

L'arretramento della costa ionica della Basilicata: complessità, studi, azioni

ATTI DEL CONVEGNO
a cura di Giuseppe Spilotro



PROGRAMMA

Introduce:

Prof. V. Copertino, Università della Basilicata

Saluti:

Prof. M. Fiorentino, Preside Facoltà Ingegneria, Università della Basilicata

Dr. C. Nigro, Presidente della Provincia di Matera

Dr. G. Gisotti, Presidente della SIGEA

Dr. R. Viglioglia, Presidente Metapontum Agrobios

Interventi:

F. Mollica, Ass.re Infrastrutture, Regione Basilicata

G. Rondinone, Ass.re Ambiente, Territorio e Politiche della Sostenibilità,
Regione Basilicata

– *Prof. G. Spilotro*

Evoluzione della costa ionica della Basilicata e gestione della complessità

– *Prof. A. Petrillo*

La modellistica fisica e numerica nella difesa dei litorali

– *Dr. A. Palma - Dr. T. Trabace*

Problematiche bio-ambientali nella movimentazione dei sedimenti costieri

– *Prof. F. L. Chiocci*

Ricerca a mare di sedimenti relitti ai fini di azioni di ripascimento

– *Prof. B. Molino*

Interrimento degli invasi e utilizzo dei sedimenti per la tutela dell'ambiente costiero

– *Dr. Ing. D. Grieco, Dr. M. Tramutoli, Dr. N. Vignola*

Illustrazione dei progetti in corso di realizzazione

– *Prof. V. Telesca*

Lo stato dell'ambiente marino e costiero del litorale Ionico Lucano

– *Prof. R. Tomasicchio*

Difesa della costa: il problema e gli interventi

– *Ing. F. Ferraiolo, Ing. M. Zanella, Dr. D. Paltrinieri*

Protezioni costiere a basso impatto ambientale

– *Dr. S. Longhitano*

Compatibilità di sedimenti prelevati in aree continentali ai fini di azioni di ripascimento costiero

Conclusioni

Prof. V. Copertino, Università della Basilicata

Tavola Rotonda

Modera:

Dr. A. Tondo, Gazzetta del Mezzogiorno

intervengono:

Dr. Ing. M. Vita, Segretario AdB della Basilicata

Prof. A. Castorani, Segretario AdB della Puglia

Dott. A. Freschi, Direttore Generale Dip. Ambiente e Commissario Straordinario, ARPAB

Dr. Ing. A. Vietro, Direttore Generale, Ass. Infrastrutture, Regione Basilicata

Dr. Ing. S. Campanale, Ministero delle Infrastrutture, Direttore SIIT Puglia e Basilicata

Dr. Ing. F. A. Renna, Sindaco di Bernalda

Chiusura dei lavori:

Dr. Vito De Filippo, Presidente Giunta Regione Basilicata



Società Italiana
di Geologia Ambientale



Regione Basilicata



Metapontum Agrobios

26 maggio 2006

Sala A - Metapontum Agrobios
S.S. 106 Ionica - Km. 448+200
Matera

Supplemento al numero 2/2008 di *Geologia dell'Ambiente*
periodico della SIGEA - Società Italiana di Geologia Ambientale

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229 del 31 maggio 1994
Direttore responsabile: Giuseppe Gisotti
© 2005 SIGEA

Progetto grafico, redazione e impaginazione
La Sintesi, Roma
<http://www.lasintesi.eu>

Stampa
Rotostampa group

Finito di stampare nel mese di Maggio 2008

c'è seic...

www.seic.it

geotecnica

sistemi e tecnologie per
l'edilizia, la geotecnica e
l'ingegneria ambientale



HARPO spa
divisione **seic geotecnica**
via torino, 34
34123 trieste • italia
tel. +39 040 318 6611
fax +39 040 318 6666
seic@seic.it • www.seic.it



il futuro? l'isola che non c'è

Difendiamo le nostre coste

**Ricreiamo un paesaggio costiero
e la sua vivibilità**

Rilanciamo il turismo balneare

www.arenariasabbie.com

Sede legale: Via Degli Agresti, n.6 40123 Bologna - Tel. 051.2917711

Sede operativa: Piazza Stamira, n.5 60122 Ancona - Tel. 071.2071687



arenaria
gestione sabbie marine

9 Introduzione e saluti

15 Le attività per la difesa della costa: il ruolo del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

Leonardo Di Maggio

19 Evoluzione della costa ionica della Basilicata e gestione della complessità

Giuseppe Spilotro, Vincenzo Pizzo, Gianfranco Leandro

41 La modellistica fisica e numerica nella difesa dei litorali

Antonio Felice Petrillo

65 Problematiche bio-ambientali nella movimentazione dei sedimenti costieri

Palma Achille, Trabace Teresa

71 Il problema dell'erosione dei litorali e le strategie per contrastarla, con considerazioni sull'assetto delle coste ioniche della Basilicata

Francesco L. Chiocci, G.B. La Monica

77 L'interrimento degli invasi ed eventuale utilizzo dei sedimenti per il ripascimento costiero

B. Molino

87 Monitoraggio della qualità delle acque marino-costiere della costa jonico-lucana

V.A. Copertino, V. Telesca, E. Trulli

97 Sulle origini della erosione delle spiagge e le possibili contromisure

Giuseppe R. Tomasicchio

109 Reperimento e compatibilità di sedimenti prelevati in aree continentali ai fini di azioni di ripascimento costiero: l'esempio dell'entroterra ionico della Basilicata

Sergio Longhitano

129 Ripascimenti e protezioni costiere a basso impatto ambientale

Francesco Ferraiolo, Diego Paltrinieri, Matteo Zanella

139 La protezione delle dune costiere mediante impiego di vegetazione subaerea e sottomarina

Salvatore Puglisi

Leica Geosystems Sistemi di monitoraggio



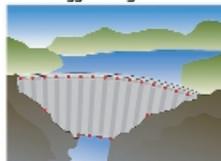
Monitoraggio di ponti



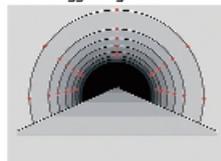
Monitoraggio di smottamenti



Monitoraggio di dighe



Monitoraggio di gallerie



Sei interessato ai movimenti?

Affidati alle nostre Soluzioni integrate con:

- sensori GPS a singola e doppia frequenza in postazioni fisse
- stazioni totali robotizzate
- sensori inclinometrici

il tutto gestito da remoto con software di altissima affidabilità.

Leica Geosystems, il partner che ti garantisce tecnologia ed esperienza.



Leica Geosystems S.p.A.

Via Codognino, 12
26854 Cornegliano Laudense (LO)
Tel. 0371 6973.1 Fax 0371.697333
surveying@leica-geosystems.it

www.leica-geosystems.it

- when it has to be right

Leica
Geosystems

Introduzione e saluti

Prof. Rocco Viglioglia

Presidente Metapontum Agrobios

Con viva soddisfazione Metapontum Agrobios ha ospitato questo convegno sul tema quanto mai scottante e vicino agli interessi della Regione Basilicata, organizzato insieme alla Facoltà di Ingegneria dell'Università della Basilicata, all'Assessorato alle Infrastrutture della Regione ed alla Società Italiana di Geologia Ambientale.

La Metapontum Agrobios opera da anni nel settore dei controlli ambientali a supporto e in affiancamento della Regione Basilicata. In particolare, le attività in campo ambientale coprono competenze nell'organizzazione di reti di monitoraggio per il controllo di suolo, sottosuolo, vegetali e acque superficiali e di falda, attraverso il Dipartimento di Chimica che compendia una vasta rappresentanza di competenze nei diversi campi della Chimica di base ed applicata.

Di fondamentale importanza è l'esperienza consolidata nel campo della chimica e della biologia applicata al mare con il monitoraggio delle acque marino costiere condotte da Agrobios a partire dal 2000 e che sono state successivamente implementate con le attività di controllo dell'erosione costiera e con la caratterizzazione e il monitoraggio della costa ionica lucana su cui è stato sperimentato l'intervento di stabilizzazione mediante tecnica di dewatering e ripascimento artificiale.

Relativamente alla chimica dell'ambiente, i temi di attività includono aspetti tecnico-scientifici inerenti la progettazione di interventi finalizzati alla caratterizzazione quali-quantitativa dell'inquinamento delle diverse matrici ambientali e dell'accumulo, bioaccumulo e destino dei diversi inquinanti tipici dell'attività antropica nel suolo, nelle acque e nei vegetali.

Particolare attenzione viene focalizzata sullo studio di mobilitazione e immobilizzazione di metalli pesanti nel suolo oltre alla valutazione dell'accumulo e degradazione di sostanze organiche di sintesi. La struttura è dotata di stazioni mobili per la misura della qualità dell'aria in aree che negli studi eseguiti permettono di determinare l'influenza di attività antropiche sia sul comparto ambientale che su quello agricolo.

Il Dipartimento ha la disponibilità alcuni laboratori che afferiscono alle differenti tecniche analitiche e alle aree tematiche (Monitoraggio Ambientale e Sicurezza Alimentare), che sono condotte integrando competenze chimiche, informatiche agronomiche e biotecnologiche.

Dr. Giuseppe Gisotti

Presidente della SIGEA

Fra gli ambienti naturali italiani, quello costiero è uno dei più compromessi, a causa di una antropizzazione spesso dissennata e tutto sommato relativamente recente.

Con riferimento alle coste basse, queste sono soggette a un dissesto particolarmente accentuato a causa di due principali fattori: a) l'intensa, spesso abusiva, urbanizzazione del retrospiaggia, il più delle volte realizzata troppo vicino alla riva ; b) l'arretramento delle spiagge, verificatosi soprattutto nell'ultimo quarantennio e la conseguente costruzione di opere di difesa, spesso rese necessarie dalla citata urbanizzazione.

Per quanto riguarda l'erosione, le sue cause e le sue conseguenze, è opportuno distinguere le spiagge in due grandi gruppi: quelle rifornite dagli apporti solidi fluviali e quelle da essi non alimentate.

Gli arretramenti più intensi sono relativi alle spiagge rifornite da corsi d'acqua, specialmente in corrispondenza delle foci: risulta, da varie ricerche e dall'Atlante delle spiagge del CNR, che nell'80-90% dei casi le spiagge di questo tipo sono in arretramento o lo sono state in tempi recenti ed ora sono in equilibrio solo perché vengono protette da opere di difesa.

L'arretramento è dovuto soprattutto al diminuito apporto solido dei corsi d'acqua, causato da interventi antropici, quali sbarramenti sui fiumi, prelievo di inerti dagli alvei fluviali e risagomazione di questi ultimi, prelievi d'acqua e variazioni del regime idraulico dei fiumi, interventi nei bacini montani, ecc. Localmente ha influito la subsidenza "artificiale", ossia indotta dall'uomo, provocata da emungimento degli acquiferi superiori alla ricarica degli stessi o dallo sfruttamento di giacimenti di idrocarburi.

Anche alcune opere marittime hanno innescato erosioni, come i moli portuali mal collocati rispetto alla deriva litoranea dei sedimenti. Le stesse difese costiere, in particolare quelle "rigide" come le scogliere foranee, hanno spesso provocato squilibri notevoli su intere unità fisiografiche. La loro collocazione, il più delle volte, si è dimostrata errata perché imposta da eventi traumatici che sollecitavano una pronta risposta, senza avere alle spalle un disegno programmatico e coordinato fra i vari Enti competenti e spesso senza le indispensabili conoscenze fisico-ambientali di base.

L'eccessiva ed irrazionale urbanizzazione dei litorali, la costruzione di infrastrutture lineari quali ferrovia e strade a ridosso della spiaggia, a luoghi demolendo le dune litoranee, sono state le principali cause della diffusione delle opere di protezione costiera. L'aver permesso di edificare fino a pochi metri da riva ha reso necessari gli interventi di difesa, quando l'arretramento ha messo in pericolo i manufatti. Sarebbe bastato imporre e far rispettare un'adeguata fascia di rispetto, per assorbire gli effetti dell'erosione e per non dover ricorrere alle costosissime opere di difesa.

Premesso che il ciclo naturale dell'erosione costiera prevede spesso alternanze di arretramenti con protendimenti, va detto che, di per sé, non sempre l'erosione è un problema grave perché essa non distrugge la spiaggia ma la fa soltanto retrocedere. La spiaggia scompare quando non può riformarsi su una linea più arretrata per il fatto che il litorale è stato irrigidito da un'urbanizzazione o da un'infrastruttura irrazionale.

Quali sono i suggerimenti che gli esperti possono dare per arrestare o attenuare il degrado delle spiagge alimentate dai corsi d'acqua, oltre che invocare una corretta urbanizzazione e la chiusura delle cave in alveo?

Questi suggerimenti riguardano sia gli interventi sui bacini idrografici che quelli sulla costa.

Qualsiasi intervento sui bacini idrografici, quale sbarramento di un corso d'acqua, prelievi d'acqua, canalizzazioni, ecc. dovrà essere preceduto dalla quantificazione degli effetti ambientali ed economici che esso avrà sulle spiagge: solo in questo caso si potrà valutare la convenienza dell'intervento. Sul litorale, particolare attenzione dovrà essere

riservata alle foci fluviali che rappresentano la chiave di volta della dinamica delle unità fisiografiche. Qui si dovranno assolutamente evitare quelle costruzioni (moli, scogliere foranee, ecc.) che possano mettere in crisi le spiagge alimentate dagli apparati di foce. Grande cautela inoltre si dovrà avere nella collocazione dei porti (adesso quasi tutti i Comuni rivieraschi richiedono la realizzazione del porto turistico): nelle coste basse i tratti idonei ad accogliere un porto sono molto meno numerosi dei porti che si vorrebbero costruire. Maggior diffusione dovranno avere quegli interventi di difesa che non hanno un impatto violento sul litorale, come ad esempio i ripascimenti artificiali. In quest'ultimo caso un aspetto importante è il reperimento delle sabbie da versare: aree molto promettenti si sono rivelati alcuni fondali dei nostri mari.

Le spiagge non alimentate dagli apporti solidi dei corsi d'acqua, sono anche esse talvolta interessate da fenomeni erosivi: questi arretramenti degli arenili causano a loro volta pericolosi fenomeni di crollo delle falesie retrostanti, a causa della mancata protezione al piede delle alte pareti. Anche se in valori assoluti gli arretramenti sono molto meno importanti che nei litorali riforniti dagli apporti fluviali, le conseguenze possono essere molto più gravi e mettere in forse addirittura l'esistenza delle spiagge, oltre che minacciare le falesie stesse. Infatti questi litorali, una volta erosi sono perduti per sempre, almeno alla scala temporale umana, poiché le loro fonti di rifornimento, quali bioclasti, erosione di coste e di fondali rocciosi, danno un contributo scarsissimo: d'altra parte la presenza della falesia immediatamente dietro la spiaggia in arretramento non permette a questa di riformarsi su di una linea più interna e pertanto può accadere che scompaia completamente.

Le cause dell'arretramento di questi tipi di spiagge sono soprattutto naturali (variazioni del clima meteomarinico, innalzamento del livello del mare, ecc.) e perciò non eliminabili: in questi litorali possono dare ottimi risultati i ripascimenti artificiali e le barriere sommerse (soffolte).

Le previsioni sul futuro delle nostre coste non possono essere ottimistiche. Anche se alcune cause del degrado potranno essere eliminate (cave in alveo, abusivismo edilizio, ecc.) altre rimarranno, o addirittura si accentueranno: infatti è prevedibile che la crisi idrica (che d'altra parte è un problema mondiale) porterà alla costruzione di nuove dighe (anche se in Italia i luoghi idonei per gli sbarramenti sono ormai scarsissimi), a maggiori prelievi d'acqua dai fiumi; tale crisi idrica potrebbe portare anche a maggiori prelievi dagli acquiferi e quindi ad un aggravamento della subsidenza delle piane costiere con relativo peggioramento dell'equilibrio dei litorali.

Se poi, come i più prevedono, si faranno maggiormente sentire le conseguenze dell'effetto serra, i motivi di pessimismo si fanno ancora più forti. Limitandoci a considerare solo i prossimi 40-50 anni, le valutazioni medie prevedono un innalzamento del livello del mare di alcune decine di centimetri. Lasciando da parte le conseguenze di altro tipo, con tale aumento del livello marino vi sarebbe un arretramento medio della linea di costa di una ventina di metri, cioè la sparizione di superfici consistenti delle spiagge, soprattutto di quelle non alimentate da corsi d'acqua. In termini di superficie, assumendo un innalzamento medio del mare tra i 20 e i 30 cm al 2100, uno studio NASA-GISS quantifica l'area a rischio di allagamento in Italia in circa 4500 chilometri quadrati di aree costiere e pianure.

La difesa ed il "governo" delle spiagge è certamente uno dei campi in cui massimo è il ruolo degli esperti di Scienze della Terra, in collaborazione con altri specialisti, come gli ingegneri idraulici nel caso degli studi e della progettazione degli interventi di difesa, gli archeologi nel caso in cui vanno difesi particolari beni, quelli archeologici che si trovano in aree soggette direttamente o indirettamente all'erosione costiera.

La SIGEA, conscia della rilevanza non solo scientifica e ambientale ma anche sociale ed economica del problema costiero, da parte sua da anni è attiva nella discussione

e divulgazione di tali problematiche: esempi di tali iniziative sono i seguenti Convegni. "Impatto umano sull'ambiente costiero" (con l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del CNR di Cosenza), Scalea, 21,22 e 23 ottobre 1994.

"La villa di Nerone e la costa di Anzio - Problemi di salvaguardia" (con il Comune di Anzio e il Servizio Geologico Nazionale), Anzio, 12 ottobre 1996 (gli Atti del Convegno sono stati pubblicati nella Collana "Miscellanea", vol. VIII, 1999, del Servizio Geologico Nazionale, edita dall'Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato).

"Problemi geoambientali nella costa fra Capo Colonna e Isola di Capo Rizzuto", (con la Provincia di Crotone e la Riserva naturale marina "Capo Rizzuto"), Isola di Capo Rizzuto, 28 aprile 2001. (Gli Atti del Convegno sono stati pubblicati a cura della SIGEA).

La presente pubblicazione, che la Sigea allega al n. 2/2008 di Geologia dell'Ambiente, periodico trimestrale dell'associazione, si inserisce a pieno titolo tra gli strumenti di studio e informativi che approfondiscono ed indagano le complesse problematiche connesse ad un questione tanto allarmante quale quella dell'arretramento della costa jonica della Basilicata.

Ringraziamo le aziende che hanno permesso la pubblicazione degli atti di questo interessante convegno. Essa viene realizzata parzialmente a colori. Ci scusiamo, pertanto, con alcuni degli autori, che ne comprenderanno "intuitivamente" le ragioni, se le immagini e i grafici riportati nei loro contributi sono stati stampati in bianco e nero non rispecchiando l'originale versione a colori.



Dr. Ing. Michele Vita

Segretario dell'Autorità di Bacino della Regione Basilicata

Il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Basilicata è caratterizzato da condizioni fisiche (propensione del territorio a fenomeni di dissesto idrogeologico connesso a frane ed alluvioni), infrastrutturali (sviluppo di un articolato sistema di infrastrutture idriche per l'accumulo ed il vettoriamento delle acque) e socio-economiche che la rendono una realtà territoriale molto complessa e specifica. Al suo interno è compreso l'intero litorale jonico della Basilicata, che si sviluppa per circa 45 km nel settore occidentale del Golfo di Taranto e sottende l'ampia piana costiera di Metaponto, impostata sulle aree di delta e nei settori terminali degli apparati alluvionali dei principali corsi d'acqua lucani con foce nel Mar Jonio. Il litorale presenta spiagge prevalentemente sabbiose delimitate verso l'interno da ampi cordoni dunali e riveste un rilevante interesse ambientale ed al suo interno sono stati individuati aree SIC e ZPS.

La Piana di Metaponto, sede dall'VIII sec. a.C. di insediamenti umani con la fondazione delle città greche di Metapontum, Heraclea, Siris, ha subito nell'ultimo secolo un processo di intensa antropizzazione e rappresenta oggi per la Basilicata un'area di rilevante interesse non solo ambientale e storico-culturale, ma anche economico, in quanto al suo interno si sviluppano fiorenti attività agricole e turistiche, queste ultime connesse alla presenza di aree archeologiche e di località balneari.

A partire dal dopoguerra è stato realizzato un rilevante sistema di invasi e traverse per assicurare l'approvvigionamento idrico per l'uso plurimo di Basilicata e Puglia e consentire lo sviluppo economico dell'area.

Il litorale lucano, dagli anni Sessanta ad oggi, è stato sottoposto a forti processi erosivi che hanno determinato rilevanti fenomeni di arretramento della linea di riva, smantellamento di ampi settori di spiaggia e di parte dei cordoni dunali, che hanno comportato sostanziali alterazioni degli ambienti naturali ed arrecato danni sia in maniera diretta che indiretta alle attività economiche presenti nell'area.

Il litorale, essendo impostato sui sistemi di foce di corsi d'acqua, è particolarmente

sensibile alle variazioni degli equilibri tra apporto solido fluviale e regime del moto ondosso e delle correnti marine che distribuiscono i sedimenti lungo la costa.

Ma sulla dinamica costiera del litorale jonico lucano ha influito e influisce notevolmente anche il regime del moto ondosso e delle correnti sottocosta e al largo, che determina sottrazione di sedimento dalle aree di spiaggia, distribuzione del sedimento eroso e del carico solido riversato a mare dai corsi d'acqua lungo costa, convogliando parte del sedimento al largo verso maggiori profondità attraverso i canyon sottomarini presenti nel Golfo di Taranto

La complessità e l'articolazione dei fattori naturali ed antropici che determinano l'evoluzione della linea di riva del litorale jonico richiedono, ai fini della mitigazione dei fenomeni di erosione dello stesso, la predisposizione ed attuazione di un programma di interventi strutturali e non strutturali coordinati nell'ambito del sistema litorale-bacini idrografici sottesi.

Lo stato delle conoscenze sui processi naturali ed antropici in atto nell'area costiera e nei bacini idrografici ha, però, messo in evidenza lacune conoscitive dei parametri fisici che regolano la fenomenologia in atto.

Appare quindi prioritario l'avvio e messa a regime di un sistema di monitoraggio "integrato" in riferimento al complesso bacino marino-unità fisiografica lucana/bacini idrografici sottesi, essenziale per la costruzione di un quadro conoscitivo completo ed aggiornato dei principali fattori che regolano i processi nei sistemi fisici interessati.

La disponibilità di un "quadro conoscitivo integrato ed aggiornato" del sistema fisico potrà consentire la programmazione e la definizione della tipologia e delle caratteristiche tecniche degli interventi, strumento fondamentale per la comprensione ed il varo di azioni utili per fronteggiare l'arretramento della linea di riva nel litorale lucano.

Gli interventi strutturali per la difesa della costa devono essere comunque accompagnati da un sistema di interventi non strutturali finalizzati alla regolamentazione d'uso delle risorse acque e suolo nei bacini idrografici e nell'area costiera jonica lucana al fine di mitigare le pressioni delle attività antropiche sull'area costiera.

E' altresì necessario dar vita ad un sistema di coordinamento permanente tra le politiche di sviluppo economico-sociale e la pianificazione dell'uso del suolo e delle acque nei bacini idrografici del Bradano, del Basento, del Cavone, dell'Agri e del Sinni messe in atto dai soggetti istituzionali competenti in ambito regionale ed interregionale.

Per la salvaguardia e difesa dell'intero sistema costiero si auspica quindi l'attivazione di "tavoli di coordinamento permanente" tra le Regioni, gli Enti Locali e le Autorità di Bacino territorialmente competenti con il supporto di centri di ricerca ed Università, per la messa in atto di attività di studio delle aree costiere, delle condizioni di rischio e per il monitoraggio delle dinamiche evolutive delle coste.



Prof. Giuseppe Spilotro

Università della Basilicata, Facoltà di Ingegneria

Giovane studente di Ingegneria, nella premessa del mio libro di Fisica Generale di Halliday & Resnick, annotai il pensiero lì riportato di un giovane famoso ingegnere, William Thomson: «lo affermo che quando voi potete misurare ed esprimere in numeri ciò di cui state parlando, voi sapete effettivamente qualcosa; ma quando non vi è possibile esprimere in numeri l'oggetto della vostra indagine, insoddisfacente ne è la vostra conoscenza e scarso il progresso dal punto di vista scientifico».

Alcuni anni dopo, un po' meno giovane, docente nell'Università della Basilicata, conoscendo i già numerosi articoli scientifici sulla problematica dell'erosione della costa ionica della Basilicata e l'entropizzazione dell'informazione giornalistica riportante pareri discordanti sullo stesso argomento, ritenni che fosse giunto il momento di misura-

re. Con una tesista tanto apparentemente esile, quanto perforante le più spesse corazze delle burocrazie "conserva-dati" e con un altro giovane tecnologo sguazzante nei megapixel delle foto aeree, iniziammo l'epoca della misura digitale della costa ionica, poi esportata anche su altri tratti di coste basse in Italia Meridionale. Fu possibile così quantificare un fenomeno articolato e complesso, quanto purtroppo indice di un pesante ed irreversibile sconvolgimento ambientale. Le ultime misure parlano di punte di arretramento lineare di quasi 600 m alla foce del F. Sinni e un tasso di erosione areale netta di circa 7 ha per anno.

Il tempo delle tecnologie galoppanti non è trascorso invano, e numerose sono le altre informazioni acquisite con/e dalla Regione Basilicata, quali i contorni digitali della linea e della superficie di spiaggia (che renderanno più oggettive e non dipendenti dalle foto aeree le prossime stime della dinamica costiera), la natura granulometrica, mineralogica e petrografica dei sedimenti, la batimetria di dettaglio e la natura dei sedimenti fino alla profondità di 500 m, le caratteristiche bio-ambientali del sedimento, il regime idrogeologico acqua dolce-salata in prossimità della spiaggia e come modificato da interventi dinamici.

L'incremento delle conoscenze e l'aumentare delle osservazioni non hanno semplificato il modello di funzionamento della dinamica costiera nell'area di interesse, ma ovviamente solo allargato la lista delle dipendenze fenomenologiche e dei parametri che è necessario misurare.

Ovviamente non ci si può più limitare a definire il problema preoccupante e non è più mistificabile la causa, stimata in un *deficit* sedimentario globale di circa 3 milioni di mc/anno, penosamente ricondotta da qualcuno a cause climatiche; la situazione necessita ormai di ulteriori analisi, ma soprattutto di azioni. La richiesta degli esperti è quella di acquisire altri livelli informativi, necessari per completare il quadro utile alla definizione e proposizione degli interventi, ma di attuare anche diversificati interventi sperimentali per testarne le ricadute ambientali, le problematiche di gestione e la loro durabilità.

L'erosione della costa ionica della Basilicata e le sue cause richiamano, forse più che altrove, lo scenario degli usi conflittuali delle risorse: l'acqua sottratta ai fiumi per l'agricoltura e il potabile, il sedimento per la mitigazione del danno, e sullo sfondo il danno ambientale, che a sua volta confligge con le legittime aspirazioni delle popolazioni rivierasche ad una valorizzazione turistica dei loro territori.

La giornata di studi ha raccolto esperti del mondo accademico, di società che operano nel settore ambientale e di imprese propositrici e realizzatrici di interventi di difesa costiera per raccontare tutto quello che è possibile e necessario fare per un malato altrimenti terminale. Uno degli aspetti più interessanti emersi dalle relazioni presentate è stato la loro perfetta integrabilità culturale, a conferma del carattere intrinsecamente multidisciplinare della problematica e la condivisione trasversale, sempre in termini culturali, delle esperienze ed analisi riportate.

Un particolare ringraziamento va all'Agrobios, al suo Presidente e ai suoi Dirigenti, che hanno ospitato l'evento, alle Società che hanno sponsorizzato e reso possibile il meeting e la pubblicazione degli atti, alla SIGEA, anticipatrice su scala nazionale di una cultura ambientale di analisi e di proposizioni, che ospita gli atti sulla sua rivista. Poi un grazie sentito ad un numero impressionante di persone che hanno lavorato con entusiasmo per la riuscita dell'evento e ai colleghi delle Università di Puglia, Basilicata e Calabria che sono intervenuti. Un ringraziamento infine a tutti gli studenti che hanno seguito con un livello di attenzione elevatissimo tutti gli interventi, e che sono i veri destinatari di un sapere, che essi pongono metodologicamente alla base dei processi decisionali.

Le attività per la difesa della costa: Il ruolo del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

Leonardo Di Maggio

*Geologo - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Direzione Generale per la Difesa del Suolo
Segreteria Tecnica per la Difesa del Suolo*

Il D.L.vo 300/1999 attribuisce al MATT le competenze statali in materia di tutela dell'ambiente e del territorio, comprensive dei settori difesa del suolo e tutela delle acque, e, nell'ambito di questi, delle "aree funzionali" di difesa del mare e dell'ambiente costiero.

Nello specifico, detta competenza si attua attraverso l'individuazione dei fattori strutturali di alterazione e degrado delle aree costiere e delle più efficaci azioni di salvaguardia e valorizzazione dei litorali che inevitabilmente devono prescindere dai limiti amministrativi al fine di garantire omogenee misure di tutela e intervento a livello nazionale.

L'art. 117 della Costituzione assegna alle Regioni, in legislazione concorrente, tra le altre competenze istituzionali, quella specifica concernente il "governo del territorio". Il che vuol dire che «spetta alle Regioni la competenza legislativa, salva la determinazione dei principi fondamentali riservata alla legislazione dello Stato». Ossia, si tratta di "legislazione concorrente": la Regione ha competenza di legiferare in materia nel rispetto dei principi fondamentali riservati alla legislazione statale.

Inoltre, il *Regolamento di organizzazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio*, individua, tra le funzioni della Direzione Generale per la Difesa del Suolo, anche quella di «1) determinazione di criteri, metodi e standard di raccolta, elaborazione e consultazione dei dati, 2) definizione di modalità di coordinamento e di collaborazione tra i soggetti pubblici operanti nel settore, nonché 3) indirizzi volti all'accertamento e allo studio degli elementi dell'ambiente fisico delle condizioni generali di rischio;...». Nello specifico, tra le attività di competenza della Direzione Generale Difesa Suolo, vi è anche quella di definire gli "indirizzi e criteri per la difesa delle coste".

Per le finalità su esposte le attività svolte dalla Direzione Generale Difesa Suolo si possono così riassumere:

- analisi dello stato delle coste, delle iniziative, delle esperienze e delle ricerche di settore;
- definizione dei principi di riferimento per una corretta difesa, tutela e uso della costa a scala nazionale;

- individuazione delle strategie di azioni per pianificare la difesa delle coste al fine di riequilibrare le dinamiche costiere, prevenire i degradi e perseguire un uso sostenibile della costa, integrato anche con i settori delle attività estrattive, delle risorse idriche e dell'assetto idrogeologico.

Lo stato dei litorali italiani e i presupposti per la difesa della costa

Si è registrato in 40 anni (1960-2000) una variazione della linea di costa, corrispondente sommariamente a:

- un arretramento delle spiagge pari a -70 kmq di superficie, su un tratto complessivo di 1600 km lineari di costa bassa;
- un avanzamento delle spiagge pari a

+55 kmq di superficie, su un tratto complessivo di 1450 km lineari di costa bassa;

- una occupazione verso mare da parte delle opere portuali pari a +28 kmq di superficie, che rappresentano una delle principali cause dello sbilancio sedimentario lungo costa tra arretramento e avanzamento della linea di riva.

Un'altra causa principale dell'erosione costiera è dovuta alla diminuzione degli apporti sedimentari da parte dei corsi d'acqua, sia per la realizzazione di invasi artificiali che trattengono i sedimenti, sia per la eccessiva protezione all'erosione dei suoli da parte di opere di difesa del suolo e rimboschimenti, che per l'eccessiva asportazione di sedimenti da alveo e l'eccessiva invasione di vegetazione spontanea lungo i tratti terminali dei torrenti.

