stabili **		Opere portuali e urbane		Totale	
	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%
Coste a falesia	-	-	-	-	-	-	-	-	450	57
	124	16	-	-	-	-	-	-	124	16
Coste rocciose digradanti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	296	38	-	-	296	38
Coste sabbiose	89	11(30)	1	0	212	27(70)	-	-	302	38
	194	25(70)	8	1(3)	74	10(27)	-	-	276	36
Opere portuali e urbane	-	-	-	-	-	-	41	5	41	5
	-	-	-	-	-	-	78	10	78	10
									793	
									774	

* Il valore indicato comprende anche le spiagge con opere di protezione.

** Il dato è riferito a spiagge sabbiose naturalmente stabili, prive di opere di difesa.

() Valore percentuale rispetto al totale delle coste sabbiose.

Il tasso di arretramento di questo tipo di costa è estremamente variabile in funzione dell'assetto strutturale dei corpi rocciosi; nell'area di Taranto è stato stimato in circa 0,06 m/anno (Mastronuzzi e Sansò, 1998). Esso contribuisce a determinare una linea di riva frastagliata, controllata dalle forme ereditate e caratterizzata da numerose, piccole insenature che proteggono *pocket beach* sabbiose o, più raramente, ciottolose. Estese spiagge bordano ampie piane alluvionali nei pressi della foce del fiume Fortore, tra Manfredonia e Barletta e nell'area metapontina del Golfo di Taranto.

Il fiume Fortore ha alimentato un delta cuspidato nonché i cordoni litoranei che in tempi storici hanno completato lo sbarramento dei laghi di Lesina e di Varano (Mastronuzzi et al., 1989). Durante gli ultimi decenni, le spiagge alla foce di questo fiume hanno subito un arretramento tale da determinare ormai il modellamento di una falesia nei depositi dunari.

Le spiagge sud-garganiche, fra tra Manfredonia e Barletta, sono lunghe circa 60 km e hanno ricevuto alimentazione dai fiumi Ofanto, Carapelle, Candelaro e Cervaro; in passato erano bordate da cordoni dunari, in seguito totalmente asportati dall'erosione o spianati dall'uomo ed in alcuni casi sostituiti da piccole dune artificiali poste a protezione della zone retrodunari. Quest'ultime sono da tempo bonificate ed intensamente coltivate o sfruttate come saline (Boenzi et al., 1992), le più grandi d'Europa. Il complesso di queste spiagge, in progradazione fino alla fine del secolo scorso, nonostante le estese opere di protezione realizzate, è soggetto, a partire dagli anni '60 del secolo scorso, ad una intensa fase erosiva: nell'area intorno alla foce del fiume Ofanto, ad esempio, è stato stimato un tasso di arretramento medio di circa 2 m/anno, con una perdita di sedimenti di spiaggia, tra il 1957 ed il 1975, superiore a 125000 mc di sabbia (Pennetta, 1988; Simeoni, 1992; Caldara, 1996; Simeoni e Bondesan, 1997).

Le spiagge poste nella parte metapontina del Golfo di Taranto si allungano per circa 90 km (di cui solo circa 25 in territorio pugliese) e sono alimentate in prevalenza dal tributo solido dei fiumi Bradano, Basento, Sinni ed Agri. Esse, principalmente sabbiose, sono state in progradazione fino a circa 40 anni fa ed hanno fornito materiale per la costruzione di alcuni cordoni dunari interni, ampi fin oltre 2 km e alti sino a circa 15 m, che limitavano aree umide retrodunari. Tutta l'area costiera è stata successivamente interessata da crescente antropizzazione con bonifiche, agricoltura estensiva ed intensiva e con la

costruzione di centri residenziali anche. Attualmente, le spiagge si sono molto ristrette e ormai sono rappresentate da una relativamente sottile fascia sabbiosa, allungata ai piedi di piccole falesie in veloce arretramento intagliate direttamente nelle dune o nei depositi retrodunari. Il tasso medio di arretramento per gli ultimi 40 anni è stato stimato in circa 3-4 m/anno (Amore et al., 1988).

Altre spiagge sono distribuite lungo la costa del Gargano, delle Murge e del Salento in ampie e poco profonde baie che interrompono la monotonia di una costa rocciosa e rettilinea. Esse non ricevono apporti direttamente da corsi d'acqua alle loro spalle e costituiscono a tutti gli effetti delle *pocket beach*. Lungo la costa adriatica esse sono alimentate da materiale di natura terrigena e subordinatamente da materiale biogenico. Nel caso delle spiagge ioniche la maggior parte del rifornimento è invece rappresentato da bioclasti provenienti dal ricco posidonieto e dal coralligeno antistanti (Fig. 3).