L'erosione costiera conduce alla maggiore esposizione a rischio di beni realizzati in prossimità di tratti costieri soggetti a erosione.

In Italia i tratti di litorale con centri urbani, strade e ferrovie a potenziale rischio di erosione sono distribuiti su oltre 500 km di costa già in erosione.

Tra i presupposti fondamentali che possano garantire corrette azioni di difesa della costa vi è quello di focalizzare le attività di pianificazione, propedeutiche ad ogni azione, alla scala di "unità fisiografica costiera principale" (tratto costiero principale in cui il trasporto lungo costa dei sedimenti costieri e fluviali afferenti, dovuto al moto ondoso e alle correnti litoranee, risulta confinato).

Dallo studio e analisi delle coste italiane della penisola e della Sicilia e Sardegna, che hanno riguardato la batimetria, la morfologia costiera emersa e sommersa, i limiti naturali delle unità fisiografiche, ecc., sono state individuate:

- n.8 unità fisiografiche costiere principali "interregionali", e
- n.49 unità fisiografiche costiere principali "regionali".

Su ogni unità fisiografica costiera principale le Regioni ridi-



geranno i *Piani per la Difesa della Costa*, collaborando tra loro nel caso di piani relativi a unità fisiografiche interregionali, sulla base di indirizzi e criteri generali nazionali.

L'analisi

Le esigenze di sviluppo economico hanno spesso posto in secondo ordine la capacità di assorbimento del territorio e soprattutto le caratteristiche di integralità dell'ambiente, fornendo soluzione con azioni localizzate, disordinate e disorganiche e trascurando gli effetti interrelati nello spazio e nel tempo sul territorio.

Gli interventi sui bacini idrografici e lungo le coste hanno determinato, in molti casi, notevoli squilibri. Sono oltre 900 gli invasi artificiali che intrappolano i sedimenti nei bacini montani impedendo il ripascimento naturale delle spiagge; sono, invece, oltre 170 i principali porti che alterano l'equilibrio morfodinamico costiero, e per oltre 2000 km i tratti costieri interessati da opere di difesa, molte delle quali non sempre risultano efficaci.

Come si può notare, il grado di artificializzazione della costa e il grado di riduzione dell'apporto solido è alto; a questo si aggiunge l'effetto delle escavazioni in alveo, molte delle quali sono ancora attive, e la mancanza di manutenzione dei corsi d'acqua che riducono ulteriormente il trasporto dei sedimenti a valle.

Nello specifico, le analisi sull'ambiente costiero hanno evidenziato:

- un elevato arretramento della linea di costa italiana su lunghi tratti, in molti dei quali vi è un considerevole rischio potenziale per beni esposti;
- i principali fenomeni fisici di squilibrio e le cause i cui effetti si evidenziano in spazi ampi e a lungo termine, tra cui:
- l'apporto solido dai corsi d'acqua;

- l'interferenza delle opere lungo la costa;
- locali fenomeni di subsidenza;
- la diversità di gestione e di intervento per la difesa delle coste, a cui consegue l'accentuarsi di scompensi su lunghi tratti costieri anche di rilievo interregionale, dovuto alla carenza di nozioni per la corretta gestione fisica del territorio costiero;
- i cambiamenti climatici intensificano l'energia dei fenomeni naturali, provocano l'innalzamento del livello del mare e aumentano i pericoli di erosione costiera.

I principi

Perseguire la sostenibilità ambientale dello sviluppo economico per garantire il bene naturale anche alle generazioni future. Per questo occorre:

- pianificare e programmare la difesa della costa a scala di unità fisiografica, al fine di:

I principali tratti di litorale con beni esposti a potenziale rischio di erosione costiera



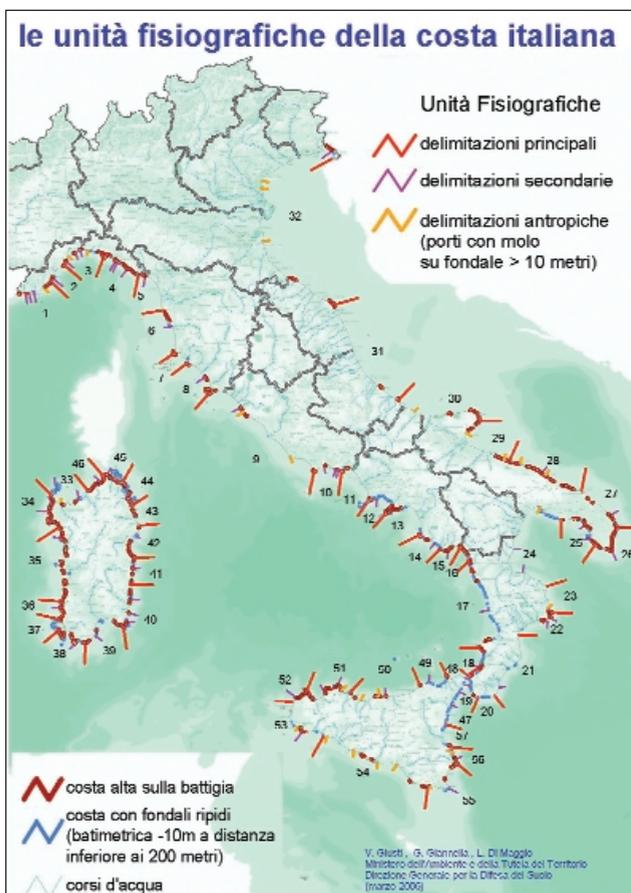
- preservare la naturalità delle coste per consentire la loro funzionalità nel tempo e per salvaguardare le zone riconosciute a pericolo di erosione;
- riequilibrare il bilancio sedimentario all'interno dell'unità fisiografica costiera, tra i sedimenti apportati dai corsi d'acqua, quelli erosi dalle spiagge e quelli trattenuti dalle opere antropiche, che costituiscono, comunque, elementi di interferenza con la dinamica naturale dei sedimenti.
- intendere la difesa della costa come una fase fondamentale della "gestione integrata delle zone costiere", attuabile con azioni strategiche concertate a livello regionale e interregionale e sostenuta da indirizzi, criteri generali e norme di livello nazionale.
- riconoscere l'influenza dei cambiamenti climatici sui fenomeni naturali per mitigarne gli effetti.

Le strategie di azioni

Favorire la collaborazione fra i soggetti nazionali, regionali e locali competenti in materia di coste e aumentare la coesione tra le Regioni con esperienze diverse.

Per questo occorre condividere la suddivisione della costa in "unità fisiografiche costiere principali" nell'ambito delle quali le Regioni, sulla base di indirizzi e criteri generali nazionali, predisporranno i *Piani per la Difesa della Costa*, regionali e interregionali, al fine di individuare organicamente gli squilibri, tutte le azioni di riequilibrio compatibili e le misure di salvaguardia e di tutela che regolino l'uso della costa, tenendo conto della necessità di:

- ripristinare un equilibrato apporto solido dei corsi d'acqua (svasi dei bacini artificiali, revisione di opere di difesa idraulica, tagli pianificati della vegetazione sui torrenti, controllo delle escavazioni in alveo ...);
- riequilibrare la dinamica costiera modificata dalle opere marittime (interventi strutturali o di manutenzione periodica nelle aree di influenza ...);
- favorire la rinaturalizzazione delle coste (ricostruzione delle dune e della vegetazione, delocalizzazioni di strutture rigide impattanti, individuazione di fasce di tutela...);
- salvaguardare le zone riconosciute a pericolo di erosione e stabilire le priorità di intervento per quelle situazioni di rischio per beni esposti non delocalizzabili per meglio ottimizzare le risorse economiche dedicate.



Evoluzione della costa ionica della Basilicata e gestione della complessità

Giuseppe Spilotro, Vincenzo Pizzo, Gianfranco Leandro
Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia Applicata (DISGG)
Università della Basilicata

RIASSUNTO - *La costa è elemento particolarmente mobile e sensibile, in quanto risente di tutti i fenomeni geotettonici, climatici e antropici che agiscono su di essa e nell'ambito dei bacini che la sottendono.*

Con riferimento alle modificazioni della linea di costa, il Mar Mediterraneo, ricco di storia e di popolazioni, offre numerosi esempi di evoluzione mantenutasi abbastanza simile per oltre due millenni su sponde anche relativamente molto lontane, ma che hanno assunto andamento fortemente divergente negli ultimi due secoli. Le condizioni climatiche mediamente prevalenti negli ultimi due millenni hanno garantito infatti condizioni di generale sovralluvionamento delle aree di foce e di quelle costiere ad esse circostanti, come documentato dalla posizione di insediamenti antichi, rispetto alle linee di costa recenti. Tali tendenze si mantengono ancora oggi in aree poco densamente popolate, quali sono le coste sud-occidentali e meridionali della Turchia, per le quali si registrano anche sostanziali inesistenti manomissioni nei bacini interni. Altrove, come ben studiato sulla costa ionica della Basilicata e sulla costa bassa intorno alla foce dell'Ofanto e del Fortore in Puglia, manomissioni antropiche a scala di bacino e della stessa linea di costa evidenziano al presente sensibili condizioni di sconvolgimento degli equilibri. In alcuni casi si tratta di modifiche della distribuzione dei sedimenti, con tratti di costa in erosione e tratti di costa in protendimento. In altri casi, ed è quello della costa ionica lucana, si tratta di un evidente grave sconvolgimento ambientale, caratterizzato da erosione netta (differenza tra superficie di costa persa per erosione e superficie della costa in avanzamento) in progressione esponenziale e in generalizzazione del fenomeno erosivo a quasi l'intera costa.

Più in generale il problema viene analizzato alla luce delle tre macro famiglie di cause tipiche, cioè situazioni geo-eustatiche, variazioni dei bilanci di energia e variazione del bilancio di massa. I primi due aspetti sono poco significativi nel caso della costa ionica lucana ed al presente, mentre si documenta l'articolata azione antropica all'interno dei bacini, che è la principale causa delle modificazioni della costa.

L'analisi delle attività antropiche all'interno dei bacini documenta minuziosamente la totalità delle modificazioni apportate ai bacini stessi e la sensibilità dei diversi tratti di costa.

I processi che incidono negativamente sulla dinamica costiera richiamano specifici interventi: quelli miranti alla modifica delle condizioni energetiche locali, come barre artificiali, pennelli, ecc.; quelli miranti al riequilibrio del bilancio di massa, riportando sulla costa i materiali bloccati negli invasi, o migliorando le capacità di trasporto di sedimento dei

fiumi a valle degli sbarramenti, o, infine, attraverso il riporto sulla costa di materiali simili a quelli trasportati dai fiumi. Il problema dell'arretramento della costa ionica della Basilicata è complesso; ci si può avvicinare a una soluzione solo attraverso molteplici azioni. E' necessario completare il quadro conoscitivo e l'azione combinata di studi previsionali, appoggiati da modelli e interventi sperimentali, tipologicamente differenziati ed associati, per pervenire a valutazioni affidabili in merito all'efficacia, durabilità e costi degli interventi e della loro gestione ed alle interazioni ambientali.

1. Premessa

Il livello mare e la linea di costa sono elementi particolarmente mobili nel breve e lungo termine. Essi risentono di tutti i fenomeni geotettonici, climatici e antropici in processi che si svolgono dalla scala locale e di quella dell'unità fisiografica, fino alla scala dell'intero pianeta.

Con riferimento alle modificazioni della linea di costa, il Mar Mediterraneo, ricco di storia e di popolazioni, offre numerosi esempi su sponde anche relativamente vicine di variazioni nell'evoluzione, che dopo almeno duemila anni di ben delineata tendenza, mostrano negli ultimi due secoli nette variazioni di tendenza.

Le condizioni climatiche mediamente prevalenti negli ultimi due millenni hanno garantito infatti condizioni di generale sovralluvionamento delle aree di foce e di quelle costiere ad esse circostanti, come documentato dalla posizione di insediamenti antichi, rispetto alle linee di costa recenti. Tali tendenze si mantengono ancora oggi in aree poco densamente popolate, quali sono le coste sud-occidentali e meridionali della Turchia, per le quali si registrano anche sostanziali inesistenti manomissioni nei bacini interni.

Altrove, come ben studiato sulla costa ionica della Basilicata (Figura 1) e sulla costa bassa intorno alla foci dell'Ofanto e del F. Fortore sulla costa adriatica meridionale, manomissioni antropiche a scala di bacino e della stessa linea di costa evidenziano al presente sensibili condizioni di sconvolgimento degli equilibri. In alcuni casi si tratta di modifiche della distribuzione

dei sedimenti, con tratti di costa in erosione e tratti di costa in protendimento. In altri casi, ed è quello della costa ionica lucana, si tratta di un pesante sconvolgimento ambientale, caratterizzato da erosione netta (differenza tra superficie di costa persa per erosione e superficie della costa in avanzamento) in progressione esponenziale e in progressiva espansione del fenomeno erosivo all'intera costa. L'analisi delle attività antropiche all'interno dei bacini documenta minuziosamente la totalità delle modificazioni apportate ai bacini stessi.

2. Misura della dinamica costiera

2.1 Metodologie di studio

La conoscenza dell'andamento nel tempo della linea di costa e la misura delle sue variazioni costituiscono il passo propedeutico alla valutazione dello stato di salute della costa e di previsione delle tendenze. La messa a punto di un metodo di misura affidabile è quindi obiettivo primario per l'individuazione degli ambiti più sensibili e la ricerca sulla fascia costiera o nel bacino interno gli elementi determinanti la stabilità o instabilità della costa.

L'argomento è molto complesso, tenuto conto che sia la terra che il mare sono soggetti a movimenti legati a meccanismi indipendenti e quindi il loro movimento relativo è la somma algebrica di due funzioni molto complesse. La stessa oscillazione giornaliera di marea può costituire un problema nella determinazione e misura della linea di costa.

Il confronto tra cartografie riferite a date diverse costituiva fino a qualche tempo fa il metodo principale di analisi delle variazioni della linea di costa su tratti di rilevante estensione, con problemi di disomogeneità delle fonti (ad esempio, carte ufficiali dello stato, carte catastali, aerofotogrammetrie, ecc.) e quindi con rilevanti imprecisioni. A partire grosso modo dal 1940 sono disponibili come strumento

di analisi le foto aeree, che pongono, in relazione alla scala (altezza di ripresa) alle tre tipologie di problemi, in primo luogo di deformazioni e distorsioni ottiche delle immagini, giunzione dei fotogrammi.

Oggi le foto aeree multitemporali, con il processamento digitale e la georeferenziazione delle immagini costituiscono uno strumento di uso relativamente agevole che fornisce precisioni accettabili per lo studio dell'evoluzione delle coste basse (Spilotro e Monaco, 2003), (Figura 2).

Un'ulteriore tecnica di misura decisamente affidabile è stata introdotta con l'uso dei ricevitori GPS, che permettono una metodologia di ricostruzione della linea di costa di rilevante precisione, consentendo anche la correzione in base al livello di marea (Figura.3).

Su scale locali sono possibili anche scansioni laser, particolarmente utili nella ricostruzione volumetrica della spiaggia emersa.

Le variazioni morfologiche della linea di costa nel tratto oggetto del presente studio sono state valutate sulla base del confronto di foto aeree. Le coperture fotografiche, fornite dall'Istituto Geografico Militare, sono relative agli anni 1955, 1987, 1997, 2003. La maggior parte di tali fotogrammi in formato digitale sono stati georeferenziati, ritagliati opportunamente e poi assemblati. Il mosaico ottenuto è stato sottoposto ad una operazione di bilanciamento del colore.



Figura 1 - Ubicazione dell'area di studio.

Ottenuta la ricostruzione digitale della linea di costa per gli anni di riferimento, la stessa è stata suddivisa in tratti di 200 metri, in corrispondenza dei quali sono stati valutati i quantitativi di arenile in avanza-

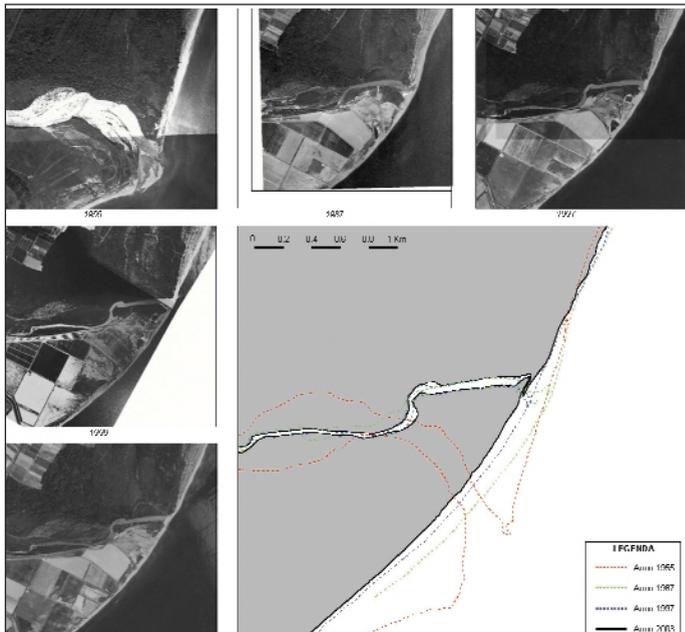


Figura 2 - Evoluzione delle foci ricostruita attraverso il processamento digitale di immagini fotografiche telerilevate e multitemporali (anni 1955, 1987, 1997 e 2003); foce del F. Senni.



Figura 3 - Evoluzione della linea di costa mediante misure periodiche di precisione con GPS con compensazione della marea.

mento o arretramento. In realtà tali valutazioni sono state condotte confrontando le aree di poligoni che insistevano su ciascun tratto di costa nei diversi anni. Questo metodo consente di superare i proble-

mi di inefficiente georeferenziazione nelle zone prive di riferimenti utili allo scopo, come avviene per superfici boscate o su spiagge libere.

2.2. Risultati delle misure

Una prima indicazione interessante sulla dinamica del litorale negli ultimi 50 anni, la si deduce dal confronto tra il numero delle celle in erosione e quelle in avanzamento: come si evince dalla figura 4, si è avuto nel tempo un progressivo aumen-

to delle prime a scapito delle seconde. Infatti, se nel periodo che va dal 1955 al 1987 si ha un sostanziale equilibrio (75 a 85), nel decennio successivo le celle in erosione diventano ben 102 per poi passare a 109 nel periodo 1997-2003, su di un totale di 160 celle.

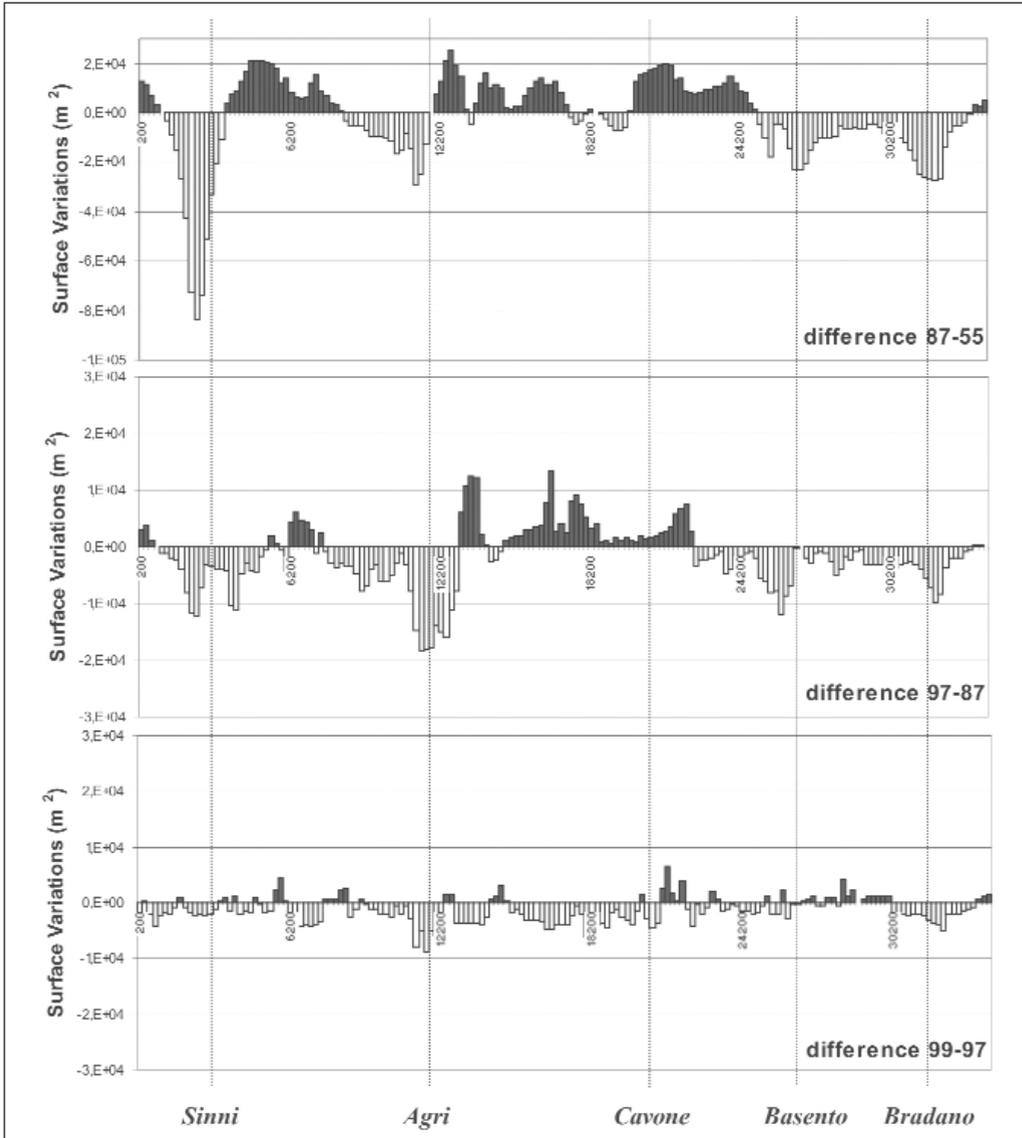


Figura 4 - Diagramma delle variazioni della linea di costa negli intervalli temporali 1955-1987, 1987-1997 e 1997-2003 attraverso il processamento di immagini telerilevate multitemporali. Ogni cella ha larghezza di 200 m . Con segno negativo le erosioni, con quello positivo gli accrescimenti.

	Erosione Δ^- (m ²)	Avanzamento Δ^+ (m ²)	Differenza (m ²)	N. di anni	Velocità di erosione (ha/anno)
Periodo 1955-1987	-1.111.065	+854.904	-256.161	32	0.80
Periodo 1987-1997	-651.876	+204.013	-450.863	10	4.50
Periodo 1997-2003	-540.512	+130.082	-410.429	6	6.84
Periodo 1955-2003	-2.303.453	+1.186.000	-1.117.453	48	2.33

Tabella 1 - Variazioni di superficie sull'intero tratto della costa ionica della Basilicata negli intervalli di tempo analizzati.

Nel caso del primo intervallo di studio (1955-1987), si evidenzia inoltre come al sostanziale equilibrio su indicato in termini di numero di celle, non corrisponde un bilancio nullo o pressochè nullo in termini di superficie erosa/avanzata, a testimonianza del fatto che gli apporti delle celle in avanzamento sono decisamente più piccoli rispetto ai contributi delle sezioni in erosione: questo si traduce in circa 25 ettari di arenile sottratti all'intero litorale in esame in 32 anni (Tabella 1).

Nel decennio successivo, a partire dal 1987, si ha una preoccupante velocizzazione del processo di ingressione marina ai danni della spiaggia emersa, quando circa

il doppio del quantitativo eroso nel periodo precedente (ca 45 ha) scompare in un terzo del tempo; tale tendenza aumenta nel periodo successivo (1997-2003) quando scompaiono circa 7 ettari all'anno.

Si può quindi dire, basandosi sui risultati riportati nella figura 6 e nella tabella 1, che nell'intero periodo oggetto di studio (1955-2003) sono stati sottratti complessivamente circa 110 ha di arenile al litorale compreso tra il Fiume Bradano ed il Fiume Sinni.

L'analisi condotta ha permesso inoltre di calcolare le variazioni lineari, ovvero i metri di spiaggia soggetti ad erosione o ad accrescimento.

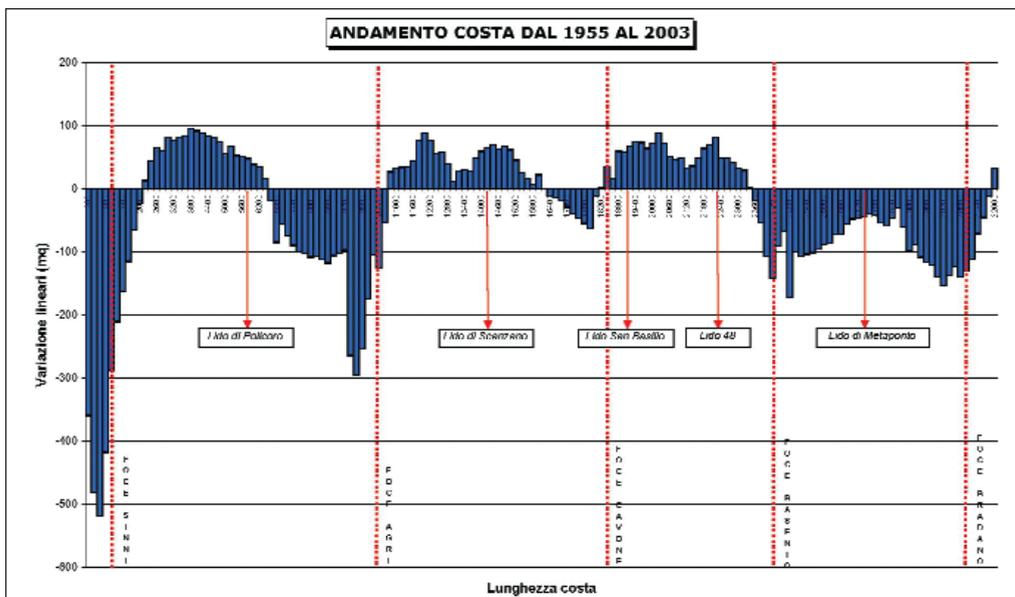


Figura 5 - Diagramma delle variazioni complessive della linea di costa tra il 1955 e il 2003 attraverso il processamento di immagini telerilevate multitemporali. Ogni cella ha larghezza di 200 m. Con segno negativo le erosioni, positivo gli accrescimenti.

Variazioni superficiali (m ²)		1955-1987	1987-1997	1997-2003	1955-2003
Foce Bradano		-144.571	-131.556	-36.707	-312.834
Foce Basento		-201.966	-61.042	-3.953	-281.544
Foce Cavone		+167.262	+18.815	-74.386	+111.691
Foce Agri		-100.231	-79.881	-109.270	-289.382
Foce Sinni		-110.033	-252.864	-97.680	-460.577

Variazioni lineari (m)		1955-1987		1987-1997		1997-2003		1955-2003	
		max	medio	max	medio	max	medio	max	medio
Foce Bradano		-122	-45	-76	-79	-28	-11	-122	-33
Foce Basento		-130	-44	-71	-15	-20	-1	-130	-19
Foce Cavone		-30	+32	-16	+4	-68	-14	-68	+7
Foce Agri		-159	-19	-95	-13	-98	-21	-159	-19
Foce Sinni		-350	-43	-124	-41	-61	-31	-350	-51

Tabella 2 - Variazioni di superficie e lineari nei tratti di litorale intorno alle foci negli intervalli di tempo analizzati.

La figura 5 evidenzia un elemento importante: in corrispondenza di ogni apparato di foce si ha sempre arretramento a destra e avanzamento a sinistra, a conferma del fatto che la risultante del moto ondoso ha direzione SO-NE.

L'analisi della dinamica della costa per tratti compresi tra le singole foci è ripor-

tato nella figura 7 a e b. Valutando nel dettaglio la situazione, si nota come il tratto di litorale in cui è compresa la foce del Fiume Sinni sia interessato da una forte erosione che nel periodo 1955-1987 sottrae circa 110.000 mq di spiaggia; tale tendenza si aggrava nel decennio successivo, tant'è che un quantitativo doppio di arenile scompa-

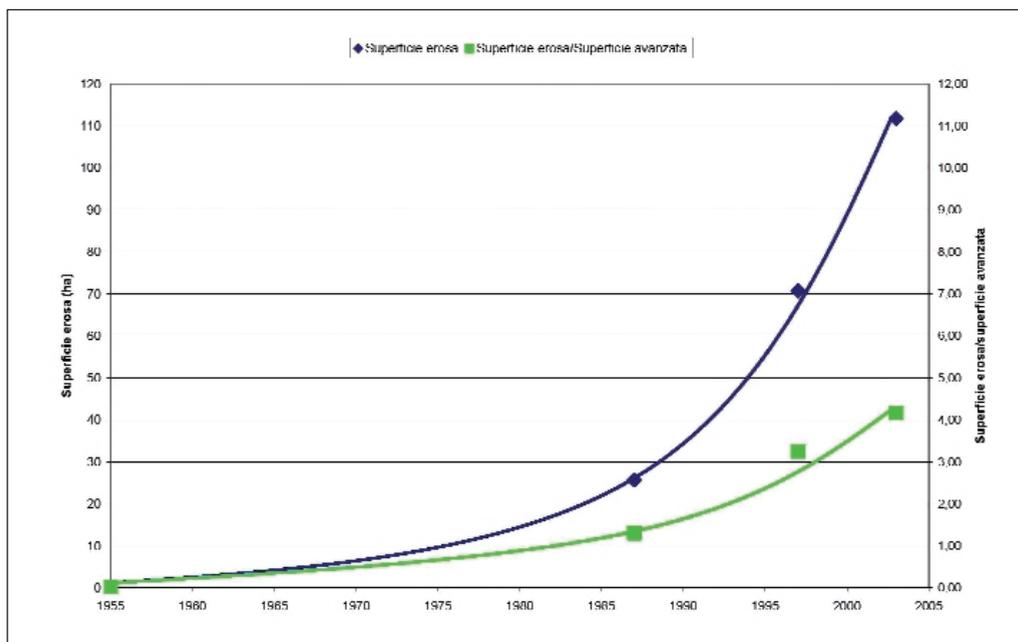


Figura 6 - Diagramma della tendenza nel tempo del valore dell'erosione netta e del rapporto tra le aree in erosione e quelle in protendimento per l'intero tratto lucano della costa ionica.

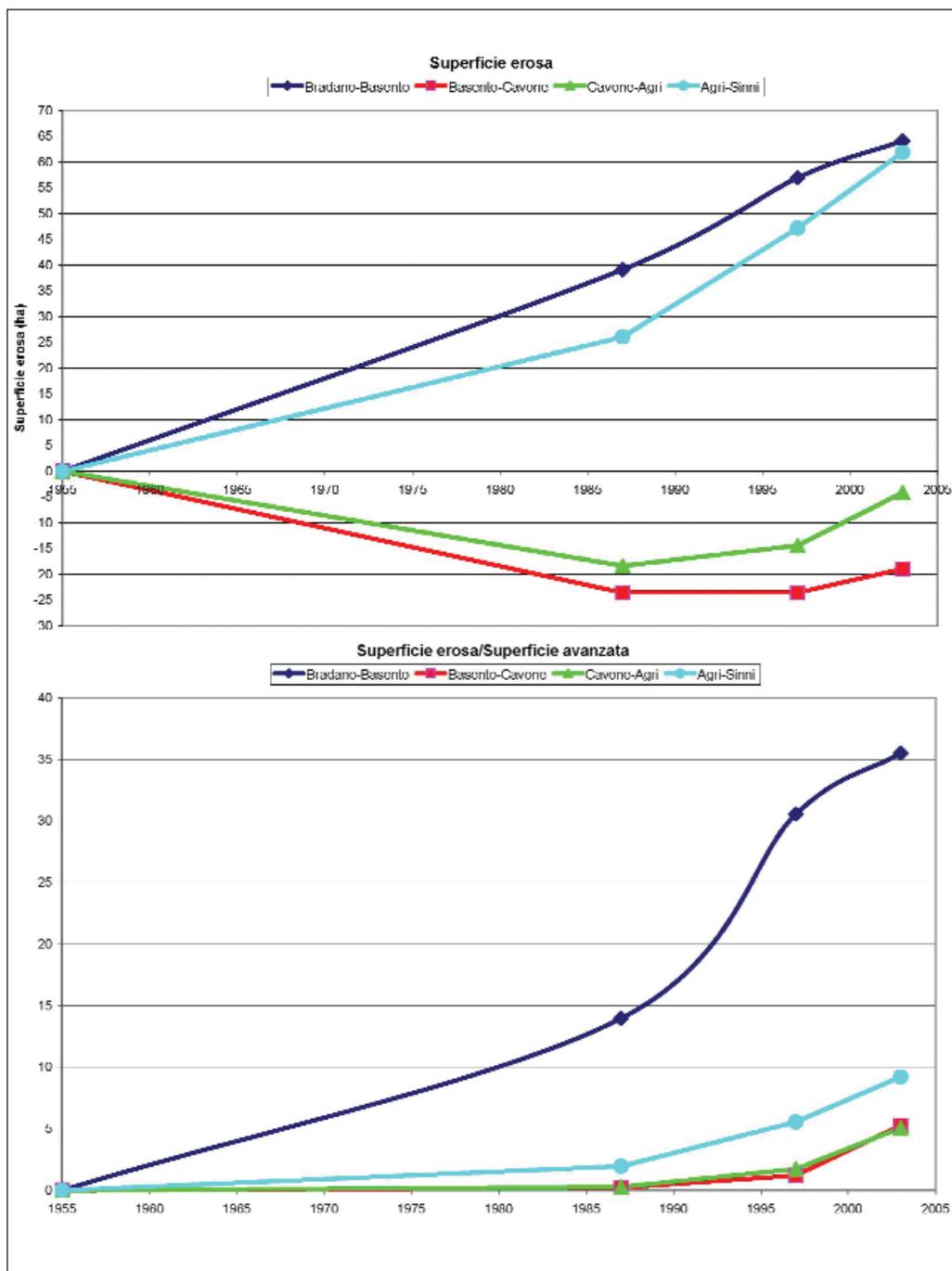


Figura 7 - (a) Diagramma della tendenza nel tempo del valore dell'erosione netta (differenza tra le aree in erosione e quelle in protendimento) nei tratti della costa ionica lucana compresi tra le principali foci fluviali. (b) Diagramma della tendenza nel tempo del rapporto tra le aree in erosione e quelle in protendimento nei tratti della costa ionica lucana compresi tra le principali foci fluviali.

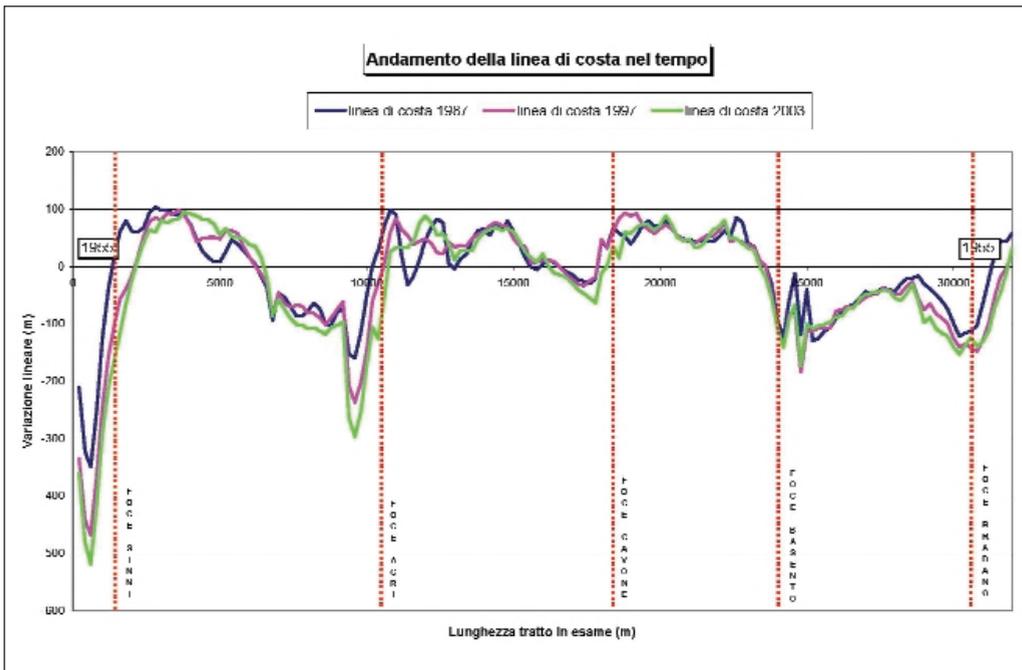


Figura 8 - Profili della linea di costa del 1987, del 1997 e del 2003 riferiti alla linea di costa del 1955.

re in un terzo del tempo; nell'ultimo periodo sembra rimanere costante. Presso la foce del Sinni si registra inoltre il massimo arretramento, essendo la spiaggia emersa indietreggiata di oltre 500 m in quasi cinquanta anni.

Anche nel tratto di litorale dove si riversa l'Agri si riscontra una netta tendenza all'arretramento: nel primo periodo l'erosione sottrae complessivamente 100.000 mq su di un tratto esteso 5 km a cavallo della foce; successivamente, nel decennio 1987-1997 la situazione sembra progressivamente migliorare con "soli" 80.000 mq scomparsi; negli ultimi sei anni però (1997-2003) scompaiono ben 110.000 mq.

Procedendo verso la foce del Fiume Cavone, si registra una inversione di tendenza rispetto all'andamento registrato per le altre foci fino ad ora esaminate. La foce si sposta verso NE di soli 400 metri: nel primo intervallo di tempo considerato si riscontra un notevole avanzamento (circa 170.000 mq), che si traduce in un avanzamento medio di 30 m; nel decennio 1987-1997 la zo-

na in protendimento si riduce a soli 20.000 mq con un avanzamento medio di 4 m ed infine nell'ultimo si riscontra nuovamente una forte erosione (circa 75.000 mq) con un arretramento medio di 14 m.

La foce del Fiume Basento è caratterizzata da un andamento del tutto particolare: in prossimità della stessa, dopo un notevole arretramento che ha caratterizzato il periodo 1955-1987, dove sono andati perduti, per un tratto di litorale di 5 km, ben 200.000 mq di arenile, il periodo 1987-1997 ha visto attenuare questa tendenza, nonostante i 60.000 mq scomparsi di spiaggia emersa per la stessa estensione longitudinale. Il periodo 1997-2003, in linea con l'andamento dell'ultimo decennio, vede la scomparsa di soli 4.000 mq.

Per la foce del F. Bradano, infine, si registra per tutti e tre gli intervalli di tempo analizzati una propensione all'arretramento: l'intera linea di costa nei 3 km circa intorno alla sua foce, si è ritirata mediamente di 45 m nel primo periodo, di 41 nel secondo, e di 11 m negli ultimi sei anni.

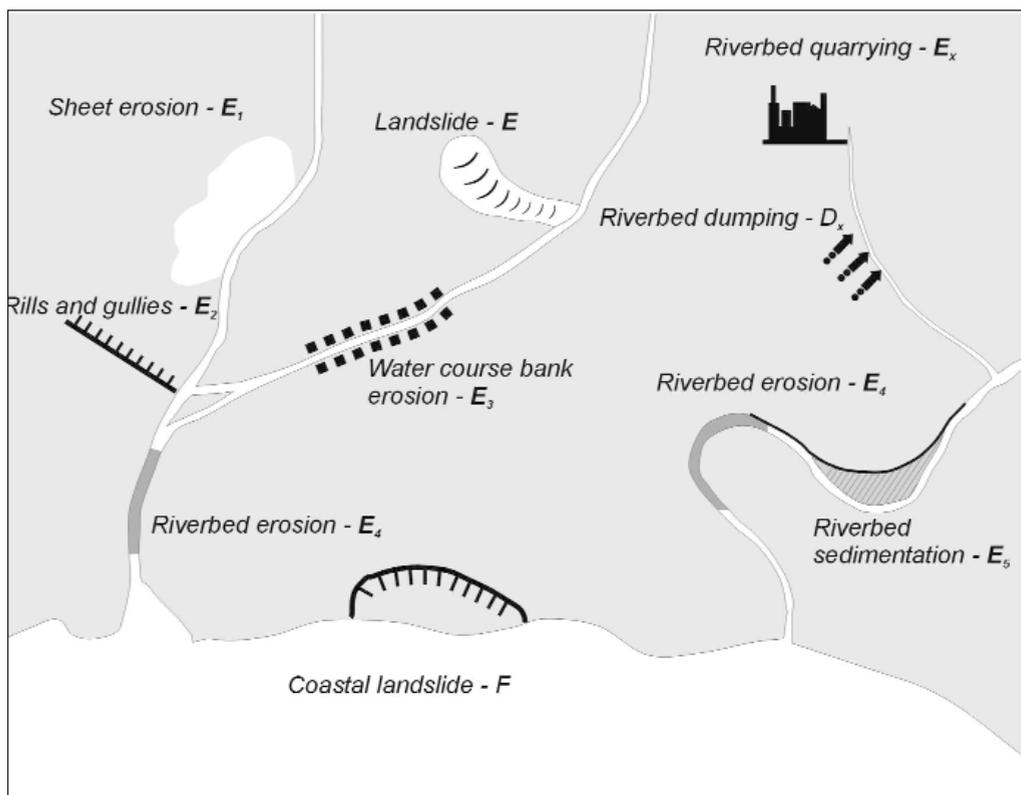


Figura 9 - Elementi del bilancio di massa di sedimento disponibile per la dinamica costiera.

Di seguito sono riportate le variazioni superficiali e lineari intorno alle singole foci (Tabella 2).

In figura 6 sono rappresentati i grafici delle variazioni nel tempo e delle tendenze evolutive della superficie erosa e del rapporto tra superficie erosa e superficie in accrescimento relativi all'intero tratto di costa ionica lucana tra il Fiume Sinni e il Fiume Bradano nel periodo 1955-2003.

L'andamento dell'erosione è di tipo esponenziale; ciò è dovuto a numerosi fattori: in particolare al raggiungimento di condizioni stazionarie nel bilancio di massa alla foce, con l'ingresso come voce fissa a compensazione del *deficit* di sedimento apportato dai fiumi del sedimento prelevato lungo la costa, sopra e sotto il lm e, fra questi, dal progressivo esaurimento dei quantitativi di immagazzinamento offerto dalle dune, che vengono smantellate. In figura 8 è riportato infine l'andamento della

linea di costa nel tempo, riferita alla linea di costa del 1955.

3. Fattori della dinamica costiera

Il protendimento o l'erosione in un tratto di costa, se il livello relativo mare-terra è costante, sono generalmente correlati a due bilanci:

- bilancio di massa: disponibilità di sedimenti prodotti nel bacino e resa sulla costa dal trasporto solido dei fiumi, da frane costiere (Figura 9), o dall'immagazzinamento nella parte sommersa o in quella emersa della spiaggia (tomboli, barre, dune, ecc.).
- bilancio di energia: energia del mare in prossimità della linea di riva, nella componente ortogonale e parallela alla costa, in condizioni meteo prevalenti e in

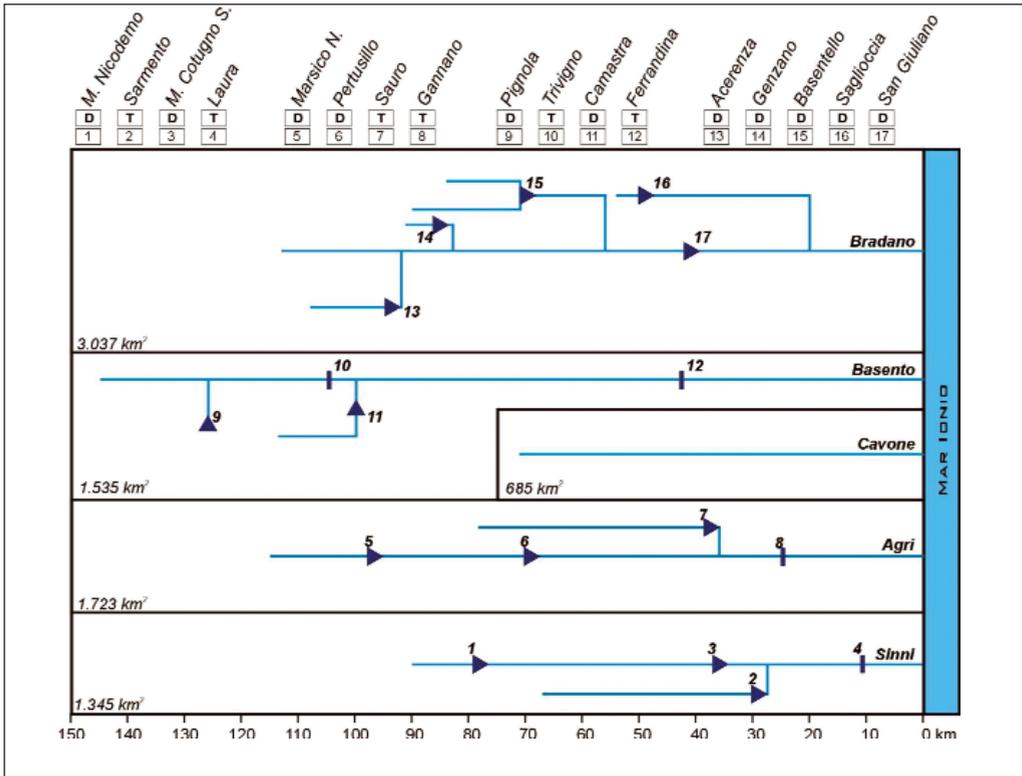


Figura 10 - Schema dei bacini ionici della regione Basilicata con indicazioni delle principali opere di sbarramento (dighe e traverse). Lunghezze ed aree sono in scala.

quelle eccezionali (= eventi estremi, burrasche) utilizzata nel trasporto o nella rimozione dei sedimenti attraverso processi conservativi o dissipativi; energia del vento.

Il fenomeno è estremamente complesso, di interazione tra i sedimenti disponibili in funzione delle loro caratteristiche (assortimento, volume, forma, scabrezza, peso specifico, ecc.), le caratteristiche geometriche della spiaggia (pendenza, larghezza della fascia emersa, barre, truogoli e dune) in relazione alle condizioni energetiche prevalenti o estreme da valutare su cicli per lo meno annuali. Su base stagionale, sono ben noti l'arretramento invernale della spiaggia e la sua ricostituzione primaverile.

Peraltro è altrettanto evidente come il sedimento nel suo movimento lungo la spiaggia con percorso combinato degli spo-

stamenti lungo e normale alla costa a forma di dente di sega modifichi dimensioni e forma. Conseguentemente la spiaggia contenuta tra foci fluviali ha caratteristiche diverse a destra ed a sinistra della foce.

I bilanci possono essere modificati da eventi naturali o antropici. Tra gli eventi naturali, il più difficile da decifrare è la variazione climatica. Per il clima meteomarino solo in limitati punti esistono raccolte degli eventi sufficientemente lunghi. Peraltro, l'analisi non sfugge a soggettivismi, quali, in primo luogo, quello relativo al periodo di osservazione da adottare.

Le azioni antropiche, a loro volta, devono essere distinte in due classi: opere realizzate nei bacini interni; opere realizzate sulla costa. Le prime operano preferenzialmente sul bilancio di massa; le seconde provocano variazioni in quello dell'energia. Conseguentemente, gli effetti di

opere realizzate sulla costa o trasversalmente ad essa (che non siano opere di consolidamento della riva) provocano redistribuzione locale dei sedimenti, ma non alterazioni sostanziali del bilancio di massa.

Le modificazioni antropiche all'interno dei bacini con effetti sensibili sulla costa sono riconducibili a tipologie anche molto diverse: variazioni agricoli o dell'uso del suolo, opere di sistemazione idraulico forestali, dighe o traverse, strade costiere e di fondovalle, estrazione di inerti dagli alvei attivi.

3.1. Opere di sbarramento

La Basilicata è stata interessata da un complesso di grandi opere intorno alle quali è imperniata la trasformazione dell'economia agricola ed industriale, non solo della fascia costiera ionica, ma anche di regioni vicine. Lo schema idrico ionico prevede, infatti, all'alimentazione idrica di un vasto territorio, comprendente l'arco ionico della Basilicata e della Puglia ed il Salento. Tale schema si incentra, per quanto riguarda i bacini afferenti sul mar Ionio, su 11 dighe

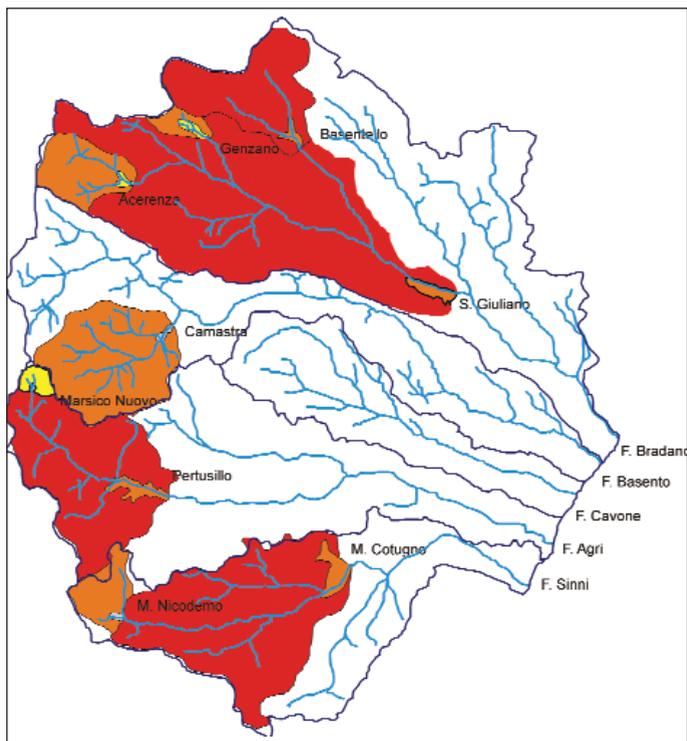


Figura 11 - Bacini sottesi ai maggiori invasi artificiali sui fiumi della Basilicata ionica.

e 7 traverse (Figura 10).

Nel seguito si dà un cenno alle opere di sbarramento più importanti.

Sul corso del Fiume Sinni è stato realizzato, a partire dal 1972, l'imponente invaso di Monte Cotugno che rappresenta il punto nodale di tutto il sistema idrico. La diga costruita in terra, con capacità utile di circa

Dams	River	Period	Annual Sedimen	Average tation	Basin taken	Annual average Erosion value
			[m ³]	[t] (*)	[Km ²]	[mm]
S. Giuliano	Bradano	1957/63	2,35*10 ⁶	3,29*10 ⁶	1.631	1,44
S. Giuliano	Bradano	1955/77	0,79*10 ⁶	1,11*10 ⁶	1.631	0,48
S. Giuliano	Bradano	1957/2000	0,58*10 ⁶	0,81*10 ⁶	1.631	0,36
S. Giuliano	Bradano	1977/2000	0,40*10 ⁶	0,56*10 ⁶	1.631	0,25
S. Giuliano (**)	Bradano	1977/2000	0,40*10 ⁶	0,56*10 ⁶	1.181	0,34
Camastra	Basento	1993	0,30*10 ⁶	0,42*10 ⁶	350	0,85
Camastra	Basento	1965/94	0,43*10 ⁶	0,60*10 ⁶	350	1,23
Camastra	Basento	1965/99	0,46*10 ⁶	0,64*10 ⁶	350	1,30

Tabella 3 - Valori di interrimento in alcuni invasi nell'area di interesse e valori medi di erosione annua nei bacini sottesi. (*) Trasformazione volume/massa sulla base di un peso specifico di 1.4 t/m³. (**) Misura relativa ad un bacino ristretto per la costruzione nel bacino a monte di 3 piccoli invasi.

450 milioni di mc, riceve apporti anche dal bacino del F. Agri mediante il convogliamento di acque captate da una traversa sul T. Sauro e riceverà acque dal T. Sarmento, quando completate le opere di adduzione.

Le dighe di Masseria Nicodemo e di Monte Cotugno trattengono il materiale solido rifornito dal bacino a monte e quindi modificano in qualche misura l'assetto raggiunto dall'alveo a valle. Analoghi effetti hanno le traverse di San Giorgio sul Sarmento e di Santa Laura sul Sinni.

Nel medio corso del Fiume Agri, l'Ente Irrigazione ha costruito tra il 1957 ed il 1962, la diga del Pertusillo. La diga, con un'altezza di 95 m, invasa circa 155 milioni di mc di acqua, per destinarli ad uso irriguo, idroelettrico e potabile.

Il corso del Fiume Cavone non è interessato da alcun tipo di sbarramento.

Il Fiume Basento è sbarrato in un affluente in destra dalla diga del Camastra,

la cui costruzione, iniziata nel 1962, terminò nel 1970. Alta 56 metri e con una capacità di circa 24 milioni di mc, la diga ha un invaso riservato alla laminazione delle piene di circa 5 milioni di mc e all'approvvigionamento potabile di Potenza. Sul F. Bradano, la diga di San Giuliano, costruita intorno agli anni Cinquanta, con un'altezza massima di 79 metri ed una lunghezza al coronamento di 314 metri, la diga di San Giuliano possiede una capacità totale di 107 milioni di mc. Il territorio irriguo servito ha un'estensione di circa 14.100 ha, comprendendo la valle del Bradano ed i terrazzi prospicienti il litorale ionico tra il Basento ed il confine con la provincia di Taranto.

3.2. Interrimento degli invasi artificiali

Il 42% dei bacini imbriferi considerati è sotteso da invasi artificiali, pari a 3.315 Km² (Figura 11). I dati relativi ai volumi di inter-

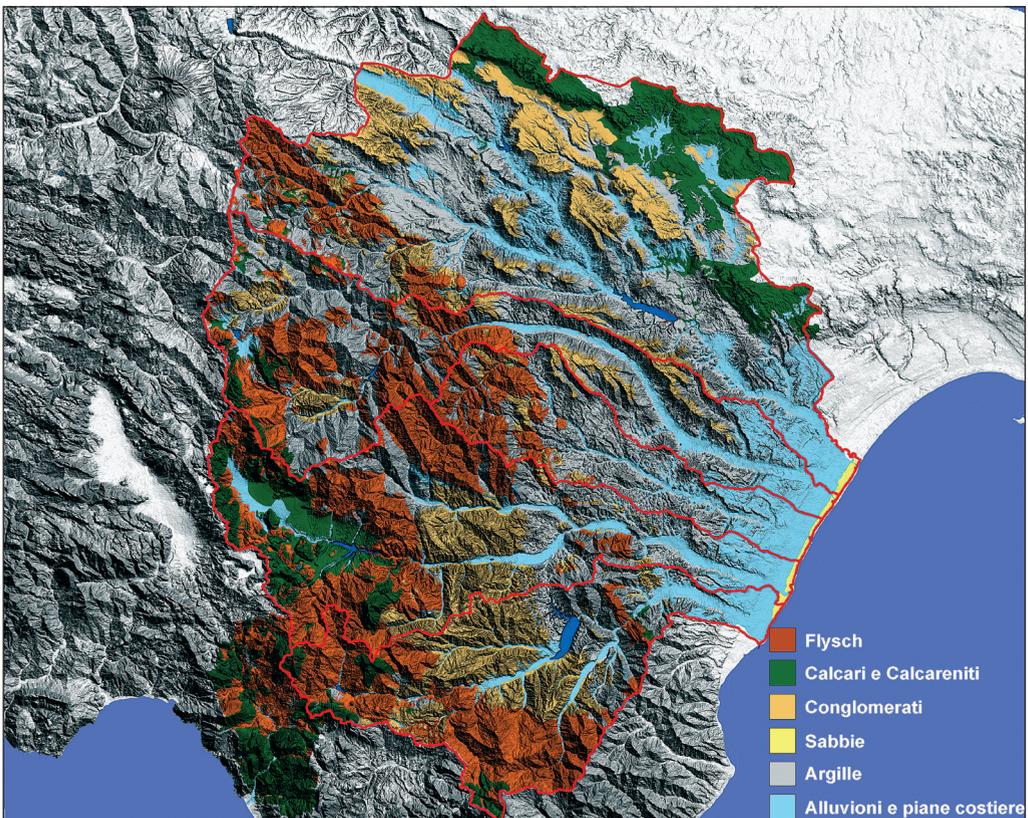


Figura 12 - Carta geolitologica drappeggiata su DTM dei bacini ionici della Basilicata.

rimento dei bacini, da cui è possibile risalire ai valori medi di erosione annua nel bacino sotteso, sono relativi al lago di San Giuliano, al lago della Camastra, (Molino, 2002) e, fuori dello spartiacque ionico, ma in terreni abbastanza simili, all'invaso del Rendina (Tabella 3).

I dati esposti conducono ad un valore medio di erosione annua di 0.98 mm, pesata tra i bacini appenninici (Camastra, con 1.23 mm/y) e i bacini sub appenninici (lago di San Giuliano, 0.48 mm/y). Secondo il valore medio di erosione calcolato, il volume totale annuo di sedimenti intercettato dalle dighe sui tributari insistenti sulla costa ionica lucana è di 3.25 milioni di mc.

Di particolare gravità è la circostanza che anche il materiale alluvionale proveniente dai corsi d'acqua laterali, immettentesi nel corso d'acqua principale a valle delle dighe, quindi teoricamente disponibili per il ripa-

scimento della costa, in realtà non vi giunge poiché la funzione di laminazione delle piene, esplicata dalle dighe, riduce considerevolmente le portate complessive a valle e quindi la capacità di trasporto.

3.3. Estrazioni di inerti dalle aree alluvionali

Il volume globale di inerti estratti nelle fasce alluvionali deriva essenzialmente dagli studi di Cocco et Al., 1978 e Spilotro et Al., 1998.

Nel periodo 1965-1977 il volume estratto dagli alvei dei principali fiumi afferenti al litorale alto-ionico si aggira intorno ai 35 milioni di mc, così suddivisi: oltre 12,5 milioni per la costruzione delle strade a scorrimento veloce di fondovalle, oltre 16,5 milioni per la costruzione delle dighe di sbarramento, oltre 5 milioni estratti dai concessionari minori ed infine 400.000 mc uti-

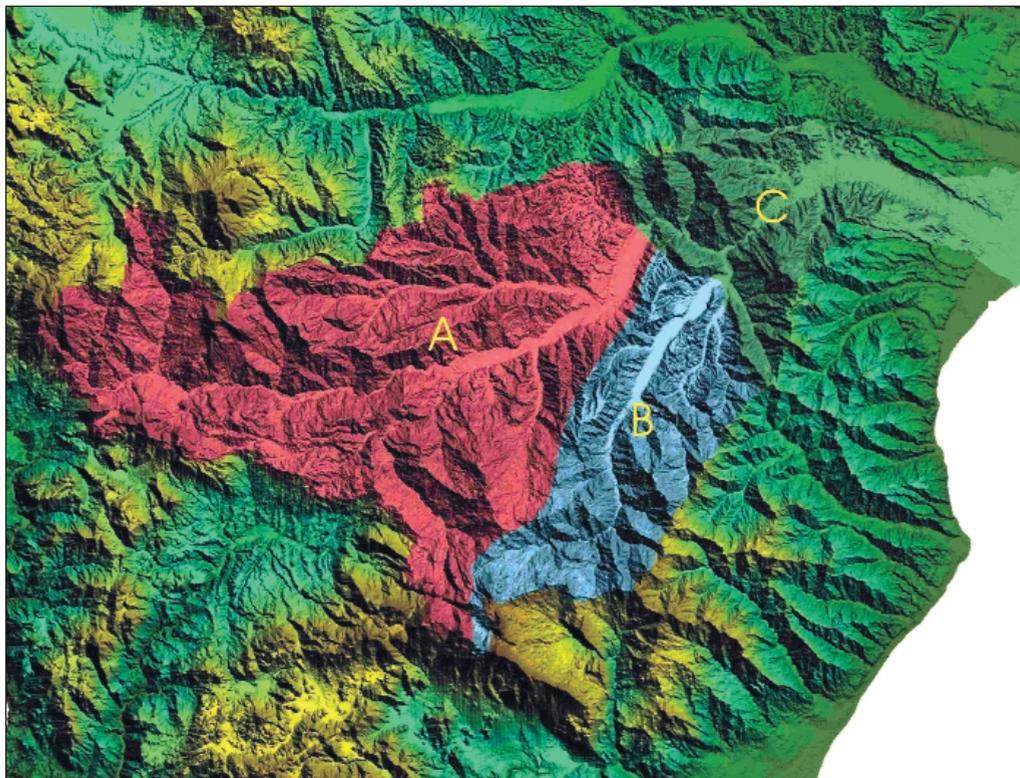


Figura 13 - Le opere di sbarramento e di captazione segmentano il bacino del f. Sinni in 3 sottobacini: A, sottobacino chiuso alla diga di M. Cotugno; B, sottobacino a monte della traversa sul t. Sarmento; C, sottobacino a valle delle 2 opere, fino alla costa.

lizzati per l'edilizia pubblica e privata.

Dal bacino del Fiume Sinni sono stati estratti dal 1965 al 1977 circa 15 milioni di mc di inerti (Cocco ed al., 1978) e 700.000 mc circa, dal 1978 al 1992, secondo i dati raccolti presso la Pubblica Amministrazione.

Per quanto riguarda il bacino del Fiume Agri, il quantitativo di materiale lapideo estratto dal 1965 al 1977 è stato di circa 5 milioni di mc, mentre dal 1978 al 1992 sono state autorizzate estrazioni per circa 2,5 milioni di mc circa.

Dal bacino del Fiume Basento sono stati prelevati, nel periodo 1965-1977 circa 8 milioni di mc, mentre nel periodo 1977-1992 sono stati concessi circa 1 milione di mc.

Dal bacino del Fiume Bradano, infine, sono stati estratti oltre 5 milioni di mc dal 1965 al 1977, mentre nel periodo 1978-1992 le volumetrie concesse per l'estrazione sono state pari a circa 900.000 mc.

Vale la pena di ricordare ancora una volta che i dati non sono completi soprattutto per quanto riguarda le concessioni pluriennali, e che i dati esistenti non rispecchiano le estrazioni realmente effettuate. Secondo il parere degli addetti ai lavori, infatti, il quantitativo di materiale lapideo realmente estratto dagli alvei fluviali è notevolmente superiore a quello dichiarato.

E' anche altresì evidente che non tutto il materiale estratto dagli alvei era destinato a raggiungere il mare.

3.4. Sistemazioni idraulico forestali

Gli effetti delle sistemazioni idraulico-agrario-forestali incidono sulla dinamica delle linee di costa nella misura in cui le stesse modificano in maniera sensibile l'erosione e quindi il bilancio di massa dei materiali disponibili per tale dinamica costiera. Questo risultato può essere conseguito se le aree interessate dalle sistemazioni costituiscono frazioni importanti dell'area dell'intero bacino.

Per quanto riguarda gli interventi a carattere intensivo, in relazione alle sistemazioni idrauliche di imbrigliamento degli alvei, questi hanno un effetto di consolidamento delle pendici e quindi di riduzione del-

l'apporto di materiale solido, sia di materiale d'alveo che materiale di dilavamento.

Le sistemazioni a carattere estensivo, come i rimboschimenti, la ricostituzione dei pascoli, ecc. producono invece una riduzione nell'apporto dei materiali di dilavamento e quindi del trasporto torbido.