Cause dell'erosione delle spiagge

La gran parte delle coste pugliesi è soggetta ad erosione che sta modificando, piuttosto rapidamente, aspetto e forme degli spazi costieri. Questa situazione, diffusa a tutti i tipi di costa, è particolarmente evidente per quello più suscettibile, le spiagge; il loro rapido arretramento ormai costituisce un problema diffuso di non facile soluzione tanto per l'equilibrio dell'ecosistema costiero quanto per l'economia locale. Di una di esse, quella di Torre Canne-Torre San Leonardo, in provincia di Brindisi, assunta come caso studio, è stato condotto il monitoraggio nel periodo 1999-2000. Esso ha messo in evidenza la perdita media annua di 1,3 m³ di sedimento corrispondente per tutta la spiaggia, estesa circa 6 km, a circa 8300 m³ di sabbia pari al 3,23% del volume totale disponibile (Schinaia, 2001). Una situazione ad essa comparabile è riconosciuta su altre spiagge della costa pugliese.

La causa di tutto è da cercarsi in alcune modificazioni subite dal sistema: almeno due di queste sono di ordine naturale; le altre, probabilmente le più efficaci nel breve periodo, sono indotte dall'uomo.

La prima modificazione consiste nell'innalzamento del livello del mare. Questo è un fenomeno riconosciuto per tutto il pianeta e, anche se genericamente imputato all'effetto serra, a tutt'oggi non si è ancora in grado di quantificare il contributo antropico ad esso. I dati disponibili per il Mare Mediterraneo in generale e per la Puglia in particolare non permettono di distinguere i contributi derivanti dalle singole componenti eustatiche, steriche, isostatiche ed eventualmente geodinamiche. Ad oggi è riconosciuto per i mari circostanti la Puglia un innalzamento relativo negli ultimi 2500 anni di almeno un paio di metri (Dini et al., 2000; 2001) che ben si inquadra con i dati provenienti dal mareografo di Trieste, e – relativi a un periodo di osservazioni decisamente più breve – con quelli dei satelliti ERS-1 e Topex-Poseidon. Se pur questo dato è poco significativo in assoluto, esso comunque suggerisce una situazione di disequilibrio rispetto a forme costiere, come le spiagge e le dune “attuali”, accumulate nel corso degli ultimi 2500 anni e, pertanto, in un certo senso forme relitte. Questa seconda modificazione è caratteristica dei sistemi ad elevato grado di mobilità; l'erosione non solo della spiaggia ma anche della duna di età greco-romana è quindi almeno in parte conseguenza dell'adattamento al variare del livello marino. L'attuale arretramento della linea di riva è connesso con la necessità del sistema spiaggia di riequilibrarsi, adattandosi alle mutate condizioni ambientali. L'irrigidimento del sistema retrodunale comporta l'incapacità di tutto il sistema mobile di adattarsi in tempi brevi, migrando verso l'interno. Inoltre nonostante lungo il litorale adriatico pugliese nel periodo 1952-1998 si sia registrata la generale tendenza alla diminuzione dei casi di vento corrispondenti a mareggiate significative, il piccolo aumento dei fenomeni estremi ha avuto effetto distruttivo amplificato sull'edificio dunare (Fig. 4); esso è stato in più punti demolito perché non più protetto dalla spiaggia emersa in forte deficit sedimentario (Pignatelli, 2002). Quest'ultimo fenomeno pare essere in controtendenza rispetto alle condizioni climatiche; infatti nonostante le condizioni ambientali delle aree e dei bacini idrografici tributari indichino una tendenza alla resistasia e quindi una teorica maggiore disponibilità di sedimento, il suo trasporto verso la foce sarebbe resa problematica dalla minore competenza dei corsi d'acqua caratterizzati da sempre minori e discontinue portate conseguenti alla diminuzione delle precipitazioni e alla costruzione di ostacoli. In questo contesto diviene “pesante e determinante” l'azione antropica, spesso non pianificata e coordinata.