Sino alla fine degli anni Settanta lungo le valli del Bradano, dell'Agri e del Sinni sono state costruite 3.000 briglie, 650 chilometri di fossi e rimboschiti 4.000 ettari di territorio.

3.5. Il paradosso Basento

Le variazioni misurate della linea di costa evidenziano solo in corrispondenza della foce del Fiume Cavone variazioni non significative. Una istintiva conclusione può essere tratta, ricordando che il bacino del F. Cavone è il solo nel quale non esistono ancora invasi o traverse di alcun tipo.

Ma l'analisi dell'adiacente corso d'acqua, il Basento, induce a conclusioni a dir poco, paradossali.

Il Fiume Basento, si ricorda, ha lunghezza di 115 km, con un bacino idrografico di 1.550 kmq.

Attualmente contiene due sbarramenti, sul corso principale a Pignola, e sull'affluente Camastra, con la superficie sottesa dai due bacini solo del 23% dell'intero bacino; si può affermare, senza tema di incorrere in errori grossolani, che l'influenza di tali sbarramenti sul trasporto solido e sul regime idrologico, è marginale.

Una traversa è stata completata a Trivigno; anche quest'opera sarà scarsamente influente, al punto da essere inefficace sul controllo delle piene a valle. Queste ultime possono stimarsi, con tempo di ritorno di 10-20 anni, dell'ordine di 1000 mc/s, mentre piene di 200 mc/s hanno tempo di ritorno annuale.

In realtà, attualmente, nessuna di queste piene, con relativo contenuto e contributo di trasporto solido, riesce a raggiungere il mare, pur essendo l'alveo privo di ulteriori sbarramenti, ad eccezione di una traversa, poco a monte di Ferrandina Scalo, peraltro interrita ormai da tempo.

Questa situazione, nasce da altri feno-

meni di modificazione antropica.

A valle della zona industriale di Pisticci numerose sono le sezioni d'alveo ristrette al punto da non consentire il passaggio di correnti fluide di portata maggiore di 100 mc/s (Coperlino et al., 1997). Questo significa che tutte le portate di intensità superiore in corrispondenza di tali punti escono dall'alveo, allagando la piana alluvionale, ove, a causa della caduta di velocità, gran parte del sedimento grossolano viene depositato, senza alcuna possibilità di raggiungere il mare.

La causa del restringimento dell'alveo è nella maggior parte dei casi dovuta all'uso intensivo a fini agricoli della piana alluvionale, che viene spinta e ricostituita nelle aree di erosione golenale, dimenticando



Figura 14 - Allegoria sull'uso conflittuale delle risorse idriche.

che esse sono solo temporaneamente abbandonate dal fiume.

Il caso "Basento" è emblematico, oltre che paradossale: anche un fiume sostanzialmente privo di sbarramenti, può risultare incapace di alimentare di sedimenti la costa a causa delle sistemazioni agrarie.

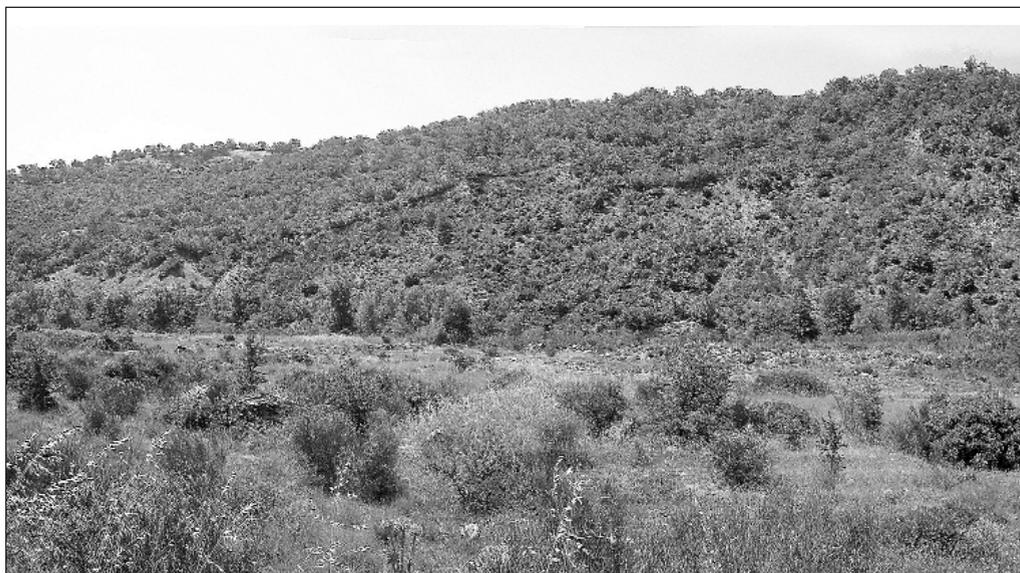


Figura 15 - Alveo del f. Sinni snaturato da vegetazione spontanea in assenza di deflusso idrico, a valle della diga di M. Cotugno.

4. Variazioni del trasporto solido a valle delle dighe

Si è già visto come le modificazioni antropiche sugli elementi fisici del modello possono determinare sensibili variazioni della linea di costa. Se gli interventi sulla linea di costa sono stati fino ad ora generalmente pochi e di modesto impatto, relegati per lo più alle sistemazioni ed agli arredi delle aree urbane, altrettanto non si può dire delle manomissioni dei bacini.

Si è analizzato in particolare come la realizzazione di un'opera di sbarramento possa determinare una variazione del trasporto solido alla foce e di conseguenza alterare negativamente il bilancio di massa. Il calcolo è stato svolto con riferimento al bacino del F. Sinni, non ancora interamente interessato dal doppio sbarramento sul corso principale (chiuso a M. Cotugno) e sul ramo del F. Sarmento (traversa non ancora in esercizio).

Per l'analisi della produzione e del trasporto di sedimento sono stati usati vari metodi ed infine utilizzato il modello di Gavrilovic (1988), applicato al bacino del Fiume Sinni in ambiente GIS. Sono stati creati tre piani tematici, corrispondenti ai parametri uso del suolo, litologia (Figura 12) ed acclività del terreno e si è calcolata, quantità di materiale che può essere perduta dal bacino in un anno per erosione. Infine si è calcolata la quantità di materiale che transita nella sezione di chiusura del bacino.

Sono stati analizzati tre scenari (Figura 13), senza e con le due opere di sbarramento. In particolare sono state effettuate valutazioni percentuali del trasporto solido alla foce nei casi di: i - completa assenza di opere di sbarramento; ii - bacino con il solo sbarramento di Monte Cotugno; iii - scenario in cui sono presenti ed attivi sia la diga di Monte Cotugno, che la traversa sul F. Sarmento.

Secondo il modello utilizzato, l'intero bacino privo di opere di sbarramento porta a mare circa 660.000 m³/y di sedimenti. La sola diga di M. Cotugno riduce il trasporto solido alla foce del 38% (situazione

attuale); a regime con la captazione anche del F. Sarmento il trasporto solido alla foce si riduce al 15 % di quello prodotto dal bacino in assenza di sbarramenti.

5. Uso conflittuale delle risorse

L'uso delle risorse naturali è grammaticalmente conflittuale con l'ambiente nel lungo periodo e spesso anche nel breve. Ma il conflitto esiste anche tra gli stessi utenti, come avviene tra il comparto agricolo, quello industriale e quello potabile nel caso dell'uso dell'acqua (Figura 14). Fino ad oggi sono stati dedicati investimenti ad opere di captazione e di trasporto dell'acqua, ma marginali risultano gli investimenti e gli incentivi per nuove tecniche irrigue, per il riciclo della risorsa nel settore industriale. Il problema deriva in parte da anacronistiche normative europee, ingiustamente penalizzanti i paesi mediterranei a climi semi-aridi, che pongono severe limitazioni all'uso delle acque depurate persino in agricoltura.

I conflitti sorgono inoltre tra utenti primari delle risorse e quelli direttamente colpiti dalle modificazioni ambientali, quali ad esempio, gli operatori ed utilizzatori turistici.

Nel caso in esame, il prelievo dell'acqua dai fiumi per le esigenze potabili, agricole e industriali ha profondamente modificato le caratteristiche ambientali dei fiumi Lucani. I tratti fluviali immediatamente a valle delle dighe sono ormai trasfigurati dalla vegetazione spontanea persino in quelle che erano aree golenali attive (Figure 15 e 16). Sul F. Sinni, in destra foce, il decadimento progressivo di quello che resta di un ponticello (su un canale di bonifica che distava 210 m circa dalla costa!) misura l'inesorabile avanzamento del mare (Figura 17 a e b).

L'instabilità della costa è tuttavia ostacolo all'uso della stessa come risorsa, in particolare turistica, mettendo in forse gli investimenti pubblici e privati e le opportunità di sviluppo economico e sociale di una fascia di territorio e di popolazioni.

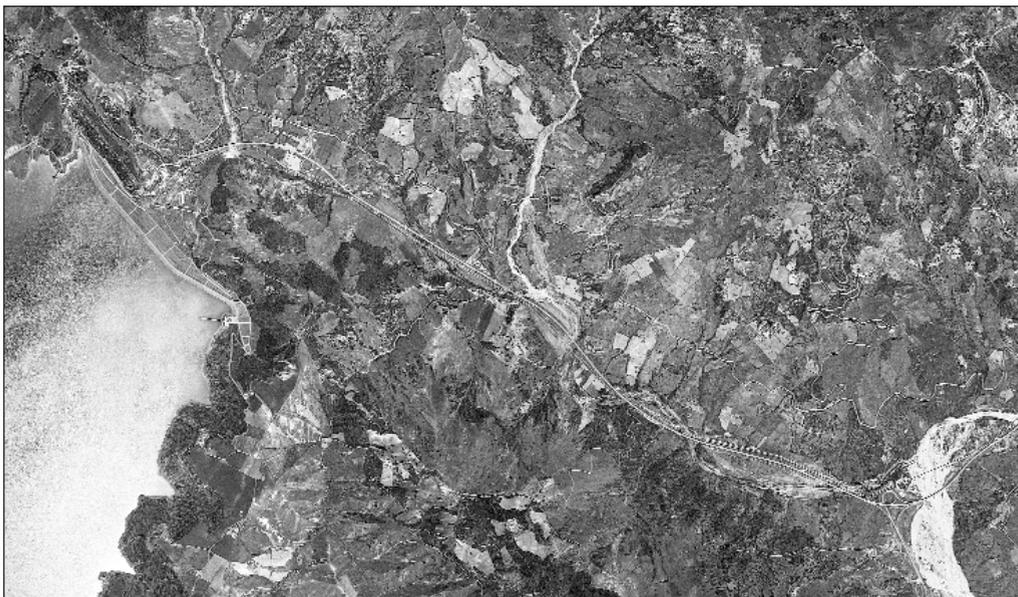


Figura 16 - Foto aerea del F. Sinni nel tratto tra la diga di M. Cotugno e la confluenza con il f. Sarmento. L'alveo si distingue con difficoltà dalle sponde, perchè snaturato da vegetazione spontanea in assenza di deflussi. E' ben riconoscibile il successivo tratto, attivo ancora per poco, in continuità con il F. Sarmento.

La conflittualità di comparto nell'uso delle risorse e di tale uso con l'ambiente naturale necessitano di riconsiderare le politiche di investimenti e di sviluppo, in particolare nel campo agricolo, pensate circa 60 anni fa, riequilibrando le azioni, introducendo in primo luogo il concetto del danno ambientale e conseguentemente azioni di risparmio delle risorse, di mitigazione degli effetti e di compensazioni, attraverso la fase della quantificazione del danno. Il costo dell'acqua (che peraltro viene venduta anche a utenti extra regione) considera una aliquota probabilmente non realistica di danno ambientale, mentre persiste l'assenza di incisive politiche di risparmio e riciclo della risorsa idrica.

6. Azioni

A meno di non riportare il sistema territoriale nella sua configurazione di un secolo fa, è ben evidente che il problema "costa ionica" della Basilicata non può avere soluzioni; può tuttavia riavvicinarsi a condizioni di equilibrio accettabili attraverso

un numero di azioni contemporanee, molte delle quali non possono che avere nella prima applicazione, carattere sperimentale, per determinare i costi reali degli interventi, la loro efficacia e la loro durata, il *feedback* con le condizioni ambientali.

Alcune azioni sono di carattere strettamente politico. Ci si riferisce in particolare ad una politica di gestione delle risorse fortemente caratterizzata dal risparmio, dal riuso e dalla valutazione dei costi aggiornati sulla base di una stima dei danni ambientali generati dall'uso indiscutibilmente prioritario della risorsa acqua.

Il secondo blocco di azioni è sul livello conoscitivo. Rilievi, monitoraggi, studi e modellazioni devono essere indirizzati alla valutazione del funzionamento attuale dei fiumi in termini di trasporto annuo di sedimenti utili, che, per quanto limitato dalle infrastrutture idrauliche di captazione e/o accumulo, è comunque sempre subordinato ai regimi climatici. Le modellazioni sono inoltre essenziali per definire le modalità e gli ambiti ottimali degli interventi di ripascimento e di quelli associati.

Sul piano operativo, partendo dall'analisi delle cause, che assegna ruolo primario al *deficit* di massa, cioè al drastico calo di sedimenti trasportato fino alla foce dai fiumi, è evidente la imprescindibilità come azione primaria dei ripascimenti. Gli studi recenti finanziati dalla Regione Basilicata sembrano evidenziare la non disponibilità del sedimento sui fondali vicini, mentre ampia disponibilità è presente nei depositi marini terrazzati nell'entroterra. I materiali qui immagazzinati sono sostanzialmente gli stessi che arrivavano a mare. Gli intorbidimenti temporanei conseguenti ai ripascimenti sono modesti nello spazio e nel tempo e di gran lunga inferiori a quelli naturali generati dalle piene ordinarie dei fiumi (Figure 18 e 19), se le frazioni fini rimangono dell'ordine di pochi punti percentuali. La completa rispondenza dei sedimenti da usare per i ripascimenti con le specifiche imposte è comunque risolvibile con correzioni granulometriche o lavaggi, con un aggravio dei costi di selezione del materiale. È opportuno ricordare che i sedimenti nella loro vita sulla spiaggia insieme al continuo trasporto subiscono per abrasione una riduzione di dimensione granulometrica; per tal motivo è opportuno riportare materiali di granulometria leggermente superiore a quella della sabbia di spiaggia.

Il *deficit* di massa lungo la costa ha assunto dimensioni tali che le azioni di ripascimento da sole non possono ripristinare gli equilibri, se non per tempi limitati o con costi improponibili. Le tecniche dell'ingegneria costiera devono coadiuvare quelle di integrazione del bilancio sedimentario al fine di aumentare il tempo di vita degli interventi o di rallentare il flusso di trasporto degli stessi, migliorando la persistenza del sedimento. Ci si riferisce

a quelle opere che modificano le energie di trasporto locale sia lungo costa che trasversalmente; quali le barriere soffolte, realizzabili in numerose tecnologie e materiali, che simulano in qualche modo l'effetto delle barre.

Parallelamente alle azioni sulla costa, devono essere studiati i modi di funzionamento e di regolazione degli sbarramenti,



Figura 17 - Rovine di un piccolo ponte costruito su un canale di bonifica ad oltre 100 m dalla costa. a: 2002; b: 2005.



Figura 18 - Trasporto solido in sospensione alla foce di un bacino carsico. Canale deviatore Lama Sinata, 23 ottobre 2005, Bari.



Figura 19 - Costa adriatica a N di Lesina, 1954. Trasporto solido in sospensione da bacini appenninici: foci dei fiumi Fortore, Saccione e Biferno. Il primo e l'ultimo fiume sono oggi sbarrati da grandi dighe.

perchè qualunque meccanismo utile a facilitare l'arrivo del sedimento a mare, oltre che aiutare la manutenzione degli stessi corsi d'acqua, consente un risparmio enorme in termini economici nei costi dei ripascimenti. Ci si riferisce alla movimentazione dei flussi idrici in particolari contesti meteo e al riportare sedimenti intrappolati dalle dighe a mare, tecniche operate con successo altrove (Figura 20).

Nell'inverno tra il 2005 e il 2006 l'invaso di M. Cotugno si è riempito totalmente pur in assenza dei contributi provenienti dal F. Sarmento ed è stato necessario attivare

gli scarichi della diga. Questa condizione è stata molto utile per il trasporto di sedimento a mare, anche se di risultati non facilmente quantificabili; infatti si sono nuovamente unite le portate del ramo principale, F. Sinni, e quelle del F. Sarmento (figura 21). La circostanza ripropone una discussione circa l'opportunità di adottare uno schema di regolazione del sistema Sinni e delle dighe insistenti sull'arco Ionico, tale da consentire aperture a frequenza pluriennale degli scarichi per agevolare il trasporto dei sedimenti alla foce. Per inciso, si ricorda che l'arretramento della costa, che a foce Sinni ha superato i 500 m, porta con sé anche l'arretramento del fronte di ingressione dell'acqua salata, con ulteriori gravissimi danni ambientali sull'ecosistema.

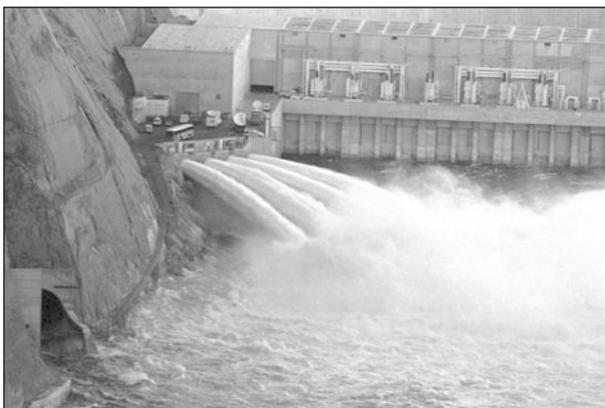


Figura 20 - Apertura degli scarichi di fondo di una delle dighe sul f. Colorado (USA). Tale operazione è svolta con lo specifico scopo di movimentare il trasporto di sedimento fino alla foce.

7. Conclusioni

Gli studi sulla dinamica costiera ionica nel tratto lucano intrapresi da vari ricercatori negli anni passati trovano in questo lavoro un aggiornamento circa lo stato della variazione della linea di costa e della tendenza globale sull'intero tratto e nei sottobacini delimitati dalle foci fluviali. La

tendenza che emerge è quella di un incremento esponenziale del processo erosivo e di una drammatica riduzione delle aree in accrescimento, che fino a qualche tempo fa si alternavano con regolarità alle aree in erosione. Il valore di erosione netta (differenza tra le aree in erosione e quelle in avanzamento nell'ultimo periodo di misura si attesta su 40 ha in 6



Figura 21 - Alluvione nel bacino del f. Sinni del mese di ottobre 2005. In tale occasione l'invaso si è riempito senza il contributo dal f. Sarmento ed ha rilasciato acqua dagli scarichi. Per la prima volta dopo la costruzione della diga di M. Cotugno si sono uniti i flussi del ramo principale e di quello del f. Sarmento, con un involontario ripascimento della costa a costo zero.

anni, cui corrisponde una perdita di circa 7 ha per anno e un arretramento medio della costa di 2 m/y. Le cause dell'attuale trend della dinamica costiera, accertato che eustatismo e subsidenze non sono significativi e che non sono dimostrabili variazioni del clima meteorologico, sono riconducibili alle ben documentate azioni svolte all'interno dei bacini. Si tratta delle sistemazioni idraulico forestali e dei prelievi di inerti in alveo, particolarmente intense fino agli anni Ottanta, mentre adesso sono riferibili essenzialmente alle intercettazioni dei flussi idrici e dei relativi contenuti di sedimenti operate su 4 dei 5 principali fiumi sfocianti nel mar Ionio sulla costa Lucana ad opera di ben 17 tra dighe e traverse. L'analisi degli interrimenti e la modellazione del trasporto solido indicano in circa 4,2 milioni di m³ annui il deficit di massa totale in arrivo alle foci, la cui parte utile (frazioni grossolane) disponibile per la dinamica costiera si stima dell'ordine del 50 %.

I necessari interventi di difesa della costa, in relazione al dato appena menzionato, devono essere indirizzati al contrasto del deficit di massa e dei suoi effetti, migliorando il trasporto di sedimento sulla co-

sta o con riporti locali, assistiti per ridurre la mobilità longitudinale e trasversale e quindi aumentare il tempo di persistenza del sedimento sulla spiaggia, con azioni che non possono che avere inizialmente carattere sperimentale.

Bibliografia

- Amore C., Cocco E., De Magistris M.A., De Pippo T., Giuffrida E., 1979, "Variazioni morfologiche e quantitative della spiaggia emersa e sommersa" dell'area campione Alto Ionio (Golfo di Taranto) *Boll. Acc. Gioenia di Sc. Nat*; IV, XIV, I, Catania.
- Anselmi B., Carlin F., Grauso S., 1986, "L'erosione del litorale antistante il Centro Ricerche Energie Trisaia", - *Atti del Convegno "Evoluzione dei litorali"* - ENEA
- Boenzi F., Palmentola G., Valduga A., 1976, "Caratteri geomorfologici dell'Area del foglio Matera" - *Boll. Soc. Geol. It.* 95, 527-566
- Bosi C., Carobene L., Sposato A., 1996, "Il ruolo dell'eustatismo nell'evoluzione geologica nell'area mediterranea", *Mem. Soc. Geol. It.*, 51, 1996, 363-382
- Carlin F., Dai Pra G., Magri G., Tazioli G.S., 1975, "Ricerche sul trasporto solido litorale alla foce

- del Fiume Sinni (Golfo di Taranto)", *Geol. Appl. Idrogeol.*, X, 1.
- Cocco E., De Magistris M.A., De Pippo T., 1978, "Studi sulle cause dell'arretramento della costa lucano ionica -I- L'estrazione degli inerti lungo le aste fluviali", *Mem. Soc. Geol. It.* 19, 369-376.
- Cocco E., 1975, "Interpretazione aerofotografica delle variazioni della linea di costa lungo alcune zone del litorale alto ionico (Golfo di Taranto)", *Geol. Appl. Idrogeol.*, X, parte 1.
- Cocco E., De Magistris M.A., De Pippo T., 1975, "Evoluzione e dinamica del litorale alto ionico (Golfo di Taranto)", *Atti del Convegno "Evoluzione dei litorali"* - ENEA, 1986.
- Copertino V., Spilotro G., Viparelli R., Telesca V., 1997, *Relazione di consulenza tecnico-scientifica sulle sistemazioni idrauliche a difesa delle infrastrutture del basso Basento*, Regione Basilicata.
- Cotecchia V., Dai Pra G., Magri G., 1971, Morfogenesi litorale olocenica tra Capo Spulico e Taranto nella prospettiva della protezione costiera. *Geol. Appl. e Idrogeol.*, VI.
- De Juliis E. M., 2001, *Metaponto*, Edipuglia, Bari
- De Siena A., 1999, "Il Metapontino: insediamenti antichi e bonifiche", *Archeologia dell'acqua in Basilicata*, Potenza, 1999, 53-72.
- Gavrilovic Z., 1988, "The use of an empirical method, erosion potential method for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams", *International conference on river regime*, Wallingford, England.
- Giardino L., 1983, "Il porto di Metaponto in età imperiale. Topografia e materiali ceramici", *Sf. Ant.*, 4, 1983, 5-36.
- Molino B., 2000: "Combined reservoir rehabilitation and sediment utilization: economic defence", *Proc. Int. Conf. on New Trends in Water and Environmental Engineering for Safety and Life*, Capri, Italy, July 2000.
- Pranzini E., 1994, "Bilancio sedimentario ed evoluzione storica delle spiagge", *Il Quaternario*, 7 (1), 197-204.
- Spilotro G., Roccanova C., 1990, "Sea level changes and ancient mapping of Taranto area", *Proc. 6th Int. Cong. of I.A.E.G.*, Amsterda.
- Spilotro G., Grimaldi S., Sole A., 1999, *Carta geologica dei principali bacini lucani (1:250.000), Valutazione delle piene in Basilicata*, Univ. Basilicata, DIFA.
- Spilotro G., Canora F., Caporale F., Leandro G., Vignola N., 2002, "Hydrogeology and groundwater salinisation in the Jonian coastal plane of the Basilicata Region", *17th Salt Water Intrusion Meeting*, Delft, may 2002.
- Spilotro G., Monaco L., 2003, *Metodologia di misura delle variazioni recenti delle linee di costa basse, mediante analisi di foto aeree*. Atti DI-SGG, UNIBAS, pubb. 2/2003.
- Spilotro G., 2003, "Variazioni relative del livello mare e variazioni della linea di costa: tendenze naturali e fattori antropici", *Atti Convegno SIGEA: Cambiamenti climatici e desertificazione in area mediterranea*, SIGEA, Univ. Bari, 16.3.2002. *Geologia dell'Ambiente*, SIGEA, XI, 2. 27-34
- Spilotro G., Caporale F., Canora F., Leandro G., 2004, Interventi nei bacini e dinamica delle coste. Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata, *Collana editoriale di studi e ricerche*, 4: "Il processo di interrimento degli invasi: Genesi, effetti ed interventi per la tutela dell'ambiente", Molino B. & Vita M. eds.
- Spilotro G., Pizzo V., 2007, "Basin modifications and coastal dynamics: the case of the ionic waterfront in the Basilicata Region", *Proc. 2nd Workshop on coastal processes and port engineering*, Cosenza, June 2006; Povia ed.

La modellistica fisica e numerica nella difesa dei litorali

Antonio Felice Petrillo

Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste

Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica

Politecnico di Bari

I principali problemi della gestione della fascia costiera

Dagli anni Cinquanta lungo le coste italiane si stanno manifestando in modo sempre più palese fenomeni di erosione locali e diffusi delle coste sabbiose.

Questi non si riscontrano solo in Italia, ma in diverse parti del mondo e in modo particolare lungo le coste nel cui entroterra è stata più forte l'azione antropica.

Il processo erosivo si manifesta:

- "visibilmente", con arretramenti della linea di riva che, talvolta, possono mettere in pericolo anche la stabilità di insediamenti abitativi o di infrastrutture realizzate lungo la fascia costiera;
- "in modo non visibile", con un aumento della profondità dei fondali della spiaggia sommersa a causa dell'allontanamento della sabbia verso il largo e, quindi, fuori dalla zona più attiva della dinamica dei sedimenti.

Variazioni stagionali, e in alcuni casi anche annuali, della linea di riva sono normali, tenendo presente la variabilità dello stato ondoso che è la principale causa della dinamica costiera a breve termine.

Diverso è il caso in cui costantemente negli anni si riscontra l'arretramento della linea di riva. In questo caso è certamente intervenuto qualche elemento esterno che ha alterato l'equilibrio dei sedimenti.

E' ormai dimostrato scientificamente che in questi casi sono le azioni antropiche le principali cause dell'erosione.

In particolare si pensi:

- alla realizzazione di nuove opere a mare, che possono interferire in modo consistente con la dinamica dei sedimenti;
- alla urbanizzazione e infrastrutturazione della fascia costiera;
- alla regimazione dei corsi d'acqua, alla realizzazione di invasi, alle sistemazioni idrauliche forestali ecc..

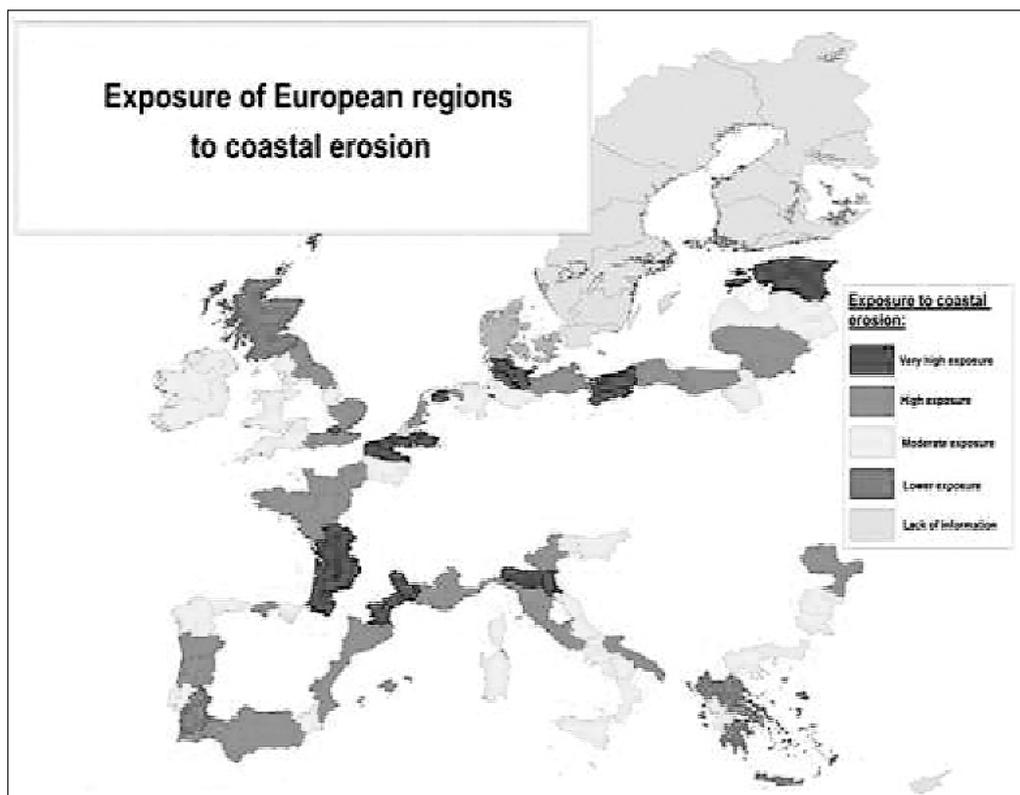


Figura 1 - Mappa dell'erosione europea (disegno ripreso dai risultati del Progetto Europeo "EUROSION" presentati e discussi a Brussell il 28 maggio 2004).

Tutti questi interventi nel tempo fanno risentire il loro effetto che consiste, principalmente, nel diminuire, se non annullare, il trasporto di materiali terrigeni verso il mare facendo venir meno l'equilibrio medio tra l'azione erosiva delle onde e l'apporto da terra.

Vi è da tener conto poi dell'innalzamento del livello medio mare. Questo problema non è trascurabile, però ad oggi è difficile una previsione quantitativa attendibile in quanto esistono solo pochi rilievi sistematici su lungo periodo. Per quanto riguarda l'Adriatico vi sono i dati rilevati a Trieste con lo stesso mareografo dalla metà del 1800 ai giorni nostri, che indicherebbero un innalzamento del livello medio mare nel secolo di circa 30 cm; questo valore per le coste sabbiose, in genere con piccole pendenze, non è trascurabile. Da più parti vengono effettuate previsioni di innalzamenti signifi-

cativi per i prossimi anni, sono però previsioni ottenute con "Modellizzazioni matematiche" che mancano, per la maggior parte dei casi, di calibrazioni affidabili.

Da qui un primo monito ai ricercatori, ma principalmente agli Enti nazionali e locali preposti, ad attivare sempre di più sistemi di "Monitoraggio idonei, affidabili e continui nel tempo", che oltre a consentire il controllo della fascia costiera sono indispensabili per la calibrazione e validazione dei Modelli matematici.

Per la valenza del problema, sia sotto l'aspetto ambientale che socioeconomico, molti studi sono stati effettuati e si effettuano sulla erosione delle coste. Uno studio recente a livello europeo è il Progetto "EUROSION" nel quale la problematica è stata affrontata sia per la conoscenza della situazione attuale sia per individuare delle linee di comportamento per convivere con

il fenomeno nel rispetto dell'ambiente e della crescita socioeconomica delle popolazioni della fascia costiera. Nella figura 1 è riportata una carta dell'Europa, ripresa dallo studio, dalla quale si nota la diffusione del fenomeno, circa 20.000 km di costa - il 20% del totale - presenta processi di erosione in atto, più o meno marcati, e questi, in genere, sono legati ad azioni antropiche sulla fascia costiera o nel bacino idrografico a monte.