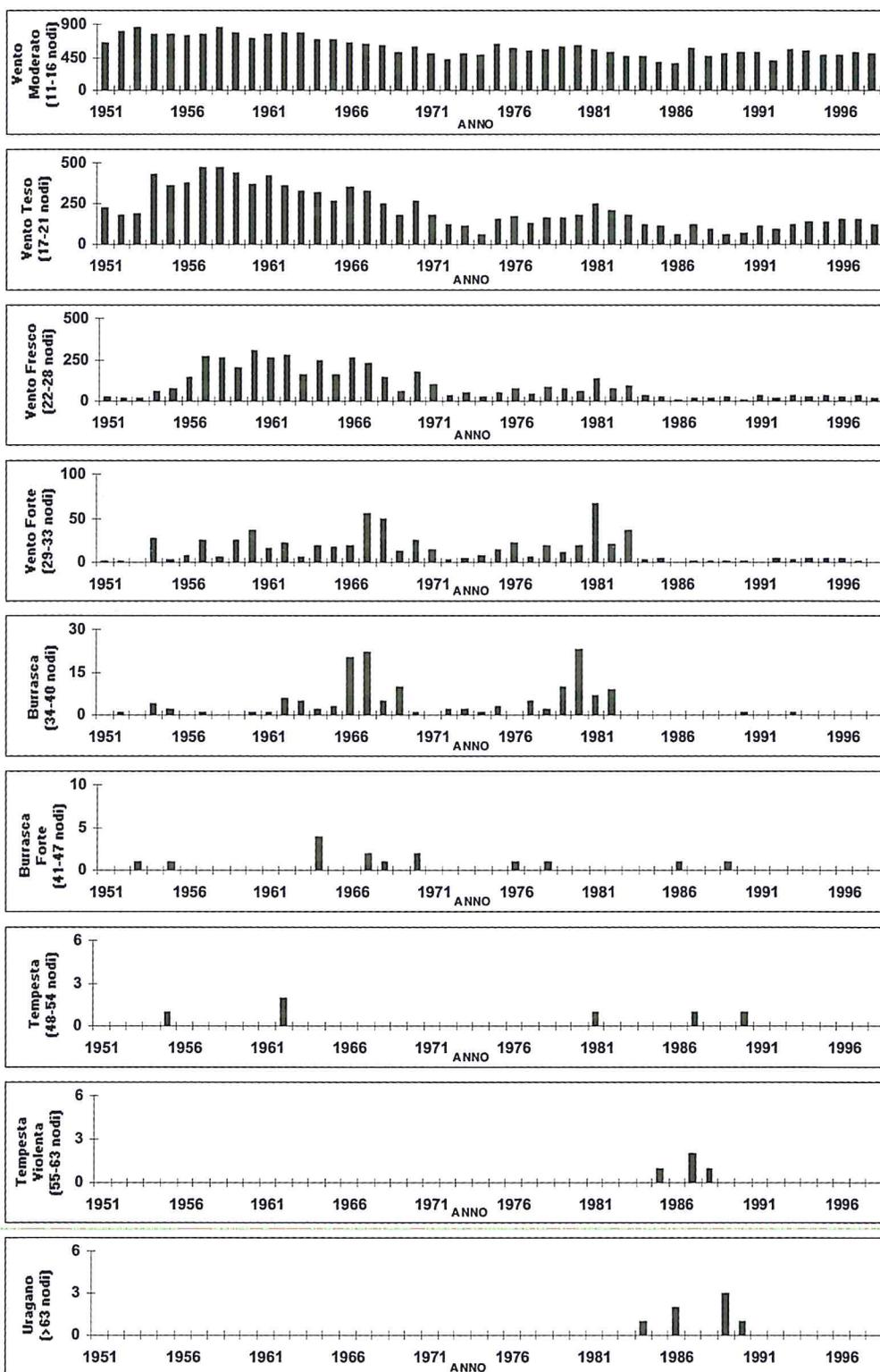


Figura 4 - Distribuzione del vento registrata nella stazione di Brindisi nell'intervallo di tempo 1952-1998.

Fra gli interventi vanno ricordati, *in primis*, quelli di regimazione e di sistemazione idraulica delle aste fluviali e torrentizie e la sistemazione delle aree in frana: la cementificazione degli argini e la costruzione di briglie e traverse hanno ritardato l'afflusso dei prodotti del dilavamento dei versanti nei canali di drenaggio, diminuendo la disponibilità di materiale.