Nella figura 2 sono riportate alcune foto esemplificative degli effetti dell'erosione costiera in zone urbanizzate.

Per far fronte all'erosione dei litorali vi sono interventi tradizionali (quali barriere emerse, sommerse, pennelli, ecc.), opere però che, in genere, nel lungo periodo si sono dimostrate impattanti e, in diversi casi, anche poco efficaci.

Oggi sono in fase di studio, nei laboratori e in pieno campo, interventi morbidi che, con diverse metodologie, tendono a creare le condizioni idrodinamiche affinché anche in condizioni di stati ondosi erosivi la sabbia sia trattenuata nella zona di riva. Tra questi vi è il Sistema di Drenaggio delle Spiagge, impiegato, con alterna fortuna, in alcuni siti - tra l'altro è in fase di realizzazione un impianto sperimentale anche su un tratto della costa ionica della Basilicata -; su questo sistema presso il Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste del Politecnico di Bari sono state effettuate delle prove sperimentali con Modelli Fisici 3D e 2D nell'ambito del PROGETTO n. 9 Cluster 11-B, a cui hanno partecipato ricercatori del Politecnico di Bari e delle Università di Co-

senza e di Salerno. Alcuni risultati dello studio sono stati già dati alla stampa, mentre l'intero studio sarà pubblicato entro l'anno.

Vi è poi il ripristino della costa mediante ripascimenti artificiali con sabbia, ac-

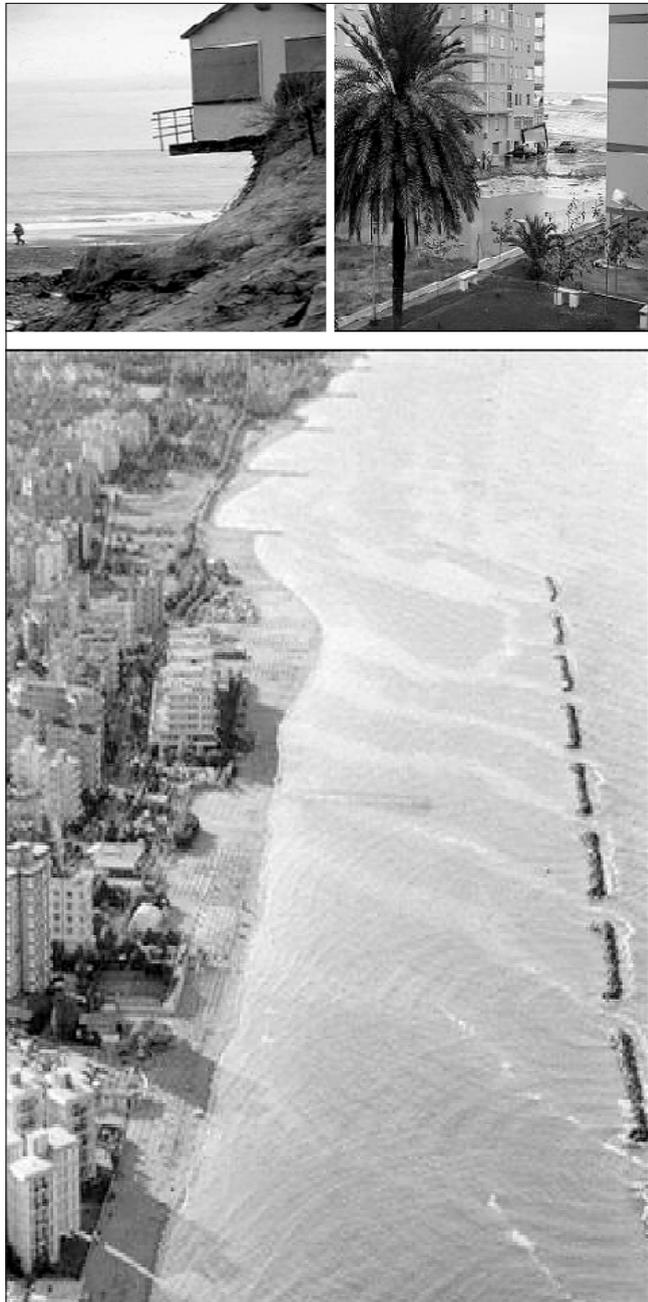


Figura 2 - Abitazioni e infrastrutture della fascia costiera a rischio.

compagnati in genere da opere sommerse di protezione al piede sul lato mare. In particolari condizioni, quando l'azione erosiva è molto forte si ricorre anche a ripascimenti artificiali con ghiaia.

Tutte queste opere, in molti casi efficaci, hanno però bisogno di un attento studio, talvolta anche sperimentale di laboratorio e di campo.

Resta però il problema più generale della difesa dell'intera fascia costiera che, come si è innanzi accennato, è connessa direttamente alla gestione del territorio. Occorrono quindi anche interventi "sulla terra" pianificando una corretta regimazione fluviale e utilizzazione del suolo sia sulla fascia costiera che nel bacino idrografico e valutando correttamente l'influenza delle nuove opere a mare sulla dinamica dei sedimenti.

Lo sviluppo della ricerca scientifica nel campo della difesa delle coste

Come è noto l'idraulica marittima e le costruzioni marittime sono due settori della "Meccanica dei fluidi" che hanno avuto un forte sviluppo teorico e tecnico negli ultimi decenni. Ancora oggi molti sono i problemi aperti e numerose sono le ricerche che vengono svolte in tali settori, come è evidenziato dai numerosi congressi, seminari, giornate di studio ecc. che si svolgono ogni anno, sia in sede internazionale che nazionale.

Le principali cause di questo ritardo sono attribuibili:

- alla complessità dei fenomeni, quasi sempre non indagabili con il solo approccio teorico; si pensi ad esempio alle non linearità che si presentano nell'evoluzione degli stati ondosi dal largo sotto costa, alla dinamica dei sedimenti, alle azioni del moto ondoso sulle strutture, alle correnti di circolazione su piccola e grande scala. Vi è poi da aggiungere che la gran parte dei fenomeni dipendono principalmente dall'accelera-

zione di gravità "g", e quindi dal numero di Froude, ma anche dalla viscosità " μ ", e quindi dal numero di Reynolds. Come è noto la realizzazione di un Modello Fisico in scala ridotta in analogia completa a problemi di questo tipo è molto difficile; infatti occorrerebbe utilizzare altri liquidi al posto dell'acqua (ad esempio gasolio) molto difficili da impiegare. Da qui la necessità di effettuare ricerche di campo o su Modelli Fisici con scale di riduzione ridotte, ossia utilizzando grandi attrezzature, in modo che rispettando la sola analogia di Froude, si possano avere effetti scala dovuti al numero di Reynolds accettabili;

- alla carenza, o completa assenza, per diversi anni, di idonee strutture per effettuare ricerche sperimentali di campo e di laboratorio per ricavare dati per validare i modelli teorici proposti. Questo secondo aspetto è imputabile:
 - alla mancanza di tecnologie mature in grado di consentire la realizzare di idonee apparecchiature sperimentali di ricerca, con impegni economici contenuti;
 - alla consuetudine accademica di non facilitare l'approccio interdisciplinare ai problemi, che per diversi anni ha creato quasi dei compartimenti di conoscenze;
 - ma, soprattutto, alla scarsa sensibilità politica e sociale per tali problematiche e, quindi, alla carenza di fondi destinati alla ricerca.

Non è un caso che i primi studi sistematici sulle onde di mare sono stati finanziati dagli Stati Uniti d'America durante la Seconda Guerra Mondiale per ottenere previsioni del moto ondoso sulle coste per lo sbarco di truppe da mare negli scenari di guerra in Europa e in Asia.

Un forte impulso alla conoscenza e alla descrizione matematica degli stati di mare è venuta, poi, con le ricerche sistematiche effettuate nel Mare del Nord finalizzate alla migliore conoscenza dell'idrodinamica al fine di progettare le piattaforme *offshore* per l'estrazione petrolifera. Queste ricerche hanno consentito di perfezionare e ca-

librare le ipotesi teoriche, avviate da anni, per l'interpretazione degli stati di mare attraverso una rappresentazione spettrale al posto della schematizzazione, ancora oggi in molti casi adottata, con onde monocromatiche equivalenti.

In Italia fino al 1980 gli Istituti universitari hanno sperimentato principalmente con Modellistica Fisica 2D, ossia su canali per moto ondoso, con eccezione di piccole apparecchiature 3D realizzate presso l'Università di Padova e di Pisa.

Vi è stata poi una struttura privata "l'E-stramed" di Pomezia (Roma), realizzata intorno al 1970 da una Associazione di Imprese, allo scopo di simulare le diverse ipotesi progettuali per realizzare un grande porto petrolifero in Iran. Purtroppo questa struttura, utilizzata molto anche da ricercatori universitari, è stata chiusa nel 1998.

Per studiare tali tematiche nel 1988 ricercatori dell'Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari proposero di realizzare il "Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC)". In particolare, l'iniziativa doveva portare alla realizzazione di apparecchiature sperimentali per poter simulare fenomeni di dinamica costiera con Modellistica Fisica 3D e 2D, nonché la messa a punto di Modelli

Matematici. Il LIC, quindi, doveva sorgere per incentivare la ricerca di base e per svolgere una azione di supporto agli Enti Territoriali per le tematiche relative alla gestione della fascia costiera.

Tale spirito venne condiviso dalla Regione Puglia e dalla UE che inserirono la realizzazione dell'opera nel Programma POP Puglia 1990.

Sintetica presentazione del LIC

Il LIC, per dimensioni e strumentazioni disponibili è unico in Italia e uno dei pochi in Europa; esso sorge su una superficie complessiva di circa 3 ha nell'area universitaria di Valenza (Bari).

Nel LIC vi è una vasca, della larghezza di 50 m, con due livelli di profondità l'una di 1,2 m, per la lunghezza di circa 90 m, e l'altra di 3,0 m, per la lunghezza di 30 m, per la realizzazione di Modelli Fisici 3D rispettivamente di fenomeni di dinamica costiera e *off-shore*, figura 3.

Vi è inoltre un canale per Modelli Fisici 2D della lunghezza di 40 m e larghezza di 2,4 m.

Il Laboratorio è dotato di due generatori del moto ondoso, uno della lunghezza di



Figura 3 - Pianta delle vasche per la realizzazione dei Modelli Fisici.

28,8 m per i Modelli Fisici 3D e uno della lunghezza di 2,4 m per i Modelli Fisici 2D, ambedue in grado di generare stati ondosi sinusoidali o con spettro assegnato con una altezza significativa massima di 0,30 m.

Il LIC è dotato di strumentazioni per il rilievo e l'acquisizione delle principali grandezze fisiche della modellistica costiera (quali rilevatori del moto ondoso, della profondità dei fondali, della velocità - in laboratorio e in campo -, della pressione, del trasporto solido ecc.), e di sistemi di acquisizione ed elaborazione dei dati.

Completano il LIC officine di supporto, un centro di calcolo e una palazzina uffici.

Considerazioni sulla utilizzazione della Modellistica Fisica e Matematica

Fenomeni nei quali è predominante l'azione della gravità "g", e quindi il numero di Froude, quali:

- evoluzione del moto ondoso dal largo ai bassi fondali;

- agitazione ondosa su strutture portuali o di protezione;
- ecc.

Questi fenomeni, per quanto complessi, possono essere riprodotti abbastanza bene con Modelli Fisici 2D o 3D a fondo fisso utilizzando l'analogia di Froude.

La scelta della scala di riduzione delle lunghezze, in genere, non ha vincoli particolari; è ovviamente condizionata dalle apparecchiature sperimentali e dalla sensibilità degli strumenti di misura disponibili. Tuttavia, è buona norma non adottare scale molto piccole, massimo 1:100, altrimenti si possono avere effetti scala dovuti alla tensione superficiale e difficoltà nella riproduzione delle batimetrie e delle forme delle strutture.

Le ricerche su queste tematiche con Modelli 2D e 3D hanno consentito di ricavare delle "Procedure di progettazione" e tarare dei "Modelli matematici" che coprono una buona casistica di opere.

Vi sono però ancora problemi aperti quali:

- le trasformazioni non lineari del moto ondoso ai bassi fondali;
- l'agitazione ondosa all'interno di bacini portuali complessi, in questo caso la Mo-



Figura 4 - Generatore di moto ondoso per Modelli Fisici 3D.

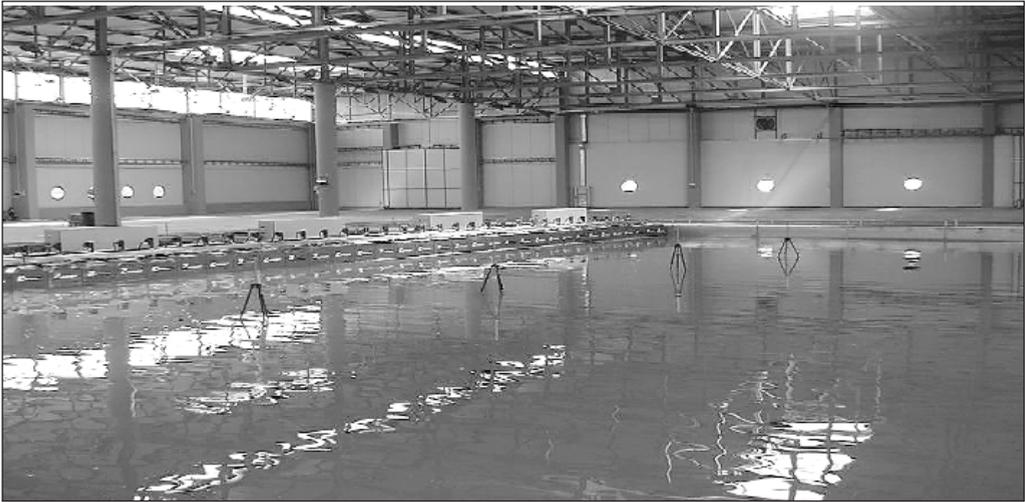


Figura 5 - Vista della vasca per Modelli Fisici costieri 3D.

dellazione Matematica disponibile non sempre riesce ad interpretare il fenomeno della diffrazione multipla per cui occorre far ricorso alla Modellazione Fisica 3D.

Nel 2002 presso il LIC è stato realizzato un Modello Fisico 3D a fondo fisso del porto di Mola di Bari per lo studio dell'agitazione ondosa nel bacino portuale attuale e nella ipotesi progettuale di diminuire l'imboccatura del porto e realizzare nella parte orientale del bacino, attualmente inutilizzata, un porto turistico, nella figura 6 sono riportate le piante della situazione attuale del porto e della ipotesi progettuale verificata. Dalla figura si nota l'inserimento nel bacino portuale di nuovi moli per dividere e razionalizzare l'uso delle aeree. E' da evidenziare che al fine di contenere l'agitazione ondosa, specie quella di lungo periodo, l'ipotesi progettuale prevede di realizzare parte di alcuni moli con cassoni antiflettenti. La configurazione è quindi abbastanza complessa non risolvibile con una Modellistica Matematica, come ha mostrato il confronto dei risultati di quest'ultimo con quelli rilevati sul Modello 3D.

Nella figura 7 è riportata una vista parziale del modello del porto nella configurazione progettuale finale.

Fenomeni nei quali non è possibile trascurare l'azione della viscosità " μ ", e, quindi, del numero di Reynolds, quali:

- evoluzione del profilo della spiaggia emersa e sommersa di un tratto di costa, in presenza e assenza di opere di protezione, sotto l'azione di attacchi ondosi;
- escavazioni e stabilità di strutture di difesa o di protezione messe in opera su fondali sabbiosi;
- ecc.

Questi fenomeni, molto importanti per la gestione della fascia, sono più complessi in quanto sia con i Modelli Fisici che con quelli Matematici oltre all'idrodinamica occorre riprodurre la dinamica dei sedimenti.

Per quanto riguarda la Modellistica Fisica il problema fondamentale è la impossibilità, come si è detto, di rispettare contemporaneamente l'analogia di Froude e di Reynolds. E' stato necessario quindi ricercare delle leggi, compatibili con l'analogia di Froude, che consentissero di riprodurre il trasporto dei sedimenti.

Su questo argomento negli ultimi trenta anni sono state effettuate numerosissime ricerche sperimentali che hanno condotto a risultati abbastanza positivi.

In particolare in lavori svolti da Dean (1973), Larson, Kraus e Sunamura (1988),

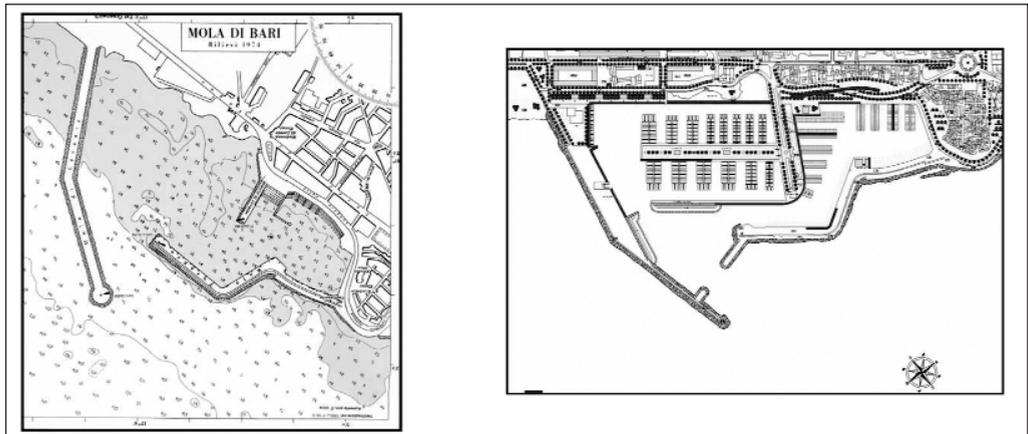


Figura 6 - Planimetria del porto di Mola di Bari nella configurazione attuale, a destra, e nella configurazione Progettuale Finale provata sul modello, a sinistra.

Kriebel, Kraus e Larson (1991) e da Chiaia, Damiani e Petrillo (1990 e 1992) è stato individuato un numero indice (chiamato parametro di Dean):

$$Hs / (w Ts)$$

in cui Hs e Ts , sono rispettivamente l'altezza e il periodo dell'onda significativa al largo e w la velocità di caduta del sedimento in acqua ferma, in grado di individuare il comportamento ripascitivo (a berma), erosivo (a barra) e intermedio in base alle caratteristiche dello stato ondoso e della sabbia.

Su questa base ricerche successive (Hughes, S.A., (1983); Vellinga P., (1984 e 1988); Hughes, S.A., Fowler, J.E. (1990) e Ranieri, G. (1995)) hanno mostrato che con un Modello Fisico si ha una buona riproduzione del trasporto solido se esso viene realizzato con le seguenti condizioni:

- Rispetto dell'analogia di Froude
[Fr modello = Fr prototipo]
- Rispetto dell'analogia del parametro di Dean

$$[Hs / (w Ts)] \text{ modello} = Hs / (w Ts)$$

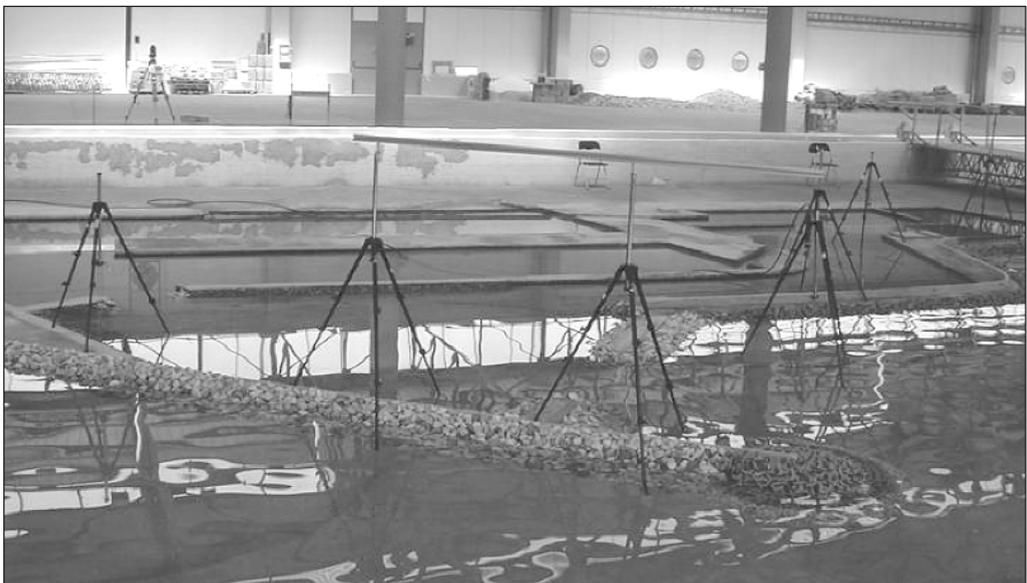


Figura 7 - Vista parziale del modello del porto di Mola di Bari nella configurazione progettuale finale.

prototipo, mediante l'impiego nel modello di sabbia con particolari caratteristiche.

- Utilizzazione di scale di riduzione delle lunghezze basse.

Con quest'ultima condizione si nota subito che non è possibile eseguire Modelli Fisici di lunghi tratti di costa; infatti con un generatore di moto ondoso di 30 m, quale è quello in dotazione al LIC, e una scala di riduzione delle lunghezze di 1/30 è possibile simulare al massimo un tratto di costa della lunghezza di 900 m, e, comunque, con un generatore lungo 100 m, ve ne è qualcuno al mondo, si potrebbero simulare 3.000 m di costa.

Quindi la Modellistica Fisica 3D può essere impiegata solo per lo studio di interventi localizzati in tratti limitati di costa, mentre per studi su grande scala (fino ad arrivare all'intera unità fisiografica) occorre far ricorso alla Modellistica.

Di seguito si presenteranno alcuni esempi della potenzialità dei due approcci con alcune considerazioni critiche.

Si riportano anzitutto due esempi di uti-

lizzazione della Modellistica Fisica 3D per due tratti di costa compresi nella unità fisiografica della Toscana nord, tratto che va da Livorno a sud e fiume Magra a nord, figura 9.

Nell'unità fisiografica ricadono tratti di costa con alto valore socioeconomico, quali Viareggio, Forte dei Marmi ecc.

La spiaggia emersa e quella sommersa di alcuni tratti di costa dell'unità fisiografica, hanno subito profonde modificazioni negli ultimi 150 anni, a partire dalla unificazione dell'Italia, principalmente a causa delle azioni antropiche sulla fascia costiera e sui bacini dei fiumi che in essa sfociano.

Un'analisi del trasporto medio potenziale annuo longitudinale nell'unità fisiografica, figura 9, indica che esso trova nella foce del fiume Arno, a sud, una sezione di inversione di tendenza; infatti in questa il trasporto medio longitudinale è diretto in parte verso nord e in parte verso sud; mentre, nella parte a nord della unità fisiografica a il trasporto dei sedimenti, proveniente prevalentemente dal fiume Magra, è diretto verso sud.

Come si vede dalla figura 9 il tratto di

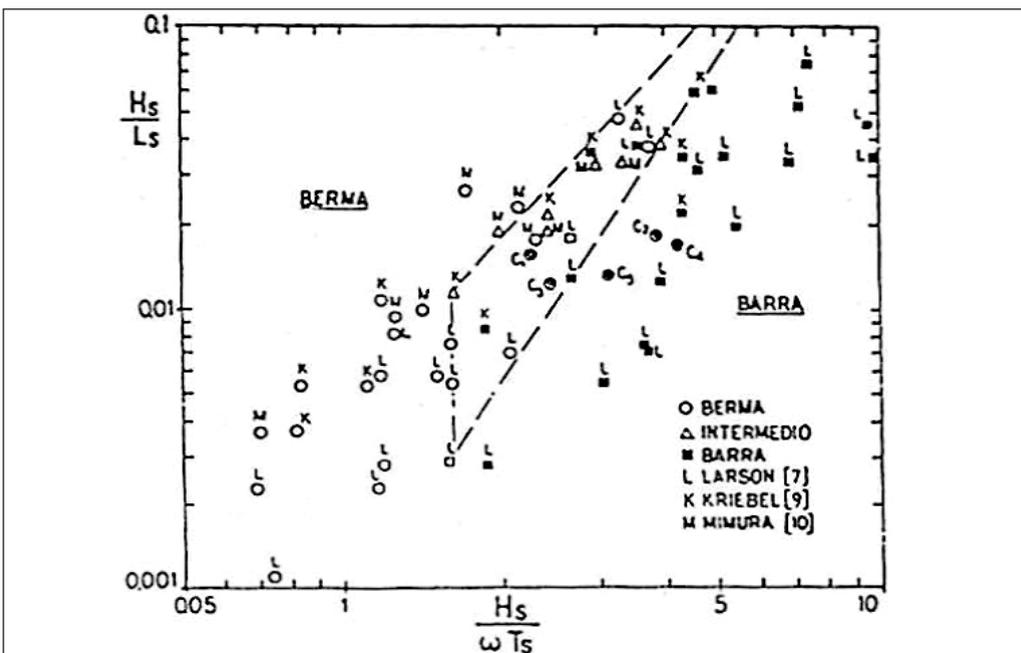


Figura 8 - Dati sperimentali di diversi autori sul comportamento di un profilo di spiaggia in funzione di $H_s/(w T_s)$ e della ripidità dello stato ondoso $H_s/(L_s)$.

costa compreso tra Marina di Pietrasanta e Viareggio è quello in cui si possono avere apporti di sedimenti sia da sud che da nord, per cui risultano i più stabili.

Le cause che hanno portato grandi modificazioni della linea di costa e dei fondali sono:

- le sistemazioni idraulico forestali dei bacini dei vari fiumi sfocianti nell'unità fisiografica e la realizzazione di invasi di laminazione (principalmente sul bacino dell'Arno in cui negli anni le onde di piena hanno causato notevoli danni, tra cui si ricorda quello del 1976), che hanno determinato una riduzione notevole del trasporto solido verso il litorale;
- l'antropizzazione della fascia costiera, con la realizzazione di infrastrutturazioni urbane e stradali, che hanno diminuito drasticamente, se non completamente eliminato, l'apporto di sedimenti verso il mare dalle zone retrostanti che originariamente, in generale, erano paludose;
- la realizzazione di opere portuali, quale quella del porto industriale di Carrara, che intercettando il trasporto solido proveniente dal fiume Magra ha determinato una zona di ripascimento a nord,

subito occupata sia per fini di balneazione che per la realizzazione di opere urbane (zona che oggi è in crisi poiché il trasporto solido del fiume Magra si è notevolmente ridotto a causa delle sistemazioni idraulico forestali eseguite nel bacino del fiume e per il notevole prelievo di inerti dall'alveo), e una zona di forte erosione a sud sul litorale di Marina di Massa,

Nella figura 10 è riportato il porto industriale di Carrara con l'indicazione della linea di riva nel periodo antecedente la sua realizzazione (intorno al 1930) e quella attuale; dalla figura si nota il processo erosivo che si innescò, ed ancora oggi in atto, che ha interessato principalmente la costa di Marina di Massa.

In questo tratto di costa, con l'insorgere dell'erosione - in alcuni tratti a sud del porto si sono avuti arretramenti della linea di riva di alcune centinaia di metri - sono state realizzate nel tempo opere di protezione tradizionali di diversa tipologia, che indicano un approccio empirico alla soluzione del problema, che hanno completamente sconvolto il paesaggio e la fruibilità del litorale che, dai primi decenni del secolo scorso, è noto per la presenza di "Co-

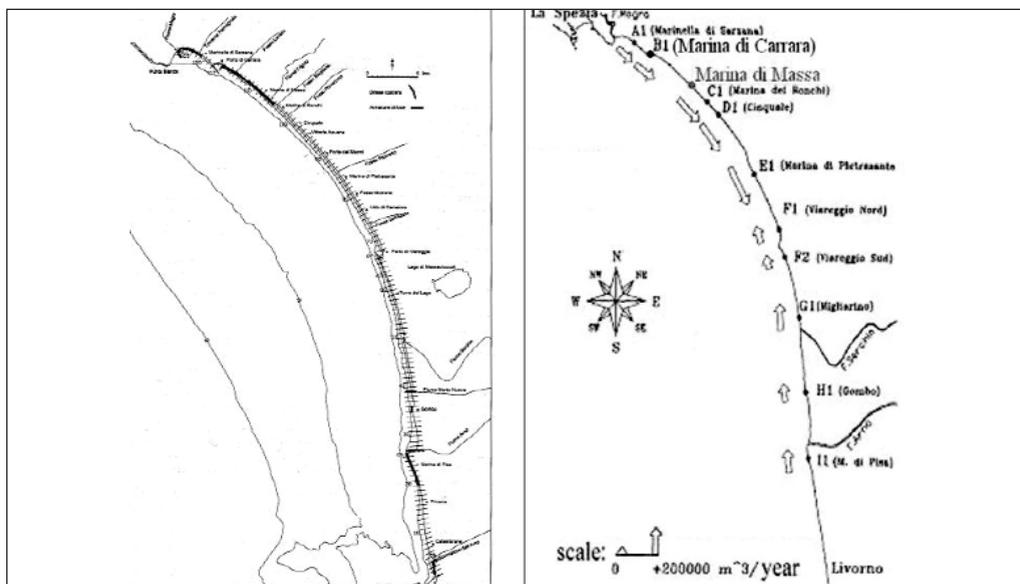


Figura 9 - Unità fisiografica tra il porto di Livorno, a sud, e il fiume Magra, a nord e, a destra, schema della direzione delle correnti lungoriva e del trasporto solido potenziale netto.

lonie estive", e che ancora oggi conserva un'opera architettonica di notevole valore storico: la "Torre della colonia Fiat".

Nelle figure 11 e 12 sono riportate delle foto del litorale di Marina di Massa, si nota il "disordine" degli interventi eseguiti nel tempo.

Nel tratto a sud di Marina di Massa il litorale è "abbastanza in equilibrio" - anzi più a sud ogni anno si ha l'insabbiamento del porto di Viareggio - grazie al trasporto di sedimenti verso nord provenienti dall'erosione della zona sabbiosa della "Tenuta Presidenziale di San Rossore" posta sulla sponda destra dell'Arno; questo tratto di costa nell'ultimo secolo ha avuto un arretramento di diverse centinaia di metri.

Nella figura 13 è riportata una recente foto aerea della foce dell'Arno dalla quale si nota a nord la forte erosione della "Tenuta Presidenziale di San Rossore" e a sud dell'Arno la "fortificazione" del litorale di Marina di Pisa con imponenti scogliere emerse e aderenti.

Sull'intera unità fisiografica da diversi decenni vengono eseguiti rilievi, più o meno sistematici, che hanno evidenziato l'evoluzione della linea di riva e dei primi fondali, mentre non è stata fatta mai una Modellazione Matematica efficace per interpretare il fenomeno nella sua globalità. A questo si associa il fatto che, recentemente, la Regione Toscana avendo delegato alle Province la gestione della propria fascia costiera (null'unità fisiografica vi sono quattro province toscane, Livorno, Pisa, Lucca



Figura 10 - Tratto di costa nella zona di Carrara e Marina di Massa. Si nota il porto di Carrara, la linea di costa attuale e quella, in rosso, prima della realizzazione dell'opera.

e Massa Carrara e, a nord, una della Regione Liguria, La Spezia), ha determinato una cattiva gestione dell'intera fascia costiera.

In un problema di questo tipo, che investe l'intera unità fisiografica, è importante uno studio complessivo, che può e deve essere condotto solo con una idonea Modellazione Matematica, mentre interventi specifici per piccoli tratti di costa possono essere verificati con Modellistica Fisica.

Per alcuni interventi specifici nella unità fisiografica che si sta esaminando presso il LIC negli ultimi anni sono stati realizzati due Modelli Fisici 3D per simulare un intervento progettuale di riordino e riqualifica-



Figura 11 - Opere di difesa con scogliere emerse parallele, in alcuni casi allineate e in altri sfalsate, nel tratto di costa di Marina di Massa subito a sud del porto di Carrara.



Figura 12 - Opere di difesa con pennelli emersi e scogliera sommersa di chiusura sul lato mare - a realizzare delle celle - , nel secondo tratto a sud di Marina di Massa. Ancora più a sud, dove finiscono le celle, il litorale è protetto solo con pennelli sommersi realizzati con sacchi di sabbia; questo tratto è estremamente critico e nei primi mesi del 2006, a seguito di una mareggiata si è avuta una forte erosione del litorale ed è stato necessario effettuare degli interventi di "urgenza".

zione ambientale delle opere di difesa della zona di Marina di Massa (studio condotto per conto della Provincia di Massa Carrara) e un intervento per riqualificare il litorale di Marina di Pisa (studio condotto per conto dell'Autorità di Bacino dell'Arno).

I modelli sono stati realizzati ambedue in analogia di Froude, con scala geometrica indistorta di 1/30. Visto che il generatore disponibile è in grado di realizzare un fronte d'onda di 28,8 m, nel modello si sono simulati circa 900 m di costa. I modelli erano a fondo mobile a partire dalla stra-

da litoranea fino ad una profondità dei fondali di circa 7,2 m.; successivamente segue una rampa di accosto, in calcestruzzo e parallela alla batimetria, che porta ai fondali di 24 m, ai quali è posizionato il generatore di moto ondoso. Per il trasporto solido si è utilizzata l'analogia di Dean, ossia la conservazione del parametro $H/(wT)$, impiegando per i due modelli due diversi tipi di sabbia.

Nel Modello Fisico del litorale di Marina di Massa si sono simulati gli interventi previsti in un Progetto tesi a ridurre la risalita del moto ondoso sulla spiaggia emersa, attualmente con mareggiate significative la risalita del moto ondoso provoca danni alle attrezzature degli stabilimenti balneari, e ad ampliare, con un rimpascimento artificiale, l'attuale spiaggia emersa.

In particolare i principali interventi sono:

- uniformare la sommergenza delle attuali scogliere sommerse di chiusura delle celle che si presentano fortemente danneggiate;
- realizzazione di una barriera sommersa a largo delle attuali scogliere, da eseguire con ghiaia o pietre di piccola dimensione, o in alternativa utilizzando dei geotubi;
- trasformare alcuni pennelli emersi delle celle in sommersi in modo da rendere ambientalmente-



Figura 13 - Arretramento della linea di riva a nord dell'Arno, presso la "Tenuta Presidenziale di San Rossore", che ancora oggi consente "l'equilibrio" del tratto di costa di Viareggio. A sud si nota la "fortificazione" con le opere di difesa del litorale di Marina di Pisa sulla cui costa si è avuta negli ultimi decenni una consistente erosione dei fondali.

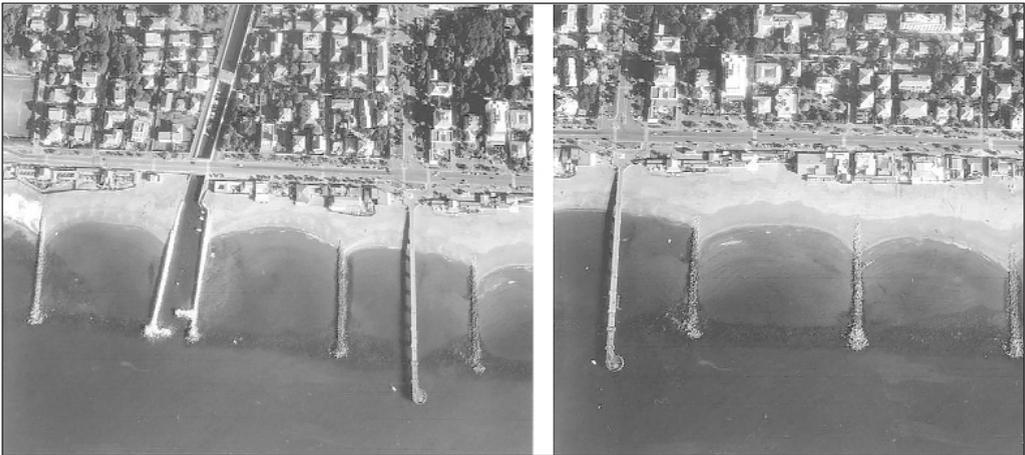


Figura 14 - Vista aerea delle cinque celle riprodotte nel modello.

te meno impattanti le opere attuali;

- realizzazione di un ripascimento artificiale della spiaggia emersa con sabbia più grossa.

Per simulare l'intervento nel Modello Fisico si sono riprodotte le cinque celle della zona del pontile riportate nella figura 14; da questa si notano i pennelli trasversali e si vedono le scogliere sommerse di chiusura.

Sul Modello, figura 15, sono stati inviati attacchi ondosì random provenienti da 220° e 235° N.

Nella figura 16 è riportata una foto del Modello con la configurazione attuale delle opere.

I primi risultati ottenuti dal Modello indicano che, globalmente, esso riproduce bene la realtà; infatti si è osservato che:

- in concomitanza di eventi meteomarinari intensi si ha risalita di acqua e sabbia in alcuni tratti della strada litoranea in accordo con quanto rilevato dalla Protezione Civile di Marina di Massa *in situ*;
- con le mareggiate più intense vi sono forti, e non uniformi, correnti di uscita dalle celle che determinano una perdita dei sedimenti più sottili e quindi un aumento della granulometria media al loro interno; ciò è in accordo con la realtà in quanto nel sito la granulometria all'interno delle celle è, in media, maggiore di quella esterna;
- nella zona *offshore* alle scogliere som-

merse si ha una forte erosione con la formazione di fosse; anche questo è in accordo con la realtà ed è uno dei motivi dell'intervento previsto nel progetto.

La sperimentazione delle proposte progettuali ha dato utili indicazioni, in particolare:

- la barriera sommersa al largo delle attuali scogliere non può essere realizzata con ghiaia, in quanto questa non sarebbe stabile, ma verrebbe spostata dalle correnti longitudinali verso sud, con il rischio di ritrovarla sulle spiagge sabbiose di Marina di Pietrasanta, fatto che determinerebbe danni a spiagge di elevato valore economico;
- la realizzazione della barriera sommersa al largo delle attuali scogliere, con pietre da 50-60 cm, è stabile, diminuisce la risalita del moto ondoso sulla strada litoranea e protegge il ripascimento artificiale.

La sperimentazione sul Modello sta continuando e sarà analizzata anche la soluzione progettuale alternativa che prevede di realizzare la barriera sommersa con geotubi, opera con un minore impatto ambientale.

In definitiva si può affermare che nella simulazione sul funzionamento di opere di difesa di un tratto di costa della lunghezza di 900 m il Modello Fisico fornisce indicazioni estremamente utili per la progettazione.

Da notare che il costo per la realizzazione del Modello è una percentuale molto piccola dell'intervento, però fornisce utilissime indicazioni che consentono di valutare e modificare la proposta progettuale. Pertanto, per interventi del tipo di quello descritto, come consigliano le varie Commissioni di valutazione dei progetti e come, in alcuni casi, impone la legge, è opportuno effettuare la simulazione con Modello Fisico.

L'altro esempio di Modello Fisico 3D che si presenta di seguito è quello della simulazione di una proposta progettuale per la riqualificazione del litorale di Marina di Pi-

sa. Come si è detto innanzi questo tratto di costa è nella stessa unità fisiografica di Marina di Massa, però a sud. A partire dalla fine del 1800, con la riduzione del trasporto solido dell'Arno, si è innescato un fenomeno erosivo sia nella parte a nord, "Tenuta Presidenziale di San Rossore", che a sud.

Per difendere l'abitato di Marina di Pisa sono state realizzate diverse opere: all'inizio del 1900 scogliere aderenti alla strada litoranea e tra il 1960 e il 1970 scogliere emerse, separate da varchi, poggiate su fondali di tre metri.

Le opere hanno un notevole impatto am-

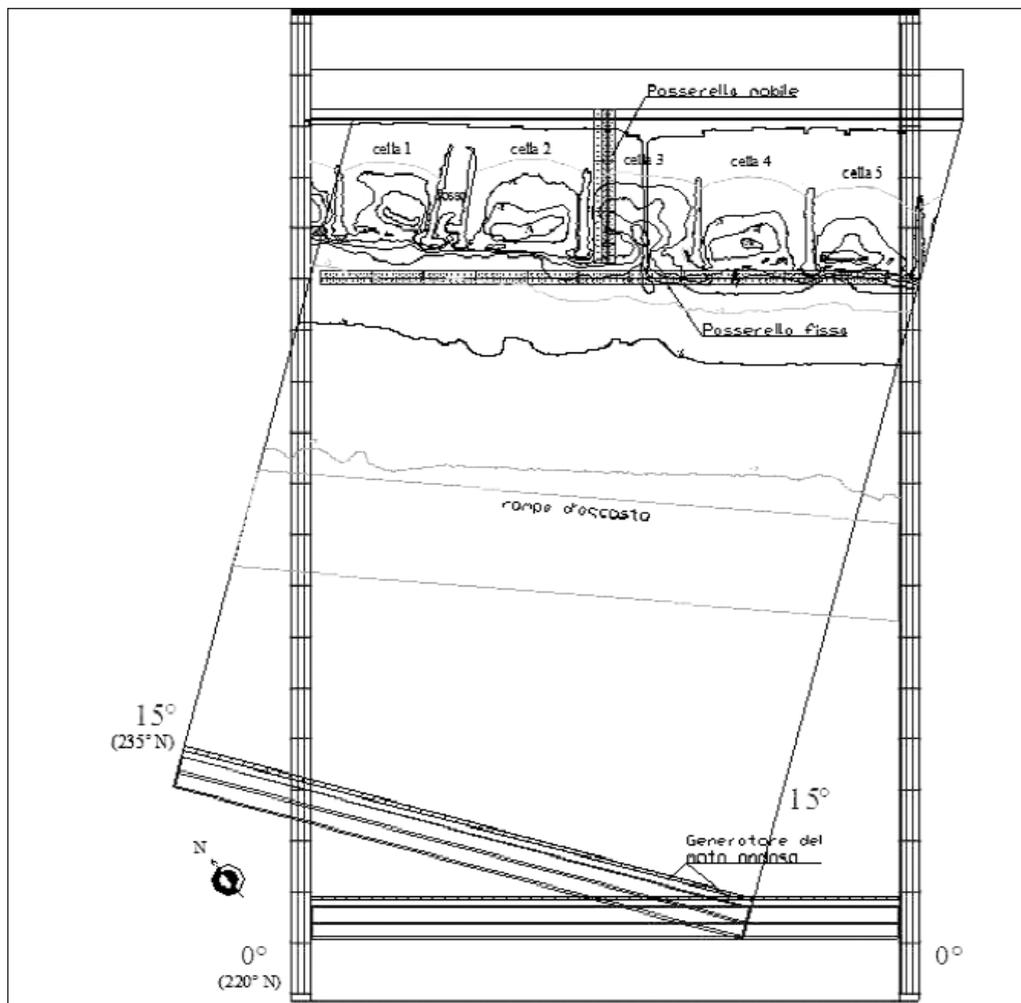


Figura 15 - Pianta del modello realizzato con l'indicazione delle due direzioni di provenienza degli attacchi ondosi: 220° N (0° di inclinazione rispetto alla strada litoranea) e 235° N (15° di inclinazione rispetto alla strada litoranea).



Figura 16 - Foto del modello con la configurazione attuale delle opere di difesa.

bientale, vedasi la figura 17, e sono pericolose per i bagnati, nell' agosto 2004 vi è stato un annegamento, per cui si stanno eseguendo interventi di recupero.

Nel profilo della spiaggia sul lato mare delle scogliere emerse sono presenti fosse di erosione che raggiungono profondità di 6 -7 m (Figura 18); quindi le correnti longitudinali, dirette verso sud, dalla posa in opera delle scogliere hanno determinato un approfondimento dei fondali esterni di almeno tre metri. In queste condizioni le scogliere sono abbastanza instabili e occorrono effettuare continui interventi di rifioritura.

Dal profilo (Figura 18) si nota che la spiaggia emersa fruibile è quasi inesistente e che tra la scogliera emersa e la riva i fondali sono molto bassi, massimo 2,5 m, per cui la qualità delle acque nella zona di fruizione balneare è scadente.

Nella figura 19 è riportata una pianta del lungomare di Marina di Pisa dalla quale si notano le opere di difesa attuali:

- scogliera radente a ridosso della strada litoranea;

- scogliere parallele emerse, interrotte da varchi.

L'intervento progettuale ipotizzato è:

- trasformazione delle scogliere emerse in sommerse;
- costruzione di una nuova interfaccia terra-mare realizzando un ripascimento artificiale in ghiaia con la doppia funzione di protezione e fruibilità.

Come si è detto innanzi, l'ipotesi progettuale è stata verificata con uno studio sperimentale su Modello Fisico 3D la cui pianta è riportata nella figura 20.

Nella figura 21 è riportata una foto del modello nella condizione attuale delle opere; si nota la risalita del moto ondoso e della sabbia che raggiunge il lungomare con una mareggiata intensa.

Nella figura 22 è riportata una foto del modello con la configurazione delle opere progettuali con il ripascimento in ghiaia con diametro nel prototipo di 3-4 cm, e nel modello 0,2-0,3 cm.

Nella figura 23 è riportata l'evoluzione del profilo di spiaggia con i diversi attacchi



Figura 17 - Foto delle opere di protezione di Marina di Pisa, si notano le scogliere aderenti, realizzate agli inizi del 1900, e le scogliere emerse, realizzate tra il 1960 e il 1970. E' da notare la quasi assenza di spiaggia.

ondosi; da essa si nota che con le ondatazioni il ripascimento in ghiaia subisce notevoli modificazioni. In particolare, si ha un arretramento della linea di riva e la formazione di una alta berma nei pressi della scogliera ade-

rente alla strada litoranea. Nel caso di ripascimento in ghiaia con diametro nel prototipo di 3-4 cm, la berma non riesce a dissipare lo stato ondosso che, insieme a sabbia, raggiunge la strada litoranea.

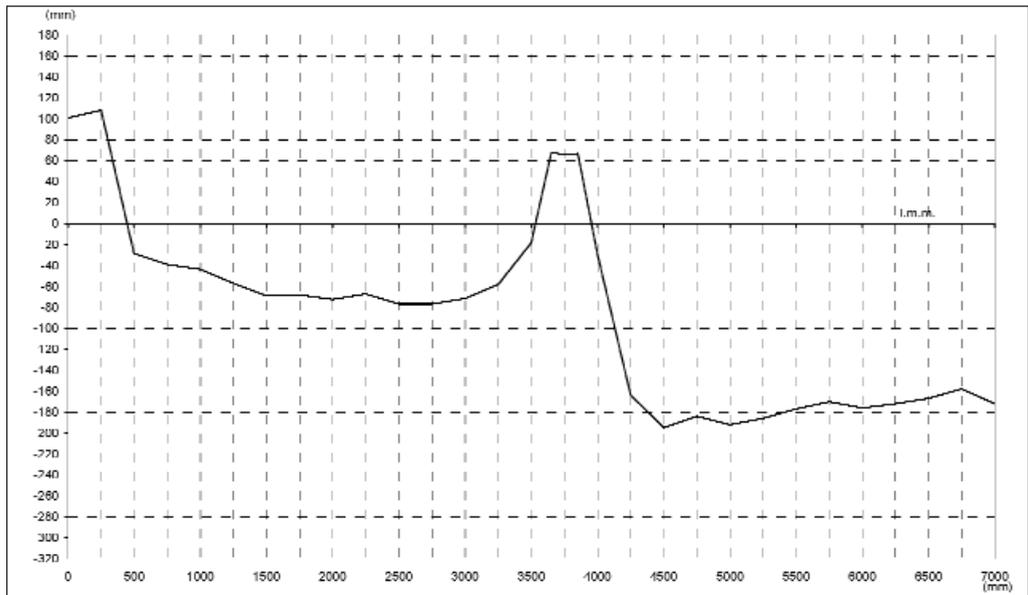


Figura 18 - Profilo, in scala modello, dei fondali dalla strada litoranea alla zona off-shore alle scogliere.

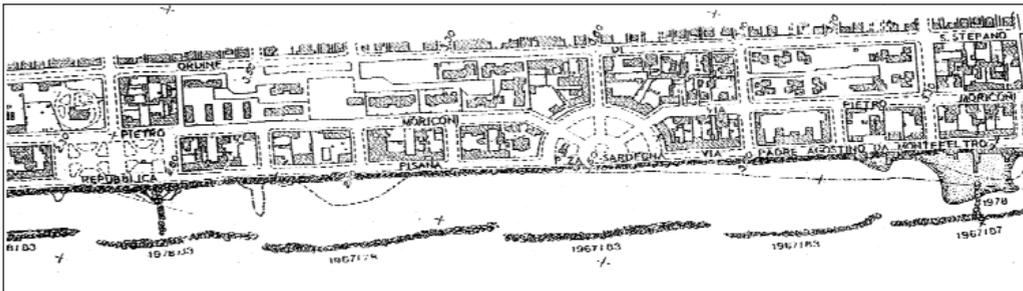


Figura 19 - Pianta dello stato attuale delle opere di protezione.

Visto che con il ripascimento con ghiaia del diametro medio di 3-4 cm, nel prototipo, non si elimina la risalita si sono eseguite altre prove con granulometria media della ghiaia di 5-6 cm, nel prototipo, nel modello 0,4-0,6 cm.

Con questa ghiaia si è visto che in tutte

le sezioni del modello non si ha risalita di acqua, sabbia e ghiaia sulla strada litoranea, figura 24.

L'insieme delle prove eseguite sul Modello hanno mostrato che il ripascimento in ghiaia, per dissipare l'energia del moto ondoso incidente tende ad arretrare verso la

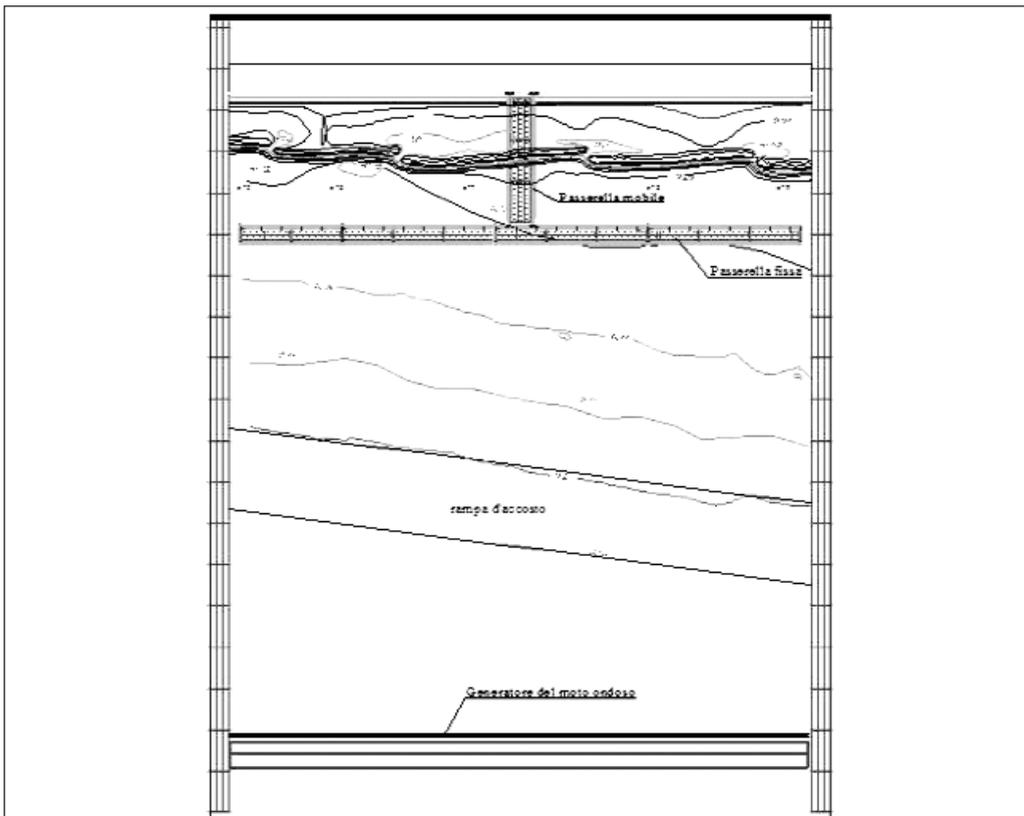


Figura 20 - Pianta del modello realizzato in scala indistorta di 1/30 in analogia di Froude, per riprodurre l'analogia del trasporto solido si è utilizzata l'analogia di Dean, ossia la conservazione del parametro $H/(wT)$, in cui H e T sono rispettivamente l'altezza e il periodo dell'onda a largo e w la velocità di caduta dei sedimenti.



Figura 21 - Modello con la situazione attuale delle opere, si nota la risalita di acqua e sabbia sulla strada litoranea durante un attacco ondososo con $H_s=4,5$ m nel prototipo.



Figura 22 - Modello con la configurazione progettuale: ripascimento con ghiaia con diametro medio di 3 - 4 cm, nel prototipo; si nota il ripascimento, la presenza di sette sommersi ed emersi per il contenimento delle ghiaia e l'abbassamento delle scogliere emerse. Dalla foto è evidente la riqualificazione ambientale che si ha con le opere previste in progetto.

scogliera aderente formando una berma con una altezza abbastanza pronunciata.

Le prove hanno evidenziato che un ripascimento di 100 mc/m di ghiaia con diametro medio di 5-6 cm, in prototipo, è, in generale, efficace, mentre un ripascimento

con ghiaia del diametro medio di 3-4 cm, in prototipo, si hanno tracimazioni sulla strada litoranea nelle prime celle.

Nelle prove è stato constatato che con un forte avvicinamento della cresta della ghiaia alle scogliere e con una sequenza di attacchi ondososi intensi si può determinare lo spianamento della ghiaia e la tracimazione di acqua e ghiaia in alcuni tratti della strada litoranea. Questo risultato indica che dal punto di vista gestionale è necessario che alla fine della stagione invernale, o dopo attacchi ondososi eccezionali, effettuare lo spianamento delle creste delle berme e la risistemazione della sezione del ripascimento.

Purtroppo i risultati del Modello Fisico non sono stati recepiti in pieno nella realizzazione dell'opera; infatti l'appalto dei lavori era stato già avviato prima della fine delle sperimentazioni e questo prevedeva di

realizzare il ripascimento con ghiaia del diametro medio compreso tra 1-3 cm, diametro ritenuto dai progettisti più idoneo per la fruizione della spiaggia. Con l'evento meteomarinario eccezionale verificatosi tra il 4 e il 6 ottobre 2003, altezza d'onda

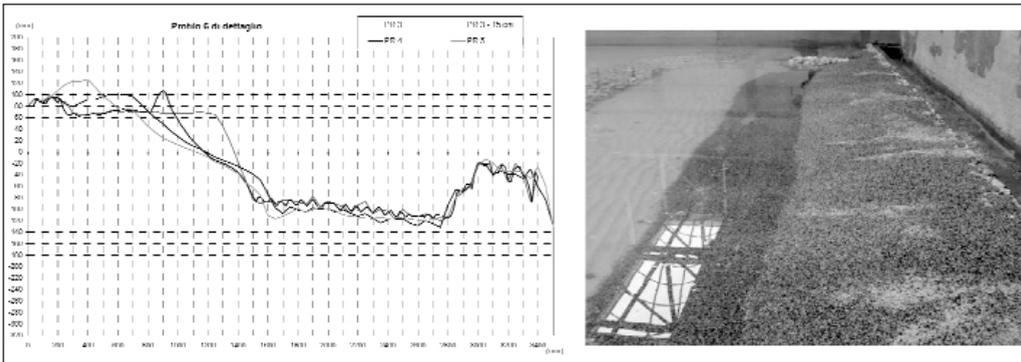


Figura 23 - A sinistra l'evoluzione del profilo di ripascimento con ghiaia del diametro medio di 3 - 4 cm, nel prototipo, con gli attacchi ondosi, PR 3 è il profilo iniziale e PR 5 quello finale. La foto di destra mostra la risalita di acqua e sabbia sulla strada litoranea.

massima a largo misurata dalla boa ondometrica di Ponza di 10 m, si è verificata trascinamento di acqua, sabbia e ghiaia sul lungomare di Marina di Pisa.

Anche in questo caso la Modellistica Fisica ha fornito utili indicazioni ai fini progettuali; purtroppo a causa delle procedure burocratiche non è stato possibile utilizzare i risultati nel modo opportuno.

Il grave è che a causa dei danni procurati dalla mareggiata del 4-6 ottobre 2003 e dalla cattiva informazione fornita agli enti locali sulla gestione dei ripascimenti in ghiaia, vi è diffidenza sull'intervento, anche se obiettivamente il tratto di spiaggia sul quale è stato eseguito il ripascimento ha avuto una buona riqualificazione ambientale e di fruibilità, come mostra la fo-

to della figura 25 ripresa nel giugno 2004.

E' da evidenziare che interventi positivi di ripascimenti con ghiaia in situazioni critiche, impossibilità di realizzare ripascimenti con sabbia - salvo il volerlo fare con danni economici annuali notevoli a causa della perdita di sabbia - sono presenti sia in Italia che all'estero. In Italia: litorale di Fossa Cesia (Chieti) - ripascimento in ghiaia che si estende lungo il Golfo di Venere, compreso tra la Punta del Cavalluccio e la foce del Fiume Sangro -; litorale di Punta Tesorino - a nord di Cecina in Toscana -; ecc. All'estero: tratti del litorale di Nizza. In questi casi l'intervento è stato positivo in quanto i fruitori e gli amministratori locali sono stati informati prima delle limitazioni di un tale tipo di ripascimento: aumento del dia-

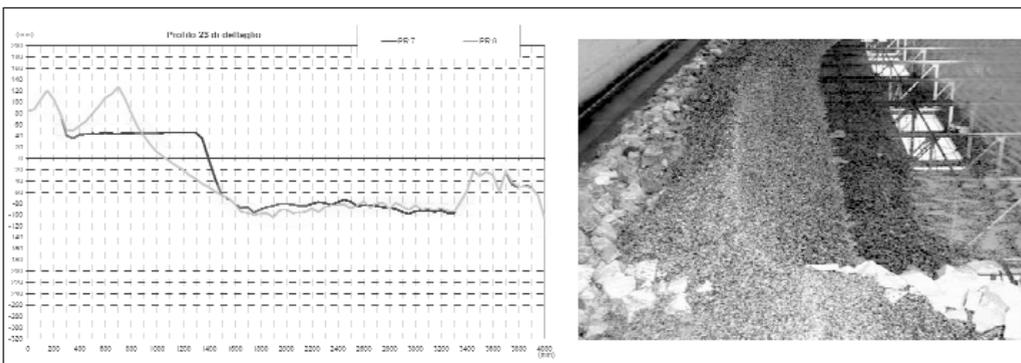


Figura 24 - A sinistra l'evoluzione del profilo di ripascimento in una sezione, con diametro medio della ghiaia di 5 - 6 cm, nel prototipo; il profilo PR7 è quello iniziale e PR8 quello dopo la mareggiata. Si nota la formazione di una berma emersa di ghiaia che riesce ad assorbire l'energia del moto ondoso, questo è anche evidente dalla foto posta a destra dalla quale non si osserva risalita di acqua, sabbia e ghiaia sulla strada litoranea.

metro medio dei ciotoli sull'arenile, che diminuisce la fruibilità della spiaggia, e aumento dei costi di gestione del litorale in quanto annualmente, o dopo mareggiate eccezionali, occorre spianare le berme e riportare il ripascimento alla condizione iniziale.

Alcune considerazioni sulla modellistica matematica

Allo stato attuale non si hanno a disposizione Modelli Matematici che riescono ad interpretare con attendibilità la idrodinamica e l'evoluzione della spiaggia emersa e sommersa in presenza di interventi progettuali del tipo di quelli innanzi esposti e studiati con Modelli Fisici 3D. Occorre però fare il massimo sforzo per aumentare l'affidabilità dei Modelli Matematici esistenti, specie nella zona che dai frangenti va alla linea di riva.

Infatti, per studi su tratti di costa molto lunghi, ove non sono impiegabili i Modelli Fisici, occorre far ricorso ai Modelli Matematici. Per queste applicazioni negli ultimi anni si sono messi a punto una serie di codici di calcolo, da quelli più semplici, "ad una linea", che valutano solo l'evoluzione della linea di riva, ad altri, più complessi, che tendono a determinare anche le variazioni della spiaggia sommersa. Questi modelli sarebbero di estrema utilità in quanto consentirebbero di valutare l'evoluzione di un litorale in condizioni naturali, in presenza di nuove opere a mare o di riduzione dell'afflusso di sedimenti da terra, ecc.

Occorre quindi fare uno sforzo notevole e con un approccio interdisciplinare; si pensi a tutte le problematiche legate alla determinazione degli apporti terrigeni da terra, per migliorarli. Questi modelli, in genere, sono costituiti da tanti submodelli collegati tra di loro; allo stato attuale vi sono dei submodelli abbastanza affidabili (ad



Figura 25 - Foto del litorale di Marina di Massa ripresa nel giugno 2004. Si nota la ghiaia trasportata dalla mareggiata del 4 - 6 ottobre 2003 verso riva, ancora presente tra i massi della scogliera aderente. Si nota, inoltre, la fruizione della spiaggia e un cambiamento positivo dal punto di vista ambientale. Resta però sempre il problema della non corretta protezione idraulica del lungomare, a causa del piccolo diametro medio della ghiaia utilizzata e, forse, anche del volume di materiale messo in opera.

esempio quelli dell'idrodinamica), mentre ne sono altri che devono essere notevolmente migliorati (ad esempio quelli del trasporto solido, dell'afflusso dei sedimenti da terra, ecc.). Essi hanno poi bisogno di una taratura che si può effettuare solo avendo a disposizione serie storiche di dati. Da qui la necessità di raccogliere con sistematicità tutti i dati storici esistenti (quali quelli meteorologici, dell'andamento dell'apporto di sedimenti da terra, cartografici, ecc.) e di attivare sistemi di monitoraggio continui.

Nel 2000 si è impiegato un Modello Matematico "ad una linea" per lo studio dell'evoluzione del litorale della laguna di Varano, figura 26.

I risultati sono stati presentati al 28° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche di Potenza del 2002, (Damiani L. e altri). Nel lavoro, ricostruito il clima anemometrico del paraggio e, quindi, il moto ondoso incidente sulla costa, e reperita la cartografia storica si è determinata l'evoluzione della linea di riva dal 1954 al 2000, ottenendo risultati abbastanza attendibili. Vi è da dire, però, che il tratto di costa non è molto lungo, circa 13 km, ed ha condizioni al contorno abbastanza semplici.

Questo filone di ricerca si sta portando avanti, nell'ambito di un Progetto PON finanziato dal MUR (IMCA, Integrated Monitoring of Coastal Areas), per l'unità fisiografica pugliese che va da Barletta a Manfredonia.

In questa unità fisiografica sfocia il fiume Ofanto ed è presente una infrastruttura portuale, quella di Margherita di Savoia che, come il porto di Carrara, tanti danni ha provocato al litorale negli ultimi cinquanta anni. Infatti, la realizzazione di detta infrastruttura, peraltro ad oggi inutilizzata, con l'intercettazione del trasporto longitudinale

ha determinato un notevole accumulo di sedimenti a levante ed ha innescato un fenomeno erosivo a ponente del porto.

Nella figura 27 è riportata la ricostruzione storica della linea di riva a levante e a ponente del porto di Margherita di Savoia prima e dopo la sua realizzazione.