Il più nocivo fra gli interventi, ancorché difficilmente evitabile, è stato la costruzione di dighe di ritenzione delle acque per uso irriguo, potabile e industriale. I bacini di drenaggio che influenzano la costa pugliese, dal Tavoliere (Candelaro, Cervaro, Carapelle ed Ofanto) all'area Ionica (Bradano, Basento, Agri, Sinni), sono caratterizzati da portate variabili legate alla grande differenza tra massimi e minimi valori delle precipitazioni durante l'anno. Ciò nondimeno, la portata solida in passato alta, a causa dell'elevato tasso di denudazione dei loro bacini di drenaggio, per lo più modellati in rocce particolarmente erodibili della Catena Appenninica e dell'Avanfossa, durante gli ultimi quaranta anni ha fatto registrare una sensibile diminuzione dovuta soprattutto, alle numerose dighe costruite lungo le aste fluviali nei bacini di drenaggio (Fig. 5). La loro costruzione ebbe inizio negli anni '50 e continua tutt'oggi; il fiume Ofanto, il maggiore fiume pugliese, lungo circa 134 Km, con un bacino ampio circa 2898 Km², è stato interessato dalla realizzazione di 20 dighe con grande capacità, alcune ancora in ultimazione (bacino del Locone, 105 Mmc; bacino del Capaciotti, 46 Mmc; bacino Rendina, 21 Mmc; bacino Conza, 54 Mmc), che possono immagazzinare complessivamente circa 250 Mmc di acqua. In conseguenza di questi interventi, l'Ofanto ha ridotto il suo apporto alla foce da circa 2x10⁶ ton/anno durante il periodo 1935-1961, a 0,6x10⁶ ton/anno nel periodo 1967-76 e a circa 0,2x10⁶ ton/anno durante gli ultimi 20 anni (Caldara, 1996; Caldara et al., 1998) (Fig. 6).

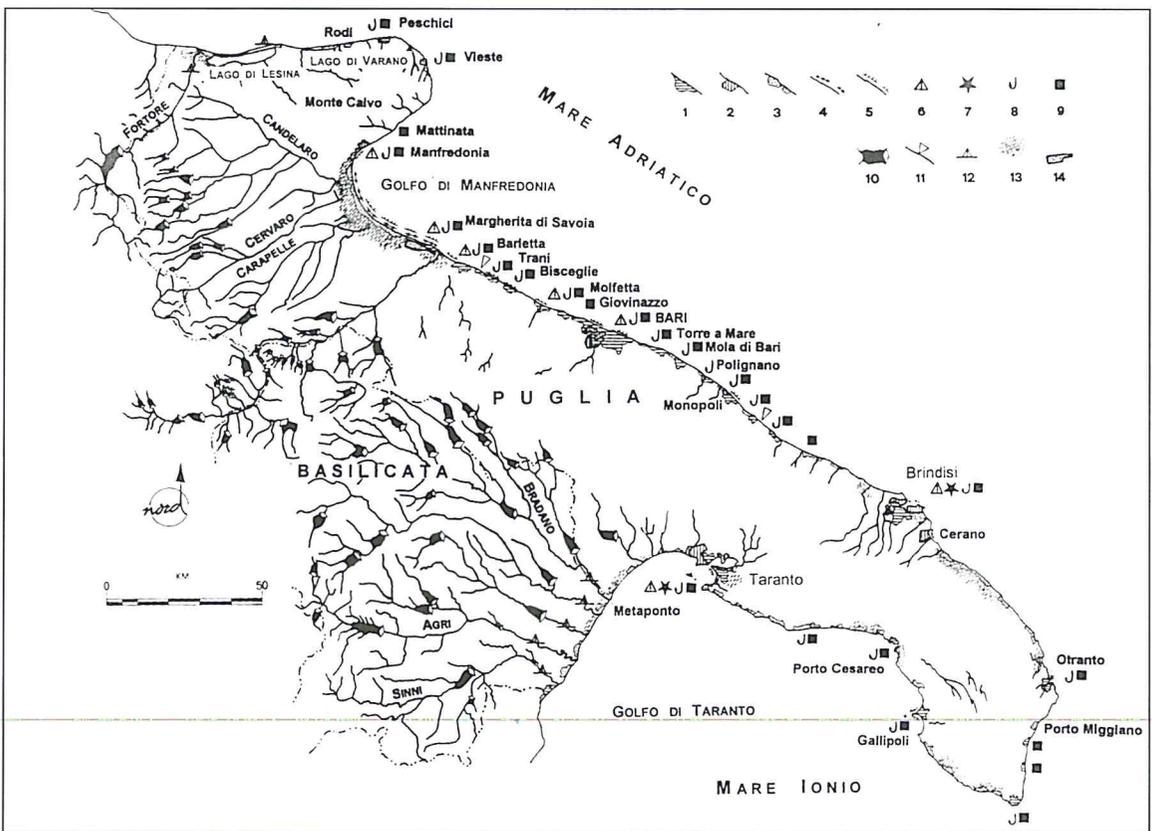


Figura 5 - Attività umane che influenzano la dinamica della fascia costiera pugliese: 1 - area costiera urbanizzata; 2 - grandi complessi industriali; 3 - insediamenti turistici permanenti; 4 - opere di difesa costiera aderenti; 5 - opere di difesa costiera parallele; 6 - porti industriali; 7 - porti militari; 8 - porti pescherecci; 9 - porti turistici; 10 - dighe e relativo invaso; 11 - discariche di materiali lapidei; 12 - cave di prestito in alveo e sulle spiagge; 13 - aree bonificate; 14 - saline (da Caldara et al., 1998, parz. mod.).

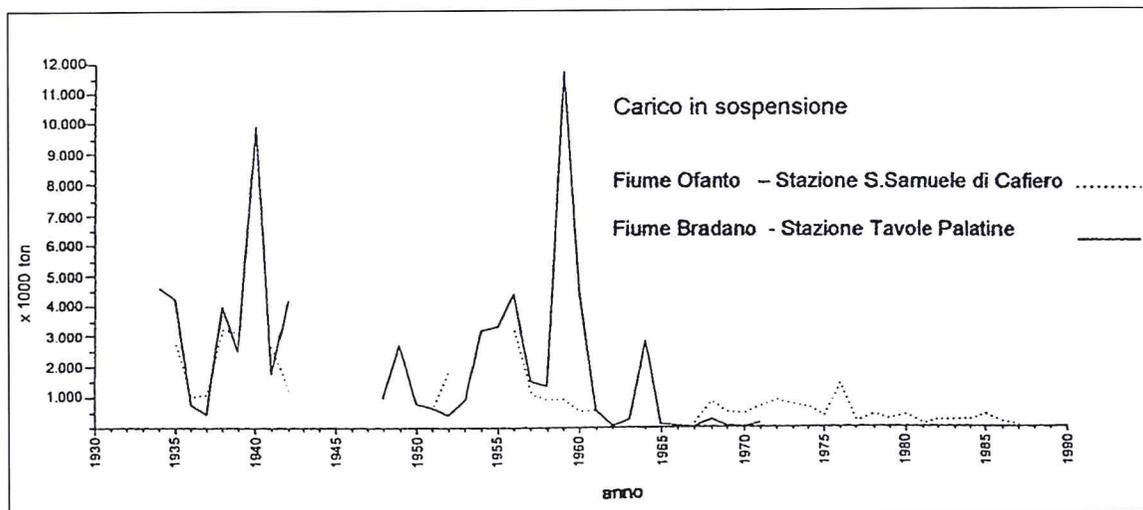


Figura 6 - Andamento del carico in sospensione misurato circa in corrispondenza della foce dell'Ofanto e del Bradano.

Una situazione simile si verifica lungo la costa ionica. Il fiume Bradano, lungo circa 120 km e con un bacino di drenaggio di circa 2760 kmq modellato in prevalenza su una successione di sabbie argillose di età plio-pleistocenica era caratterizzato da portata torbida pari a circa $3,5-4 \times 10^6$ ton/anno al foce; la costruzione della diga di San Giuliano (107×10^6 mc di bacino) nel 1958 ha ridotto il carico solido a meno del 10% (Cotecchia et al., 1977). Lo stesso si è verificato per gli altri fiumi che sfociano nel Golfo di Taranto i cui bacini di drenaggio sono tutti interessati dalla realizzazione di dighe (Mastronuzzi e Sansò, 1993; Mastronuzzi et al., 1997).

Un altro elemento significativo per il disequilibrio della fascia costiera è stato il prelievo, in alcuni luoghi e tempi anche piuttosto intenso, di inerti dagli alvei.

Un ultimo fattore di degradazione degli spazi costieri della Puglia è da individuarsi nella forte pressione antropica diretta, che li ha investiti negli ultimi 40-50 anni. È accaduto così che molta parte dei cordoni dunari fossero sezionati o sottoposti a prelievo di sedimento consentendo che la deflazione impoverisse ulteriormente spiagge già in situazione precaria.

La redistribuzione dei sedimenti recapitati alla costa dai principali corsi d'acqua risulta essere fortemente ostacolata dalla presenza di strutture portuali ed urbane, che interessano circa il 10% dell'intero perimetro pugliese, e di diffuse opere di difesa costiera. Queste opere impediscono il trasporto lungo riva dei sedimenti ed il naturale rifornimento delle spiagge in aree lontane dalle foci fluviali ed in alcuni casi anche il ripascimento da parte del materiale proveniente dall'arretramento delle falesie.

Conclusioni

I fattori naturali – variazione del livello del mare e dinamica dei sistemi costieri – ed antropici – regimazione e sbarramento dei corsi d'acqua, opere portuali e di difesa costiera, prelievo di inerti, distruzione della macchia, urbanizzazione delle aree costiere, gestione scorretta dei litorali sabbiosi – insieme hanno fortemente modificato la dinamica litorale. Il risultato più evidente di tale modificazione è il deficit sedimentario che oggi interessa molte delle spiagge pugliesi. Esso è stato per ora rilevato, e le cause documentate, esclusivamente nella baia di Torre Canne-Torre San Leonardo, ma il modello pare possa essere applicato in maniera generalizzata.