Nelle foto aeree della figura 28 sono ripresi alcuni tratti di costa a ponente del porto, zona delle saline e di Zapponeta, messi in crisi dalla realizzazione del porto e sulla quale negli anni sono state realizzate la maggior parte delle opere di protezione eseguite in tutta la Puglia nel dopoguerra. L'efficacia delle opere è discutibile; infatti, esse non sono riuscite a contenere l'azione erosiva e in particolari condizioni climatiche con eventi idrologici e meteorologici concomitanti, alcune aree sono esondate, come si vede dalla foto a destra nella figura 28.

Per quanto riguarda la ricerca avviata sulla fascia costiera descritta si è quasi completata la raccolta della cartografia, delle riprese aeree, dei rilievi batimetrici e delle serie storiche dei dati idrologici e di trasporto solido del fiume Ofanto e di altri fiumi minori che sfociano a nord di Margherita di Savoia.

Una prima applicazione del modello "ad una linea" è stata effettuata sul tratto Barletta Margherita di Savoia, ormai divenuta a tutti gli effetti una "unità fisiografica artificiale" in quanto delimitata a levante dal molo del porto di Barletta e a ponente da quello del porto di Margherita di Savoia, trovando risultati incoraggianti.

Si sta completando lo studio del tratto di costa tra Margherita di Savoia e Manfredonia ove però, a causa delle opere di protezione presenti, la simulazione matema-



Figura 26 - Carta IIM del Gargano.

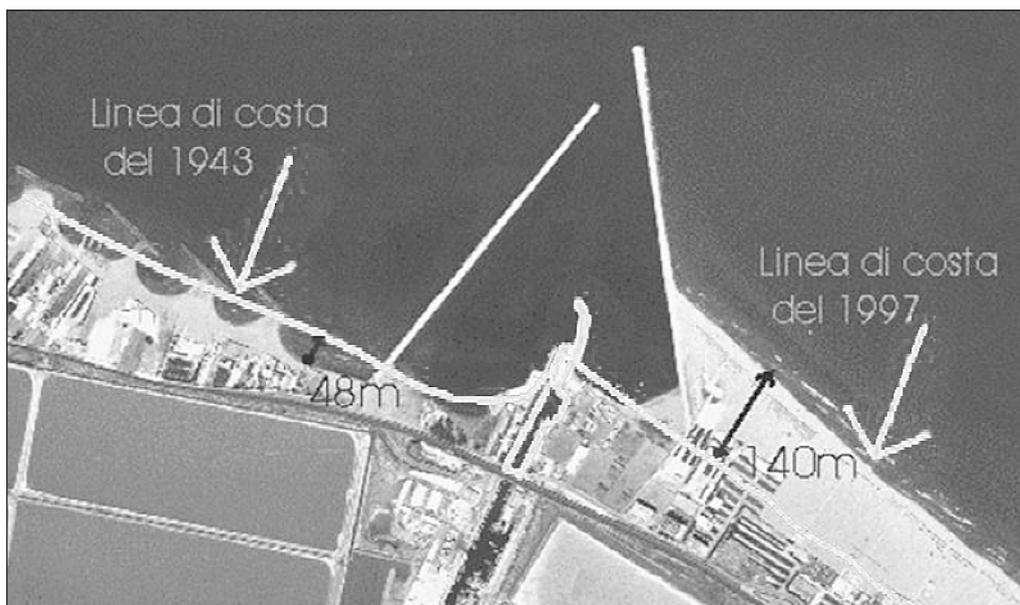


Figura 27 - Costa di Margherita di Savoia, prima e dopo la realizzazione del porto.

tica è più complessa.

Bibliografia

Aiello E., Bartolini C., Caputo G., D'Alessandro L., Fanucci F., Gnaccolini M., La Monica G. B., Lupia Palmieri E., Picazzo M. E Pranzini E., 1995, "Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana fra la foce del fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina", *Boll. Soc. Geol. It.*, 94.

Albani D., Griselli A., Mori A., 1940, "Le spiagge toscane" CNR Istituto di Geografia della Regia Università di Bologna, Tipografia del Senato.

Aminti P. E Pranzini E. 2000; "Indagine sperimentale per la ristrutturazione delle difese di Marina di Pisa"; *Studi Costieri*, 3.

Aminti P., 2004, "Studio su modello fisico per la protezione della costa tra la foce del Lavello e la Torre Fiat", Laboratorio di Idraulica Marittima del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze.

Cipriani E., Ferri S., Iannotta P., Paolieri F., Pranzini E. 2001, Morfologia e dinamica dei sedimenti della Toscana settentrionale, *Studi Costieri*, 4.

Chiaia G., Damiani L., Petrillo A., 1990, "Trasformazioni di un profilo di spiaggia sottile sotto l'azio-



Figura 28 - Tratto del litorale a nord del porto di Margherita di Savoia: si notano le opere di protezione realizzate per contenere l'azione erosiva innescata dalla realizzazione del porto. Nella foto a destra, zona Ippocampo, si vedono aree allagate in concomitanza di un evento meteomarinico e idrologico.

- ne di un ciclo di attacchi ondosi casuali dilunga durata", *XXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Cosenza.
- Chiaia G., Damiani L., Petrillo A., 1992, "Evolution of a beach with and without a submerged breakwater: Experimental result", Venezia, *Proc. Of 23rd ICCE*, 3, 1959-1972.
- Damiani L., Petrillo A. F., Ranieri G. 2002, "L'evoluzione della costa dell'isola del lago di Varano", *XVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche*, Potenza 16-19 settembre 2002.
- Damiani L., Petrillo A. F., Ranieri G., 2002; "Coastal management in Abulia Region", *International Conference on 'Landscapes Of Water: History, Innovation And Sustainable Design'* 26- 29 September 2002, Monopoli (Bari)-Italy.
- Dean R.G., 1973, "Heuristic Model Of Sand Transport In The Surf Zone", *Proc. Of Conf. on Eng. Dynamics in the surf zone*, (1973).
- Hughs S. A., 1983, "Movable Bed Modelling Law For Coastal Dune Erosion", *ASCE Waterway Port Coastal And Ocean Division*.
- Hughs S. A. And Fowler J. E., 1990.; "Validatio of movable bed modelling guidance" *Proc. of 22th Coast. Eng. Conf.* in Delft.
- Hughs S. A. And Fowler J. E., 1990, "Midscale Physical Model Validation for scour at Coastal Structures" *Technical Report CERC 20 - 8 US Army Engineer Waterway Experiment Station*, Vicksburg.
- Kriebel D., Kraus N., C., Larson M., 1991, "Engineering metods for predicting beach profile response", *Proceeding Coastal Sediment*.
- Larson M., Kraus N.C., Sunamura T., 1988., "Beach profile change: morphology, transport rate and numerical simulation", *Coastal Engineerig*.
- Petrillo A. F., 1988, "Evoluzione delle onde di mare su bassi fondali sabbiosi con pendenza variabile". *IX Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana di Meccanica Teorica e Applicata*, Bari, 1988.
- Ranieri G., 1995, "Effetti scala nei modelli costieri", Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Idraulica (Ciclo V), Sede Amministrativa Università di Napoli "Federico II"
- Ranieri G., 1995, "On the influence of some scaling characteristic in coastal Modelling", *Fourth International Conference On Coastal and Port Engineering in Developing Countries*, Rio de Janeiro settembre - .
- Relazione finale della Convenzione "L'esecuzione della sperimentazione su modello fisico tridimensionale delle opere per la protezione del litorale di Marina di Pisa" Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC) del Politecnico di Bari. A cura di Petrillo A.F.,(2002).
- Relazione finale della Convenzione "Studio su modello fisico 3D dell'agitazione ondosa all'interno del bacino del porto di Mola di Bari e analisi sperimentale su modello fisico 2D della stabilità del profilo trasversale di una spiaggia con ripascimento artificiale", Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC) del Politecnico di Bari. A cura di Petrillo A.F., (2004).
- Relazione intermedia della Convenzione "Esecuzione della sperimentazione su modello fisico tridimensionale di alcune opere per la protezione del tratto di costa Porto di Carrara - fiume Frigido- fosso Poveromo - fiume Versilia" Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC) del Politecnico di Bari. A cura di Petrillo A.F. (2006).
- Van Der Meer J., 1992, "Conceptual design of rubble mound brekwaters", *Short Course on design and reliability of Coastal Structures*.
- Vellinga P., 1984, "Discussion on 'Movable bed modelling law for coastal dune erosion', by Hughs S. A."; In: *ASCE Waterway Port Coastal And Ocean Division*.
- Vellinga P., 1988, "Beach and dune erosion during storm Surges", Ph. D. Dissertation, Delft Hydraulics Laboratory, Delft, The Netherlands.

Problematiche bio-ambientali nella movimentazione dei sedimenti costieri

Palma Achille

Direttore Laboratori Chimici, Metapontum Agrobios s.r.l.

Trabace Teresa

Responsabile Unità Ambiente, Metapontum Agrobios s.r.l.

Introduzione

L'erosione delle spiagge determina l'asportazione del materiale sabbioso ad opera delle onde e delle correnti, soprattutto in occasione di mareggiate intense. Tale fenomeno può essere causato da eventi naturali o più frequentemente da interventi effettuati dall'uomo sia sul litorale (quali dighe, costruzioni, strade ecc.) sia sui bacini a monte (ad esempio regimazione dei corsi d'acqua). Nel tentativo di difendere le spiagge dall'erosione, si costruiscono difese artificiali "rigide", come pennelli o barriere di vario tipo; i ripascimenti tuttavia (interventi di tipo "morbido") costituiscono spesso la scelta adottata con maggior frequenza.

La loro efficacia dipende dalle modalità di esecuzione e soprattutto dal tipo di materiale utilizzato. In seguito all'attuale carenza di riferimenti normativi che disciplinano le attività di ripascimento in Italia, la Regione Liguria ha predisposto dei criteri specifici in merito, grazie anche alla notevole autonomia che la legislazione vigente ha concesso alle Regioni.

ARPAL ha messo a punto il protocollo tecnico di supporto alle indicazioni regionali, contenente le specifiche per l'attività di campionamento e valutazione del materiale da destinare a ripascimento. I criteri regionali ed il protocollo ARPAL costituiscono a tutti gli effetti i riferimenti per gli operatori del settore, in merito agli interventi di ripascimento stagionale degli arenili in Liguria. L'ipotesi di intervento discussa nel presente lavoro riguarda la realizzazione di un impianto di risistemazione e protezione a basso impatto ambientale di un tratto del litorale metapontino mediante tecnica di ripascimento senza protezioni al fine di limitare i fenomeni di erosione costiera e proteggere in maniera efficace le strutture

turistiche dell'abitato di Metaponto Lido e l'area della pineta.

Materiali e metodi

Le attività condotte in laboratorio sono state finalizzate alla valutazione qualitativa del tratto di spiaggia da ripascere e a quella delle eventuali cave di prestito a terra (sedimenti fluviali).

Allo scopo sono state eseguite indagini finalizzate alla caratterizzazione chimica, fisica e microbiologica del tratto di spiaggia interessato dall'intervento mediante il prelievo e l'analisi di campioni di sabbia secondo lo schema riportato nella seguente tabella 1.

Sono stati prelevati 64 campioni di sabbia sul tratto di spiaggia di Metaponto per la caratterizzazione chimica e biologica e 36 campioni da una cava di prestito a terra.

Per ogni campione di sabbia sono stati

PARAMETRI
Granulometria
Colore e odore
Sostanza organica
Azoto totale
Fosforo totale
Metalli(Al, As, Cd, Cr totale, Pb, Hg, Ni, Cu, V, Zn)
Pesticidi Organoclorurati
Policlorobifenili
Idrocarburi Policiclici Aromatici
Coliformi totali
Coliformi fecali
Salmonella
Clostridi solfito-riduttori
Test di tossicità (<i>Vibrio fischeri</i> , <i>Dunaliella tertiolecta</i>)

Tabella 1 - Viene qui riportata la tab. 2.1b del Manuale per la movimentazione di sedimenti marini (APAT-2006).

determinati i seguenti parametri chimici e biologici come previsto in tabella 2.1b - *Manuale per la movimentazione di sedimenti marini* (APAT-2006)

Per l'analisi dei metalli in tracce il cam-



Figura 1 - In bianco il tratto da ripascere.



Figura 2 - Tratto di spiaggia di Metaponto in forte erosione.

pione è stato mineralizzato e quindi introdotto in ICP-MS e i risultati sono stati riferiti a quanto previsto dal D.M. 471/99.

Per l'analisi dei PCB e degli IPA sono state utilizzate le metodiche EPA e i risultati sono stati riferiti ai limiti previsti dal D.M. 471/99. I pesticidi clorurati sono stati estratti con solvente e l'estratto è stato sottoposto a cromatografia su colonna per separare i pesticidi dai PCB ed analizzati in gas-cromatografia (GC-MS e GC-ECD).

La valutazione delle caratteristiche granulometriche delle sabbie del litorale interessato (fig.1) è stata eseguita su un numero rappresentativo di campioni prelevati seguendo uno schema casuale. I campioni prelevati sono stati preventivamente quartati e quindi pretrattati con perossido di idrogeno a 16% al fine di eliminare la S.O. e facilitare la separazione dei granuli. Sulla frazione asciutta per almeno 24 ore a temperatura ambiente è stata eseguita la separazione ad umido delle frazioni sabbiosa e fangosa. La frazione fangosa dispersa in acqua è stata raccolta in beker al

fine di recuperare, dopo opportuna sedimentazione, il sedimento. I campioni ottenuti sono stati filtrati, essiccati e pesati a 105 °C per 24 ore. I test ecotossicologici sono stati condotti utilizzando batteri bioluminescenti (*Vibrio fischeri Microtox*), l'alga *Dunaliella tertiolecta* (metodo ICRAM). Le indagini sono state condotte sull'elutriato. L'analisi microbiologica è stata condotta utilizzando i rapporti ISTISAN. 00/14 Pt2 p.361, Metodo IRSA 7010/B, 7020/B, 7040/B, 760/B, Metodo SEF.

Descrizione area di indagine

Il litorale che potrebbe essere interessato dall'intervento di ripascimento è situato all'interno del tratto di costa, ad andamento rettilineo, delimitato dalle foci dei due fiumi compreso tra gli estuari dei corsi d'acqua Basento e Bradano. Si premette che il problema fondamentale per un ripascimento è il reperimento di quantità

PARAMETRO			
	METAPONTO	CAVA	Tab.2.3A- Livello Chimico di Base pelite < 25% - APAT_2006
Elementi in tracce	MEDIA	MEDIA	LCB
	[mg Kg ⁻¹] p.s.	[mg Kg ⁻¹] p.s.	[mg Kg ⁻¹] p.s.
As	4,04	4,10	17
Cd	0,07	0,05	0,2
Cr(tot)	18,45	32,69	50
Cu	2,58	3,37	15
Hg	<0,10	<0,10	0,2
Ni	9,68	21,69	32
Pb	3,25	4,43	25
Zn	3,44	19,77	50

Tabella 2 - Distribuzione elementi in tracce nella spiaggia di Metaponto, nella cava.

idonee e sufficienti di sabbia; allo scopo sono state considerate diverse cave di prestito a terra e tra queste una sola è stata discussa nel presente lavoro.

Risultati

I risultati ottenuti permettono di trarre alcune considerazioni sull'andamento dei parametri chimico-fisici. Per quanto riguarda l'inquinamento da composti chimici, non sono stati segnalati casi di contaminazione, tutti i parametri analizzati rientrano nei limiti previsti dalla normativa in materia di siti contaminati. L'analisi dei composti organo-alogenati e dei PCB ha evidenziato anche per questa classe di sostanze assenza di contaminazione ricondu-

cibile ad attività antropica. Stesso discorso vale per gli idrocarburi le cui analisi hanno evidenziato assenza di contaminazione. I metalli in tracce analizzati sia nella sabbia nativa del sito di Metaponto che nella sabbia di una cava mostrano una tipologia di sabbia sufficientemente paragonabile e soprattutto i valori non superano il Livello Chimico di Base (LCB) secondo ICRAM (Pellegri et al., 2002).

Per quanto riguarda la caratterizzazione fisica dei sedimenti come già detto questa è stata valutata attraverso la determinazione delle principali frazioni granulometriche in % di peso (ghiaia, sabbia, argilla). I risultati sono stati riportati nel grafico rappresentato nella figura 3.

Contestualmente alla caratterizzazione

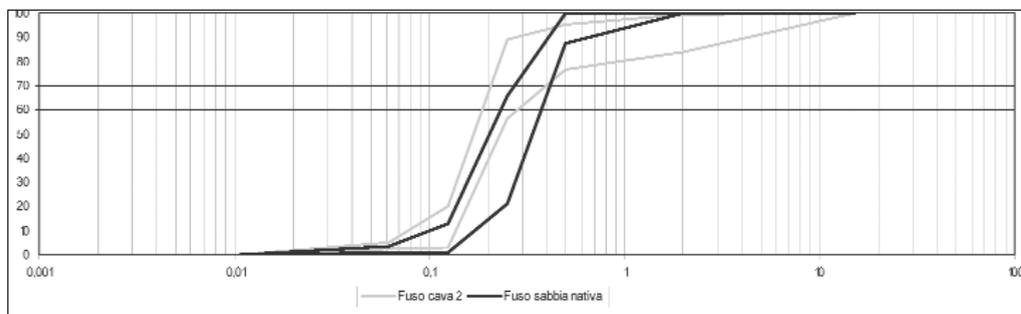


Figura 3 - Confronto dei fusi granulometrici.

chimico-fisica sono state condotte analisi ecotossicologiche che concorrono alla definizione della qualità dei materiali per il rinascimento. Le specie utilizzate sono state l'alga *Dunaliella tertiolecta*, e il batterio *Vibrio fischeri*. In entrambi i casi è stata rilevata una lieve biostimolazione, dimostrando assenza di tossicità.

Conclusioni

Le sabbie analizzate non presentano fenomeni di contaminazione da sostanze antropogeniche. Tutti i parametri analizzati rientrano nei limiti previsti dalla normativa in materia di siti contaminati ex D.M. 471/99 tabella 1 colonna A "Suoli a destinazione residenziale o commerciale". La determinazione granulometrica ha evidenziato che tutti i campioni analizzati presentano una frazione pelitica sotto il 5% indicata dalle linee guida dell'ARPA Liguria come limite per le sabbie destinate a ripascimento di aree sensibili.

Ciò premesso è evidente che l'aspetto più problematico è il ritorno della spiaggia a condizioni morfologiche naturali ed è naturale che qualsiasi intervento proposto necessita di un ampio consenso delle popolazioni. Pertanto il ripascimento non deve essere sicuramente considerato come un intervento risolutivo delle problematiche legate all'erosione costiera, ma come una so-

luzione meno impattante della realizzazione di opere a mare. La creazione di una nuova spiaggia non deve far dimenticare che è necessaria una riqualificazione del territorio circostante e soprattutto quella fluviale in modo che i fiumi lucani possano trasportare sedimenti a mare e quindi reinstaurare quell'equilibrio tra sedimento in ingresso e asportato per effetto dell'erosione marina.

Bibliografia

- Pellegrini D. Et Al., 2002, "Aspetti tecnico-scientifici per la salvaguardia ambientale nelle attività di movimentazione dei fondali marini: dragaggi portuali", *Quaderno Icram*, 1, Icram
- Sbrilli G., 1998, *Metodologia di saggio algale per il controllo dei corpi idrici e delle acque di scarico*.
- Onorati F., Pellegrini D. Et Al., 1999, *Valutazione della tossicità naturale nel saggio microtox in fase solida: la normalizzazione politica*.
- Pennekamp J.G.S., Quaak M.P., 1990, "Impact on the environment of turbidity caused by dredging". *Terra E Acqua*, 42
- Manuale per la movimentazione di sedimenti marini*, 2006, Apat - Icram- Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.
- Istisan. 00/14Pt2 P.361, Metodo Irsa 7010/B, 7020/B, 7040/B, 760/B, Metodo Sef.
- Acid digestion of sediments, sludges and soils*, Epa Method 3050b.
- Inductively coupled plasma - mass spectrometry*, Epa Method 6020.

Il problema dell'erosione dei litorali e le strategie per contrastarla, con considerazioni sull'assetto delle coste ioniche della Basilicata

Francesco L. Chiocci, G.B. La Monica
Università di Roma "La Sapienza"

La corretta gestione dei litorali è un buon paradigma della difficoltà di conciliare i differenti aspetti dello sviluppo economico e sociale di un territorio con la preservazione dell'ambiente e delle sue risorse. Tuttavia i due aspetti non necessariamente debbono essere in conflitto in quanto spesso la comprensione dei processi naturali e l'adattamento alle dinamiche ambientali si rivela essere, nel medio-lungo periodo, la strategia migliore e più vantaggiosa per preservare l'indotto socio-economico derivante dall'ambiente stesso. Nello specifico il litorale è, anche al di là del suo valore naturalistico-culturale, generatore esso stesso di grandi risorse economiche sia dirette sia indirette e quindi potenzialmente capace di provvedere autonomamente al suo stesso recupero e mantenimento.

Le cause dell'erosione dei litorali sono molteplici e complesse; alcune non hanno nulla a che vedere con la gestione specifica di un determinato territorio, ma piuttosto rimandano a mutamenti climatici ed eustatici a scala globale, come dimostra l'intensa erosione costiera che si manifesta fortemente anche in aree geografiche dove nullo o quasi è l'impatto umano diretto. Tuttavia le cause globali innescano processi estremamente lenti e a loro si può ascrivere al più la creazione di un contesto non favorevole, in cui si inseriscono gli effetti indotti da una cattiva gestione del territorio, come dimostrano i drammatici arretramenti subiti dai litorali nelle zone a maggior sviluppo antropico.

Sbarramenti in alveo, stabilizzazione dei versanti, costruzione di opere marittime che alterano la dinamica litorale, ma soprattutto l'urbanizzazione della costa e anche della spiaggia, con distruzione dei cordoni dunari e con l'impossibilità di permettere le normali fluttuazioni decennali/secolari della linea di riva, sono sicuramente i fattori che hanno causato e causano il generalizzato forte re-

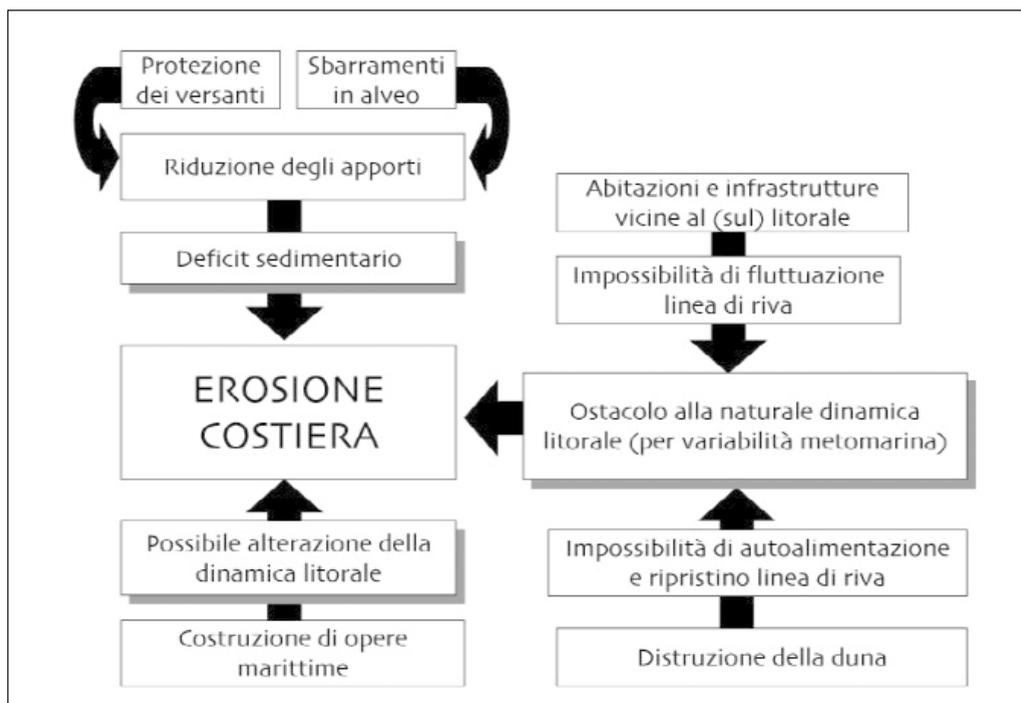


Figura 1 - Cause antropiche dell'erosione costiera.

stringimento (fino alla scomparsa) delle fasce sabbiose, con la messa in crisi dei sistemi ecologici, ma anche sociali ed economici che su di esse si basano (Figura 1).

Soluzioni radicali del problema non sono ipotizzabili in quanto non è proponibile la riduzione della protezione dal dissesto idrogeologico, né lo spostamento di agglomerati antropici ormai insediati stabilmente sulla costa; sono solo possibili contromisure che il potere politico e le competenze tecniche possono mettere in atto per contrastare/limitare le perdite di litorale e, conseguentemente, di risorse.

Se per tutta la seconda metà del XX secolo le contromisure si sono basate sul concetto di costruzione di opere di difesa che riducessero le perdite o fermassero il processo di erosione, negli anni novanta (almeno in Italia, altrove questo era già successo da tempo) ci si è però resi conto che il rimedio era spesso peggiore del male e a fronte di vantaggi a breve termine si aveva un deterioramento a scala regionale nel medio-lungo periodo.

Per l'ambiente litorale si usa infatti spesso l'immagine del fiume di sabbia, per indicare come la dissipazione del moto ondoso (cioè di un'enorme quantità di energia accumulata nel corso di giorni o settimane per decine o centinaia di chilometri e che deve disperdersi in pochi metri o decine di metri nell'arco di alcuni secondi) avviene attraverso la mobilitazione di ingentissime quantità di sedimento incoerente, cioè di sabbia che incessantemente si muove parallelamente e trasversalmente alla linea di riva, per azione delle forti correnti indotte dal moto ondoso. Questo sistema è estremamente dinamico ed in costante movimento, con un proprio equilibrio naturale basato su un bilancio del sedimento che entra e che esce dal sistema stesso; la sottrazione, quasi sempre di origine antropica, di una voce positiva (ad es. diminuzione dell'apporto solido dei fiumi) o l'aggiunta di una voce negativa (ad es. la costruzione di un'opera costiera che intrappoli altrove sedimento) provocano l'alterazione dell'equilibrio e la conseguente

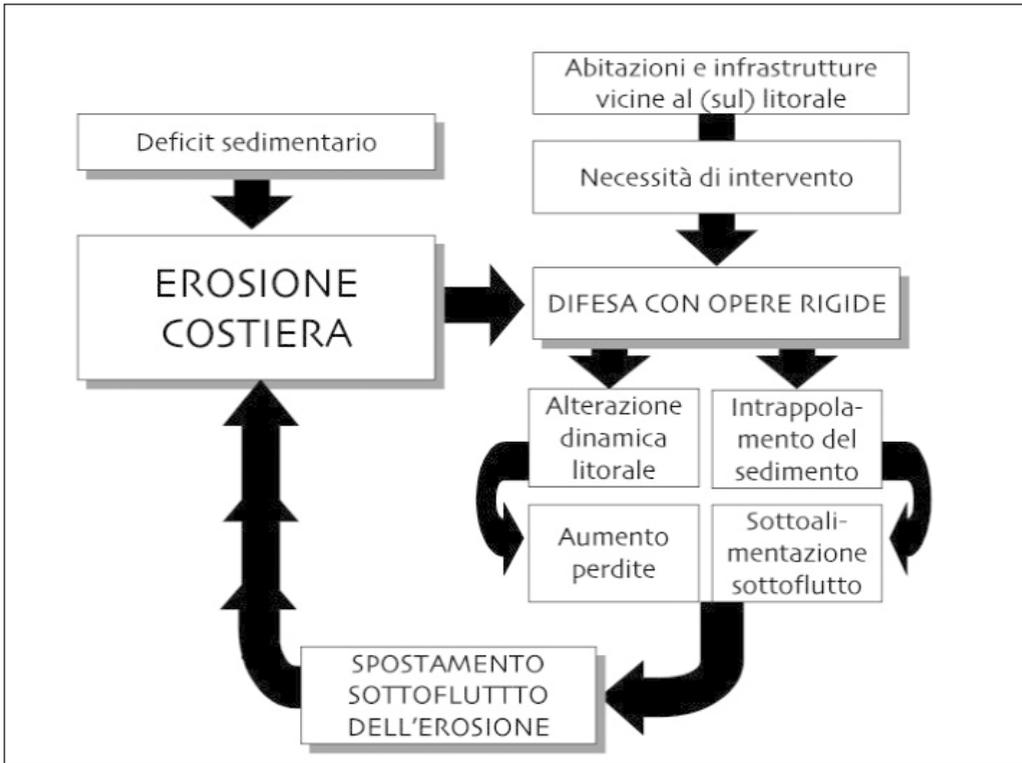


Figura 2 - Strategia di difesa del litorale con opere rigide (pennelli e frangiflutti).

erosione del litorale sabbioso. E' proprio il fatto che sia il bilancio sedimentario a governare il sistema che rende inutile nel medio-lungo termine la costruzione di opere di difesa che blocchino o attenuino la dinamica litorale. L'attenuazione dell'erosione avviene infatti sempre a spese del tratto di litorale immediatamente sottoflutto; qui l'equilibrio del sistema viene alterato, il bilancio sedimentario diviene ancora più negativo e il risultato è uno spostamento dell'erosione nel tempo e nello spazio, con la necessità di costruire opere di difesa che mitigano i danni causati da altre opere e che a loro volta genereranno danni che necessiteranno di mitigazione (Figura 2).

Questo processo a catena ha portato alcuni tratti di litorale, spesso i più pregiati turisticamente, a essere costituiti da una teoria ininterrotta di pennelli e barriere frangiflutti, con deterioramento significativo della qualità paesaggistica e spesso sanitaria del litorale. Purtroppo non esiste

una soluzione perfetta del problema "erosione dei litorali" nel medio periodo, ma una saggia amministrazione del territorio può proporre soluzioni che affrontino il problema dal punto di vista dell'adattamento e non del contrasto ai processi naturali e che, almeno, non peggiorino il sistema complessivo.