Le evidenze riconosciute lungo tutta la fascia costiera mostrano che, in somma, la crescente urbanizzazione delle aree costiere rende il sistema costiero estremamente rigido così che esso entra in una situazione critica nel momento in cui cerca di modificare le caratteristiche morfologiche in risposta a variazioni ambientali naturali a breve-lungo periodo (variazioni del livello del mare, ciclicità climati-

che a breve termine, regime anemometrico, etc.) e in risposta a condizionamenti antropici a breve periodo (opere portuali, sbarramenti, cave). La rigidità imposta al sistema non permette però che esso si riequilibri semplicemente spostandosi verso l'interno. La migrazione del sistema costiero verso l'interno avviene a spese delle coste rocciose e delle aree dunari; queste ultime non avendo spazi né materiali a disposizione, anzi dovendo fornire materiale alla spiaggia, appaiono oggi in generale preoccupante demolizione.

Tutto il sistema costiero si trova così a mutarsi secondo variabili dipendenti molto strette, imposte dall'attività antropica; la tendenza erosiva attuale potrebbe essere solo la parte iniziale di una reazione di entità maggiore alle sollecitazioni antropiche e delle quali, allo stato attuale, non si conoscono né si possono prevedere gli effetti finali.

Ringraziamenti

I dati, le osservazioni e le considerazioni tracciate nel presente contributo derivano da una serie di ricerche condotte dall'Unità Operativa di Bari, diretta da Prof. Giovanni Palmentola, con finanziamenti del Ministero dell'Università della Ricerca Scientifica e Tecnologica nell'ambito dei programmi 40% e Cofinanziamento relativi al periodo 1993-2000, coordinati sul territorio nazionale dal Prof. Giuliano Fierro. Gli Autori ringraziano il Dott. Massimo Caldara per il continuo e prezioso scambio di idee e di dati, il Dott. Carl L. Amos, del Bedford Institute of Oceanography – Dartmouth – N.S. – Canada, e il Dott. Ken Pye, del Postgraduate Institute of Sedimentology – University of Reading – U.K., per le proficue discussioni teoriche e in campagna, i Dott.ri Amalia Sergio, Stefania Schinaia, Eugenio Centenaro, Francesco Gianfreda e Cosimo Pignatelli per l'aiuto fornito alle indagini sul terreno.

Lavoro eseguito nell'ambito del progetto M.U.R.S.T. Cofinanziamento (ex 40%), "Bilancio sedimentario dei sistemi costieri italiani. Processi naturali ed influenze antropiche" (Resp. Naz.: Prof. Giuliano Fierro; Resp. U.O.L.: Prof. Giovanni Palmentola).

Bibliografia

- Aiello G., Bravi S., Budillon F., Cristofalo G.C., D'Argenio B., De Lauro M., Ferraro, Marsella E., Molisso F., Pelosi N., Sacchi M. e Tramontano M.A. (1995) - *Marine geology of the Salento shelf (Apulia, South Italy) Preliminary results of a multidisciplinary study*. Giorn. di Geol., ser.3^A, vol.57/1-2: 17-40.
- Amore C., D'Alessandro L., Di Geronimo S., Giuffrida E., Lo Iudice A. e Zanini A. (1988) - *Dinamica litorale del Golfo di Taranto tra Capo Spulico e Punta Rondinella*. Boll. Acc. Gioenia Sci. Nat., 21: 39-74.
- AA. VV. (1995) - *Atlante delle Spiagge italiane*. C.N.R., S.E.L.C.A., Firenze.
- Bird E.C.F. (1993) - *Submerging Coasts. The effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*. Wiley, Chichester, 282 pp.
- Boenzi F., Caldara M. e Pennetta L. (1992) - *Osservazioni stratigrafiche e Geomorfologiche nel tratto meridionale della Piana costiera del Tavoliere di Puglia*. Geogr. Fis. Din. Quat., 14(1): 23-31.
- Boenzi F., Caldara M. e Pennetta L. (1995) - *Il Metaponto e il Tavoliere: due piane dell'Italia meridionale nell'ambiente e nella storia*. Mem. Soc. Geogr. It., LIII: 337-358.
- Boenzi F., Caldara M. e Pennetta L. (2001) - *L'influenza delle variazioni climatiche e dei processi storico-sociali sull'evoluzione delle forme del rilievo del mezzogiorno*. Atti Convegno "Territorio e società nelle aree meridionali", Bari-Matera 24/27 Ottobre 1996, Cacucci Ed., Bari.
- Bruun P. (1962) - *Sea-level rise as a cause of shore erosion*. Am. Soc. Civ.Eng. Proc., J. Waterways Harbors Division, 88: 117-130.
- Caldara M. (1996) - *Aspetti di Geologia ambientale e di morfologia costiera in alcuni tratti del litorale nord-barese*. In: Atti Convegno "Cave e coste nel territorio del nord-barese", Geologi, Suppl. 2: 39-61.
- Caldara M., Centenaro E., Mastronuzzi G., Sansò P. e Sergio A. (1998) - *Features and present evolution of Apulian Coast (Southern Italy)*. Journal of Coastal Research, SI, 26: 55-64.

- Caputo C., D'Alessandro L., La Monica G.B., Landini B. e Lupia Palmieri E. (1991) - *Present erosion and dynamics of Italian beaches*. Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 81: 31-39.
- Colantoni P., Noto P. e Taviani M. (1975) - *Prime datazioni assolute di una fauna fossile a P. septemradiatum dragata nel Basso Adriatico*. Giorn. Geol., 40 (2): 133-140.
- Cotecchia V., Dai Pra G. e Magri G. (1977) - *Morfogenesi litorale olocenica tra Capo Spulico e Taranto nella prospettiva della protezione costiera*. Geol. Appl. e Idrogeol., 6.
- Dini M., Mastronuzzi G. e Sansò P. (2000) - *The Effects of Relative Sea Level Changes on the Coastal Morphology of Southern Apulia (Italy) during the Holocene*. In: Slaymaker O. (ed.), *Geomorphology, Human Activity and Global Environmental Change*. John Wiley & Sons, LTD, Chichester, U.K., pp. 43-65.
- Dini M., Mastronuzzi G. e Sansò P. (2001) - *Le dune costiere oloceniche della Puglia meridionale: dati morfologici, radiometrici ed archeologici*. Atti Convegno "Territorio e società nelle aree meridionali", Bari-Matera 24/27 Ottobre 1996, Cacucci Ed., Bari, pp. 161-169.
- Douglas B.C. (2001) - *An Introduction to Sea Level*. In: Douglas B.C., Kearney M.S., Leatherman S.P. (eds) *Sea Level Rise. History and consequences*. Academic Press, USA, pp. 1-11.
- Fabbi A. e Gallignani P. (1972) - *Ricerche geomorfologiche e sedimentologiche nell'Adriatico Meridionale*. Giorn. Geol., 38 (2): 453-498.
- Falocco S. e Lubello C. (eds) (2001) - *Manuale per la lotta all'effetto serra e alla desertificazione*. SUDGEST, Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica - Ministero dell'Ambiente, 148 pp.
- Gentile G.M. e Monterisi L. (1994) - *Un esempio di dinamica costiera: l'arretramento della falesia a sud della città di Brindisi*. Abstr. 77° Congr. Soc. Geol.It., Bari 28/09/1994.
- Hesse R., Von Rad U. e Fabricius F.H. (1971) - *Holocene sedimentation in the strait of Otranto between the Adriatic and Ionian seas (Mediterranean)*. Marine Geol., 10: 293-355.
- Hydrographer of the Navy (1957) - *Mediterranean Pilot, vol. 3*. Hydrographic Dept., British Admiralty, London, 672 pp.
- Leatherman S.P., Zhang K. E Douglas B.C. (2000) - *Sea level rise drives coastal erosion*. EOS Trans. AGU 81: 55-57.
- Leatherman S.P. (2001) - *Social and Economic Costs of Sea Level Rise*. In: Douglas B.C., Kearney M.S., Leatherman S.P. (eds), *Sea Level Rise. History and consequences*. Academic Press, USA, pp. 181-220.
- Maracchione M.I., Mastronuzzi G., Sansò P., Sergio A. e Walsh N. (2001) - *Approccio semiquantitativo alla dinamica delle coste rocciose fra Monopoli e Mola di Bari (Puglia Adriatica)*. Studi Costieri, 4: 3-17.
- Mastronuzzi G., Palmentola G. e Ricchetti G. (1989) - *Aspetti della evoluzione olocenica della costa pugliese*. Mem. Soc. Geol. It., 42: 287-300.
- Mastronuzzi G., Palmentola G. e Sansò P. (1992) - *Morphological types of rocky coast on southeastern Apulia*. Proceedings International Coastal Congress, Kiel (Germany), 7-12 September 1992, pp. 784-797.
- Mastronuzzi G., Pye K., Sansò P. e Sergio A. (1997) - *The impact of dam construction and coast protection works on beach sediment budgets and erosion/accretion trends: examples from Apulia, Southern Italy, and Eastern and Southern England*. Environmental Sedimentology IAS-SEPM, Meeting on Environmental Sedimentology, Venice, Italy, 27-29 October.
- Mastronuzzi G. e Sansò P. (1993) - *Caratteri ed evoluzione attuale del litorale fra le foci del Fiume Fortore e del Fiume Ofanto (Puglia)*. Bonifica, VII (3): 83-90.
- Mastronuzzi G. e Sansò P. (1998) - *Morfologia e genesi delle Isole Chéradi e del Mar Grande (Taranto, Puglia, Italia)*. Geogr. Fis. Din. Quat., 21: 131-138.
- Mazzini E. e Simeoni U. (1997). *Instability in coastal areas: littorals, foredunes and beaches*. In: Marinós P.G., Koukis G.C., Tsiambaos G.C., Stournaras G.C. (eds), *Engineering Geology and the Environment*. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 261-266.
- Ministero dell'Ambiente (1992) - *Relazione sullo stato dell'ambiente*. Ist. Pol. Zecca dello Stato, Roma.
- Nicholls R.J. e Leatherman S.P. (1994) - *Global sea-level rise*. In: Strzepek K. E Smith J.B. (eds), *As Climate Changes: Potential Impacts and Implications*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

- Nicholls R.J. e Leatherman S.P. (1995) - *The implication of accelerated sea level rise for developing countries: A discussion*. Journal Coastal Research, S I, 14: 303-323.
- Nicholls R.J., Leatherman S.P., Dennis K.C. e Volonte C.R. (1995) - *Impacts and responses to sea level rise: qualitative and quantitative assessments*. Journal Coastal Research, S I, 14: 26-43.
- Pennetta L. (1988) - *Ricerche sull'evoluzione recente del delta dell'Ofanto*. Boll. Mus.St. Nat. Lunigiana, 6-7, 41-45.
- Pennetta M. (1985) - *La sedimentazione attuale. Analisi granulometriche* C.N.R. Progetto finalizzato Oceanografia e Fondi Marini. Sottoprogetto "Utilizzazione e gestione della piattaforma continentale: rapporto tecnico finale". Roma.
- Pignatelli C. (2002) - *Pericolosità e rischio ambientale nella baia di Torre San Leonardo e Torre Canne (Brindisi)*. Tesi di Laurea in Scienze Ambientali, Facoltà di Scienze MM., FF. e NN, Università degli Studi di Bari, 156 pp.
- Pigorini B. (1968) - *Sources and dispersion of recent sediments of the Adriatic sea*. Marine Geol., 6: 187-229.
- Pirazzoli P.A. (1996) - *Sea-level changes: the last 20000 years*. John Wiley, Chichester, 210 pp.
- Pirazzoli P.A. (1998) - *La relativité des niveaux de la mer*. Mappemonde, 52: 7-10.
- Pirazzoli P.A. e Tomasin A. (1999) - *L'evoluzione recente delle cause meteorologiche dell'acqua alta*. Atti Istituto Veneto di Scienze, Lettere, ed Arti, CLVII: 317-344.
- Schinaia S. (2001) - *Caratterizzazione morfodinamica della baia fra Torre San Leonardo e Torre Canne (Brindisi)*. Tesi di Laurea in Scienze Geologiche, Facoltà di Scienze MM., FF. e NN, Università degli Studi di Bari, 134 pp.
- Sergio A. (1999) - *Dinamica costiera: linee-guida allo studio del modellamento marino e analisi qualitative dei fenomeni di instabilità*. Tesi di Dottorato in Geomorfologia e Dinamica Ambientale, Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università degli Studi di Bari, 290 pp.
- Simeoni U. (1992) - *I litorali tra Manfredonia e Barletta (Basso Adriatico): dissesti, sedimenti, problematiche ambientali*. Boll. Soc. Geol. It., 111: 367-398.
- Simeoni U. e Bondesan M. (1997) - *The role and responsibility of man in the evolution of the Italian Adriatic coast*. Bull. Inst. Oceanogr. Monaco, 18: 11-132.
- Simeoni U., Calderoni G., Tessari U. e Mazzini E. (1999) - *A new application of system theory to fore-dunes intervention strategies*. Journal of Coastal Research, 15, 2: 457-470.
- Taviani M. (1978) - *Associazioni a molluschi pleistoceniche - attuali dragate nell'Adriatico meridionale*. Boll. Zool., 45: 297-306.
- Van Straaten L.M.J.U. (1985) - *Molluscs and sedimentation in the Adriatic Sea during late-Pleistocene and Holocene times*. Giorn. Geol., 3, 47 (1-2): 181-202.

Manoscritto ricevuto il 17/7/2001, accettato il 18/11/2001.