E' questo il caso del ripascimento artificiale dei litorali, cioè del versamento sulle spiagge di sabbie prelevate altrove che compensino i mancati apporti o le perdite del sistema, senza produrre effetti negativi sui litorali limitrofi. Il versamento di sedimenti ripristina momentaneamente il bilancio sedimentario ma, non agendo sulle cause, non risolve il problema del deficit di sabbia del litorale, che quindi andrà incontro nuovamente ad erosione e alla necessità di nuovi interventi di ripascimento (Figura 3). Tuttavia le "perdite" del sedimento versato andranno a vantaggio dei litorali sottoflutto e della porzione sommer-

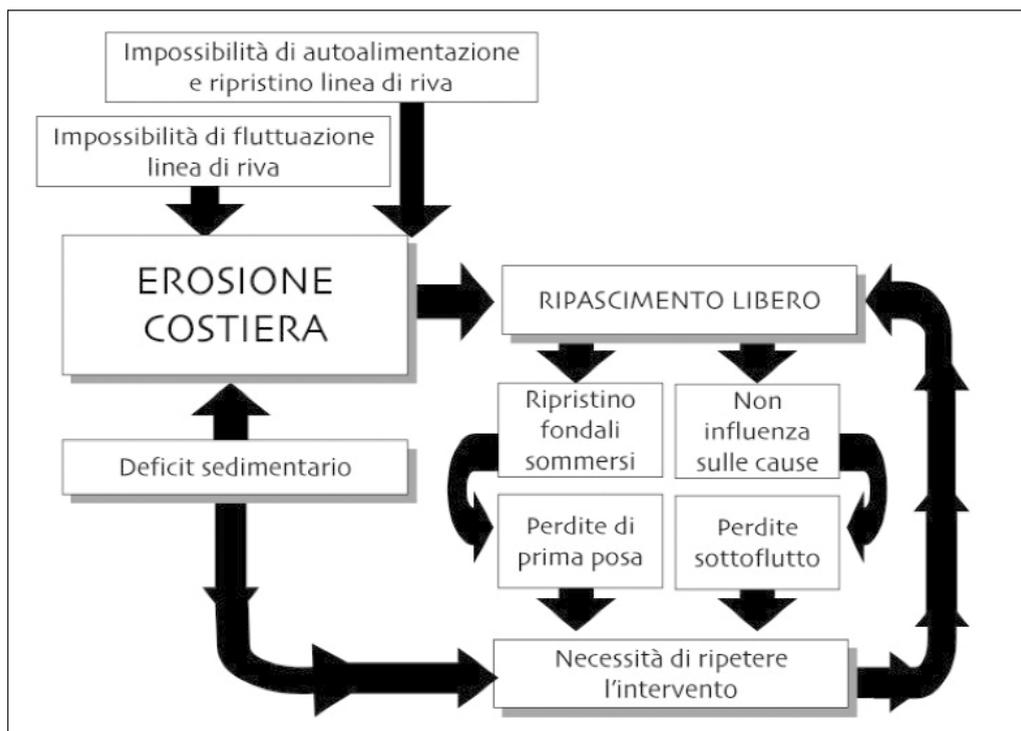


Figura 3 - Strategia di difesa del litorale con opere di ripascimento libero (non protetto da opere rigide).

sa della spiaggia. Infatti l'arretramento della linea di riva è affiancato e spesso preceduto da un significativo approfondimento dei fondali antistanti. La perdita di sabbia che si verifica sulle spiagge ricostruite, spesso avviene proprio per ricostruire il profilo di equilibrio della spiaggia sommersa e tale processo, ancorché non visibile e di difficile monitoraggio, è di fondamentale importanza per ridurre il tasso di erosione della spiaggia emersa, essenzialmente aumentando la dissipazione dell'energia del moto ondoso nella zona dei frangenti.

A questo proposito è opportuno spendere una parola in merito ai cosiddetti ripascimenti protetti, in cui il versamento di inerte sulla spiaggia viene "protetto" da pennelli o frangiflutti, o combinazioni di entrambi. A parere di chi scrive, dal punto di vista del bilancio sedimentario, questi interventi sono da considerare come opere rigide arricchite di sedimento per favorire la balneazione ma, per quanto detto pri-

ma, hanno poco a che fare con il ripascimento inteso come strategia di medio-lungo periodo e con la rinaturalizzazione delle spiagge.

Il ripascimento tuttavia è un intervento ad alto costo (costo tuttavia spesso comparabile con quello di alcune difese rigide) e quindi non è perseguibile il ripristino ovunque del bilancio sedimentario alterato dall'antropizzazione. La soluzione andrà quindi probabilmente cercata nell'abbandono della difesa di litorale da considerare "spendibili"; tuttavia, per tratti anche ampi di litorale, è ipotizzabile che il beneficio in termini socio-economici dell'ampliamento della spiaggia possa generare le risorse utili per operazioni necessariamente massicce di ripascimento artificiale.

La necessità di quantità elevatissime di sedimento impone la ricerca di depositi di sabbie relitte sui fondali marini. Questi, infatti, hanno dimensioni tali (centinaia di milioni di metri cubi) da poter essere sfrut-

tati con strategie di lungo periodo; sono costituiti da sabbie in genere simili per composizione e granulometria a quelle dei litorali attuali; sono di costo inferiore (se estratte in grande quantità) rispetto alle sabbie provenienti da cave terrestri; il loro sfruttamento, infine, ha un impatto ambientale più modesto rispetto a quello prodotto dall'asporto di sabbie in terra ferma non tanto e non solo per il minor dissesto idrogeologico e paesaggistico, ma anche perché trasporto e messa in opera sono meno onerosi per il territorio.

La situazione del litorale ionico della Basilicata è la seguente: l'assetto geologico regionale determina apporti molto alti da parte dei numerosi corsi d'acqua che drenano la Fossa Bradanica. L'equilibrio naturale dei litorali prevede questi apporti, che invece sono drasticamente diminuiti, per cause "inevitabili" con il nostro modello di sviluppo (sbarramenti in alveo, protezione dei versanti). L'erosione costiera è, e sempre più sarà, quindi un problema molto grande del litorale ionico della Basilicata.

L'assetto morfosedimentario e stratigrafico della piattaforma continentale, investigata negli ultimi anni con grande dettaglio, è purtroppo estremamente sfavorevole: gli alti tassi di sedimentazione hanno infatti causato nell'Olocene la deposizione di una potente coltre pelitica su tutta la piattaforma, che ha ricoperto e reso inutilizzabili gli eventuali depositi sabbiosi potenzialmente favorevoli al prelievo di inerti per il ripascimento. Inoltre la presenza di testate di canyon molto prossime alla linea di riva potrebbe sottrarre sedimento al litorale, contribuendo così a rendere strutturalmente negativo il bilancio sedimentario dei litorali.

Tuttavia lo stesso assetto geologico regionale che produce la situazione sopra descritta, è responsabile della formazione di potenti unità sabbiose e sabbioso-ghiaiose presenti nell'immediato entroterra (terrazzi costieri di età pleistocenica), che potrebbero fornire inerte per operazioni di ripascimento artificiale dei litorali.

D'altra parte il litorale lucano è relati-

vamente poco antropizzato (rispetto alla media dei litorali italiani) e, anche per questo, non ancora irrigidito ed invaso da opere di difesa rigide. La situazione si presta quindi a trarre vantaggio dall'esperienza (negativa) maturata in Italia nella difesa dei litorali con opere rigide. Una corretta gestione della fascia costiera dovrebbe quindi da una parte cercare di limitare l'erosione, dall'altra evitare interventi di difesa che inducano un deterioramento dell'ambiente litorale.

Per quel che riguarda la limitazione dell'erosione e dei suoi effetti, i rimedi sono quelli "classici": 1) adottare opere di sbarramento degli alvei fluviali che permettano il passaggio di almeno una parte del trasporto di fondo, 2) preservare la duna costiera, serbatoio naturale di sabbia per il ripascimento naturale delle spiagge, 3) evitare di costruire opere che alterino i processi di deriva litorale ed inneschino il meccanismo di erosione/protezione/spostamento dell'erosione, 4) evitare di irrigidire la linea di riva con costruzioni troppo prossime alla spiaggia, per permettere le naturali fluttuazioni della linea di riva stessa.

Tuttavia per quanto prima accennato l'erosione costiera è un problema inevitabile, con cui la Basilicata dovrà confrontarsi sempre di più nel futuro, con opere di contrasto che però, a parere di chi scrive dovrebbero: 1) evitare o limitare il più possibile l'utilizzo di opere rigide, accompagnate o meno da operazioni di ripascimento; 2) prevedere la presenza di tratti di costa "spendibili" ossia dove l'azione erosiva del mare non venga contrastata; 3) prevedere, nei tratti di costa di maggior pregio, interventi di ripascimento che ripristinino (solo localmente e temporaneamente, sia ben chiaro) il bilancio sedimentario. Tali interventi andrebbero ripetuti nel tempo in quei tratti di litorale in grado di produrre le risorse economiche per il loro mantenimento ed andrebbero accompagnati da operazioni di monitoraggio e di manutenzione il cui onere dovrà essere previsto e programmato già al momento di decidere il primo intervento.

L'interrimento degli invasi ed eventuale utilizzo dei sedimenti per il ripascimento costiero

B. Molino

Dipartimento di ingegneria e Fisica dell'Ambiente
Università degli Studi della Basilicata

1. Introduzione

Il Decreto Ministeriale del 30/06/2004, in applicazione dell'art. 40 del Decreto Legislativo 152/99, prevede la redazione del "Piano di Gestione" di un invaso con la caratterizzazione quantitativa e qualitativa dei sedimenti depositatisi nonché un eventuale progetto di rimozione, trattamento (se necessario) e possibile utilizzo del materiale rimosso. Pertanto può risultare indispensabile individuare un possibile uso di sedimenti in relazione alle loro caratteristiche chimiche, fisiche, microbiologiche e granulometriche e alla fattibilità tecnica, economica ed ambientale dell'utilizzo stesso.

Il presente lavoro si propone di fornire indicazioni su un possibile utilizzo di sedimenti lacuali per il ripascimento di tratti di costa in erosione. Allo scopo si propongono i risultati preliminari conseguiti per l'invaso di San Giuliano sul fiume Bradano (Basilicata), oggetto, nel 2002, di una campagna di campionamenti effettuati in zone dell'invaso rese accessibili dal basso livello idrico e finalizzata alla caratterizzazione dei sedimenti. Contestualmente è stata effettuata una campagna di campionamento delle sabbie presenti nel tratto di costa ionica compreso tra le foci dei fiumi Bradano e Basento, interessato, a partire dagli anni Cinquanta, da un graduale processo di erosione.

L'obiettivo è di porre a confronto i sedimenti sabbiosi dell'invaso con quelli presenti sul litorale ionico, ai fini della identificazione di una loro eventuale compatibilità; sarà inoltre effettuata una preliminare analisi economica dei costi e dei benefici che deriverebbero dall'utilizzo di detti sedimenti per il ripascimento del litorale.

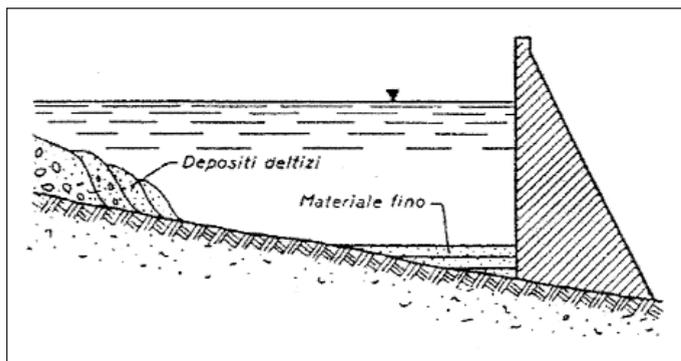
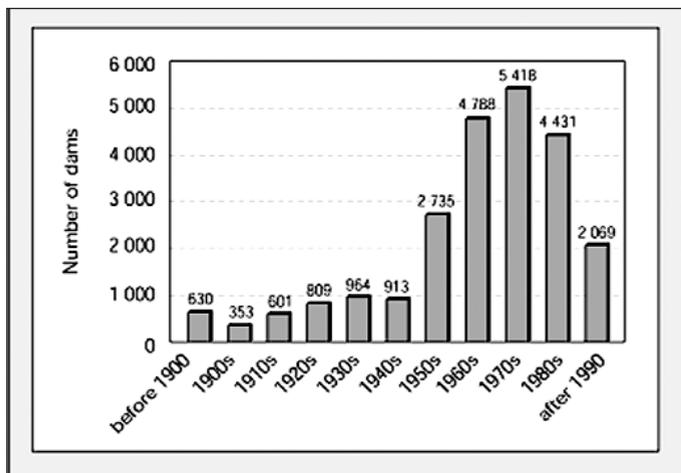


Figura 1 - Processo di interrimento.



Source: ICOLD, 1998, excluding over 90% of large dams in China.

Figura 2 - Numero di dighe costruite nel mondo.

2. L'interrimento degli invasi

Il fenomeno dell'interrimento degli invasi artificiali è una diretta conseguenza della presenza, in alveo, di un'opera di sbarramento (diga o traversa) del corso d'acqua (Figura 1). Il materiale solido che nel tempo si accumula sul fondale degli invasi deriva dall'erosione superficiale e di massa nel bacino sotteso dallo sbarramento; l'entità e la velocità di accumulo dipendono dalle caratteristiche idrologiche e geo-morfologiche del bacino sotteso.

A livello mondiale, come si può osservare in figura 2, negli anni Settanta si è avuto il picco nel numero di dighe costruite an-

nualmente, mentre nel territorio europeo tale picco si è avuto circa 10 anni prima (Figura 3).

Nell'istogramma in figura 4 è riportata una distribuzione per classi della capacità complessiva delle dighe; come si può osservare la maggior parte delle dighe ha un volume utile inferiore ai 100 milioni di metri cubi. Pertanto, per affrontare il problema dell'interrimento a livello globale è necessario trovare efficaci soluzioni che siano utilizzabili soprattutto su dighe di dimensioni medio-piccole.

Il tasso complessivo di interrimento, a livello mondiale, secondo le stime già indicate dalla Banca Mondiale, si aggira intorno all'1%. Una stima dedotta globalmente però, è poco indicativa delle singole realtà dato che il problema "interrimento" si presenta estremamente complesso e notevolmente variabile al variare del bacino considerato.

Nella figura 5 sono riportati dati relativi ad un campione di 47 dighe; in ascissa è riportata "l'età della diga" e in ordinata la percentuale di capacità perduta per interrimento; come si può notare i dati risultano molto dispersi nel diagramma e non bene interpretabili né con una legge di crescita lineare né di altro tipo. Si può pertanto affermare che: non esiste una correlazione tra anni di esercizio e interrimento medio annuo.

L'analisi condotta da Tomasi (Tomasi L., 1986) su un campione di 268 dighe italiane con età media di circa 50 anni ha evidenziato che già venti anni fa, risultava che:

- l'1.5% delle dighe considerate erano pressoché riempite di sedimenti;

- il 4.5% presentava una riduzione della capacità utile superiore al 50%;
- il 17.5% presentava una riduzione di capacità di circa il 20%;
- mentre la restante parte non destava preoccupazioni dal punto di vista della riduzione della capacità che risultava essere mediamente pari al 4%.

È evidente come oggi, dopo circa 20 anni, il quadro sia ancora più preoccupante.

A fronte di questa progressiva perdita di capacità di invaso, che in taluni casi si presenta come drammatica, i limiti alle possibilità di realizzazione di nuovi impianti sono andati via via crescendo sia perché la normativa ambientale è diventata sempre più rigida nella valutazione dell'impatto ambientale sia perché i siti ottimali ancora disponibili sono progressivamente diminuiti. L'indicazione già emersa di dedicare la quasi totale attenzione, anche dei ricercatori, alla gestione degli invasi e quindi dei sedimenti, è oggi più che mai valida sia in Italia che nel resto del mondo.

3. L'invaso di San Giuliano: aspetti geologici del bacino, dati di interrimento e attività di campionamento

L'invaso di San Giuliano, costruito nel periodo 1950 - 1955, sottende un bacino di 1631 Km² con uno specchio d'acqua di circa 11 Km². Il volume utile definito alla data di entrata in esercizio era di circa 107 Mm³.

La natura geomorfologica del bacino sotteso dallo sbarramento (Figura 6), evidenzia la presenza di depositi sabbiosi per

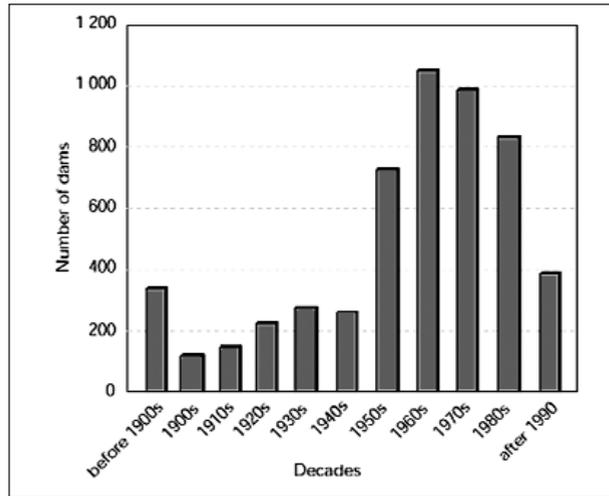


Figura 3 - Numero di dighe costruite in Europa.

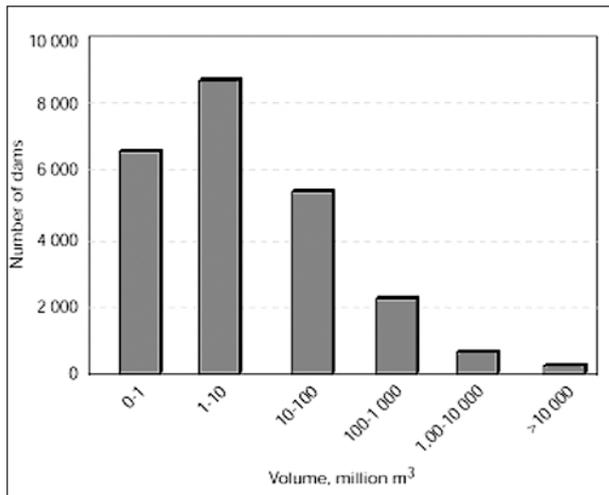


Figura 4 - Distribuzione per classi di capacità idrica delle dighe nel mondo.

non meno del 20% dell'intera superficie del bacino (Cotecchia V., 1956; Spilotro G. et al., 1999).

Il rilievo batimetrico effettuato nel 1977 ha permesso di stimare un volume di interrimento pari a circa 15 Mm³ con un valore medio annuo di circa 550000 m³/anno; stime successive (Bruno F. et al., 2002) portano il volume di sedimenti a circa 22 Mm³ con una riduzione dell'interrimento medio annuo a 450000 m³/anno.

Nel 2002 sono stati effettuati dei cam-

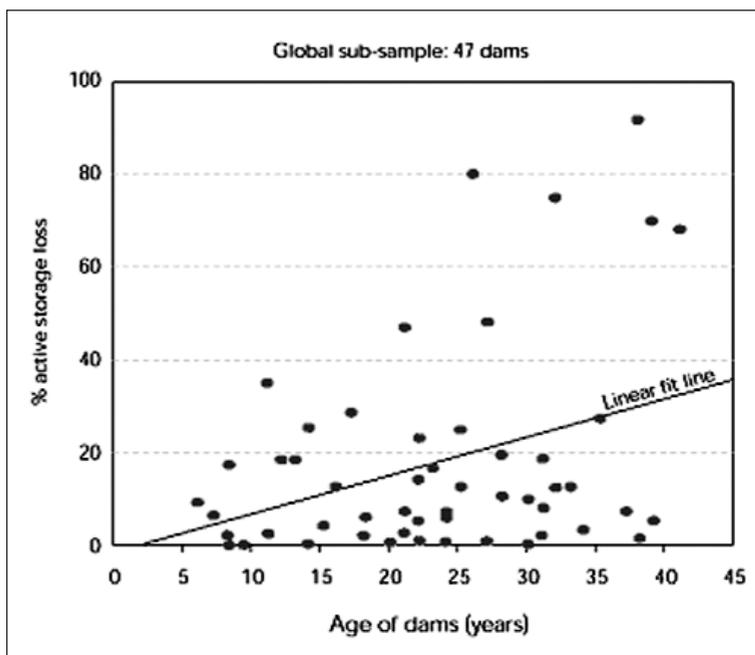


Figura 5 - Tasso di interrimento medio annuo di un campione di 47 dighe italiane.

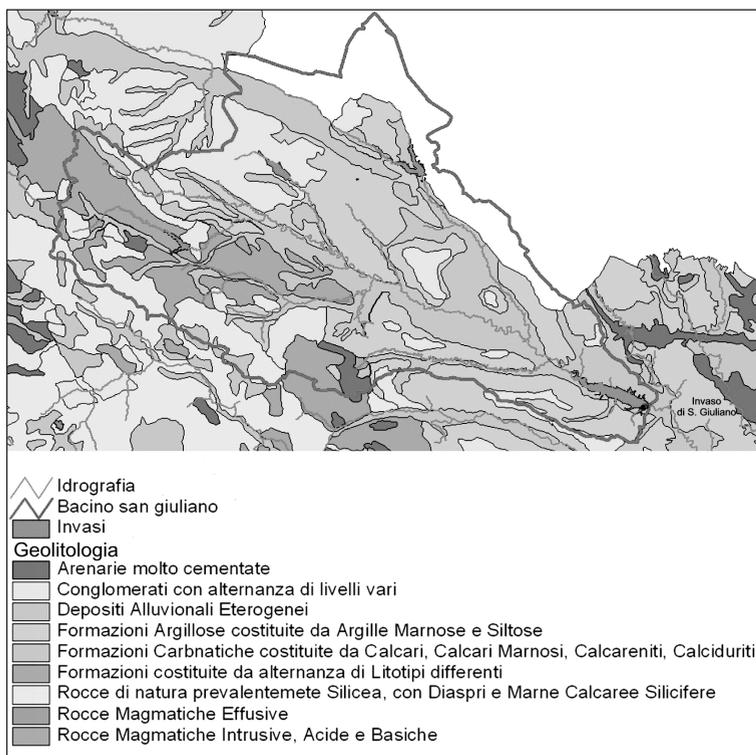


Figura 6 - Geologia del bacino sotteso dalla diga di San Giuliano.

pionamenti superficiali di sedimento in corrispondenza della sponda sinistra dell'invaso, in zone a ridosso dello sbarramento, rese accessibili dal basso livello idrico conseguenza di un periodo particolarmente siccitoso. Sui 5 campioni prelevati (Figura 7) sono state effettuate analisi granulometriche dalle quali si evidenzia l'elevato contenuto in sabbia, con un valore di D_{50} pari a 0,2 mm, praticamente uguale per tutti i campioni prelevati. In figura 8 è indicativamente rappresentata una delle cinque curve granulometriche ottenute.

Il processo di sedimentazione, che determina il deposito di particelle con dimensioni sempre più piccole a partire dall'ingresso all'invaso sino allo sbarramento, associato alla natura dei complessi geologici presenti nel bacino sotteso dalla diga di San Giuliano, rendono plausibile la possibilità di ritrovare più a monte dei siti campionati, sabbie con $D_{50} > 0,2$ mm.

Tenuto conto della preliminare analisi granulometrica effettuata sui campio-

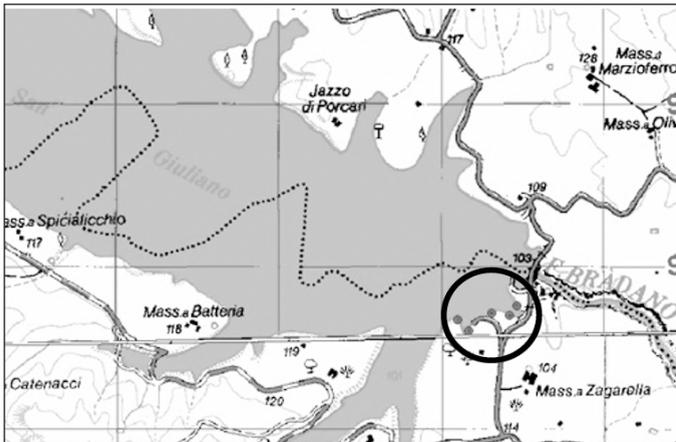


Figura 7 - Campionamenti effettuati nell'invaso di San Giuliano.

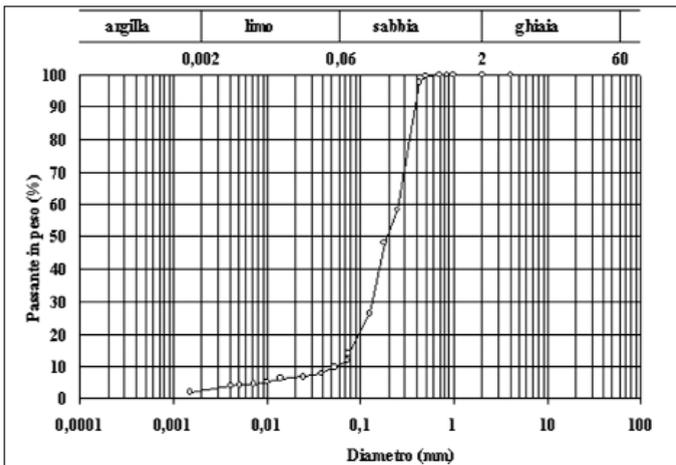


Figura 8 - Curva granulometrica indicativa.

ni di sedimento raccolti nel 2002, risulta auspicabile una nuova e più approfondita campagna di monitoraggio al fine di pervenire alla determinazione:

- del volume dei sedimenti e del relativo spessore nonché la loro dislocazione spaziale all'interno dell'invaso, attraverso l'utilizzo di tecniche di monitoraggio batimetrico e all'uso combinato di rilievi stratigrafici;
- delle caratteristiche chimiche, fisiche, microbiologiche, granulometriche ed ecotossicologiche (Lucignani M., 2002) del sedimento lacuale, attraverso una accurata campagna di campionamento sia superficiale che profondo.

Lo scopo è di verificare la presenza dei volumi di sedimenti necessari e i requisiti di compatibilità che renderebbero utilizzabili i sedimenti sabbiosi dell'invaso ai fini del ripascimento del litorale, fornendo, nel contempo, dati comunque indispensabili per la redazione del piano di gestione.

4. La costa ionica lucana: evoluzione morfologica del litorale e caratterizzazione delle sabbie nel tratto di costa tra le foci dei fiumi Bradano e Basento

La linea di costa è caratterizzata da aspetti di equilibrio dinamico, influenzati tanto da fenomeni a scala planetaria (cambiamenti climatici, variazioni di livello del mare, movimenti tettonici) quanto da fenomeni a scala locale (pressione antropica). Esiste pertanto una forte reciprocità tra un bacino idrografico e il tratto di costa in cui il fiume sfocia (Spilotro et al., 2004).

Gli studi dell'evoluzione del tratto di costa ionica lucana (Amatucci F. e Mauro A., 2003; Mauro A., 2004; Spilotro G. et al., 1998 e 2004) effettuati anche attraverso il confronto di rilievi cartografici eseguiti in epoche diverse, evidenziano un progressivo arretramento della costa a partire dal 1949. In particolare nella tabella 1 sono ri-

portati i dati di arretramento/avanzamento riferiti a diversi periodi, determinati in corrispondenza di sub-unità delimitate dalle foci dei principali fiumi della Basilicata.

Come si può osservare dalla tabella, il tratto di costa compreso tra le foci dei fiumi Basento e Bradano, è l'unico caratterizzato, a partire dagli anni Cinquanta, sempre da fenomeni di arretramento, con valori, relativi all'ultimo periodo, anche superiori a 3 metri. Può risultare auspicabile

per il suddetto tratto costiero, un intervento di ripascimento combinato con interventi di salvaguardia del litorale.

L'ipotesi di un intervento di utilizzo delle sabbie dell'invaso di San Giuliano per il ripascimento, richiede una preliminare verifica di compatibilità tra i sedimenti dell'invaso e le sabbie di litorale. Contestualmente al prelievo di sedimenti lacuali è stato effettuato un prelievo di campioni lungo tutta la fascia costiera compresa tra le foci dei fiumi Bradano e Basento (Figura 9). In particolare, sul tratto di costa in esame, lungo 7 Km, sono stati scelti 15 siti, prelevando per ogni sito, 3 campioni. Particolare attenzione è stata posta al prelievo di campioni in corrispondenza delle due foci, come evidenziato in figura 10 e 11.

Anche per tali campioni è stata effettuata una analisi granulometrica che evidenzia, per tutti, un sedimento sabbioso con un D_{50} medio pari a 0,33 mm. In figura 12 è rappresentata una delle curve granulometriche determinate sui 45 campioni prelevati.

Unità costiera	Periodo 1949-1976	Periodo 1976-1987	Periodo 1987-1997
S-W Sinni	+3,05	-1,25	-0,34
Sinni/Agri	+2,33	-4,75	-2,50
Agri/ Cavone	+0,59	+1,47	-2,60
Cavone/Basento	+0,93	+2,99	-0,12
Basento/Bradano	-1,90	-1,26	-3,17
N-E Bradano	+1,40	+0,58	-0,17

Segno +: avanzamento in metri Segno -: arretramento in metri

Tabella 1 - Avanzamento/arretramento della linea di costa ionica lucana.



Figura 9 - Prelievo dei campioni in corrispondenza della foce del fiume Bradano.

5. Utilizzo di giacimenti sabbiosi per il ripascimento delle coste: operazioni di sfangamento e trasferimento dei sedimenti

Le operazioni di sfangamento e di trasferimento dei sedimenti possono avvenire secondo diverse mo-

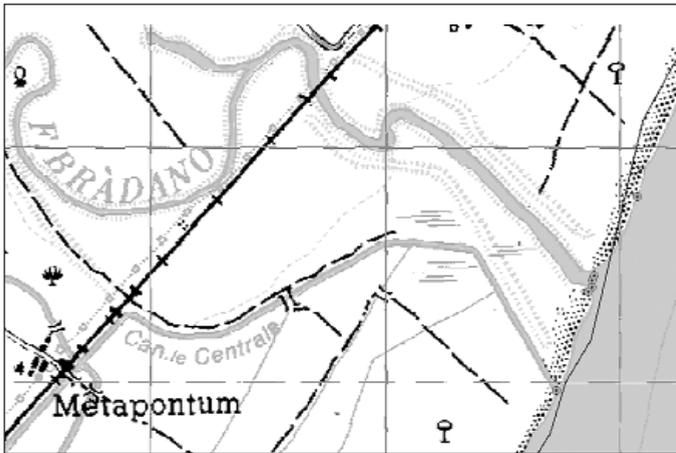


Figura 10 - Campionamento effettuato in corrispondenza della foce del fiume Bradano.

dalità in ragione della fattibilità tecnica ed economica allorché sia stata verificata la loro compatibilità attraverso analisi chimiche, fisiche, granulometriche, microbiologiche e test di ecotossicità con le sabbie del litorale. Si riportano di seguito le metodologie possibili per la rimozione del sedimento sabbioso e il loro successivo trasferimento al litorale per il ripascimento (Molino B., 2004; Molino B. e Biscione A., 2004):

- a) rimozione del sedimento con mezzi meccanici in occasione di livelli di invaso bassi che consentano l'operatività di tali mezzi e il trasferimento al litorale tramite mezzi gommati;
- b) rimozione per idrosuzione che può essere eseguita anche ad invaso pieno, stoccaggio e trasferimento con mezzi gommati;
- c) rimozione tramite idrosuzione e trasferimento tramite un lungo sifone che convogli la miscela acqua-sedimento direttamente sulla costa; questa operazione risulta economicamente fattibile qualora fra invaso e costa vi sia una distanza contenuta;
- d) rimozione del sedimento tramite benna o draga e reimmissione sostenibile dei sedimenti in alveo, qualora le condizioni di trasporto solido consentano il trasferimento al litorale dei sedimenti, garantendo nel contempo le condizioni di equilibrio dell'ecosistema in alveo a val-

le dello sbarramento.

Le prime tre metodologie hanno tempi di attuazione dell'ordine di alcune mesi, mentre l'ultima può presentare tempi di attuazione sensibilmente superiori ed è attualmente oggetto di approfonditi studi, giacché la sua applicazione è legata agli aspetti di compatibilità ambientale dell'ecosistema vallivo e dalla capacità reale di trasporto solido del tratto di fiume a valle dello sbarramento.

6. Utilizzo di giacimenti sabbiosi dell'invaso di San Giuliano per il ripascimento della costa tra le foci Bradano e Basento: analisi economica preliminare

Come già detto in precedenza, la natura geomorfologica del bacino di San Giuliano e i naturali processi di sedimentazione all'interno dell'invaso artificiale rendono plausibile la possibilità di trovare giacimenti sabbiosi idonei e quantitativamente sufficienti all'utilizzo per il ripascimento. Le future attività di monitoraggio batimetrico e stratigrafico nonché di caratterizzazione, potranno chiarire sia la disponibilità volumetrica delle sabbie dell'invaso sia l'eventuale loro compatibilità con quelle del litorale tra i fiumi Bradano e Basento.

Qui, una volta ipotizzato che i volumi siano sufficienti e che detta compatibilità esista, si effettua una preliminare analisi costi-benefici relativa all'utilizzo delle sabbie lacuali per il ripascimento della costa.

La stima del fabbisogno di sedimento per il ripascimento, è stata condotta facendo riferimento al tasso di arretramento annuo del litorale ionico in esame. Come già evidenziato in precedenza, a partire dagli an-

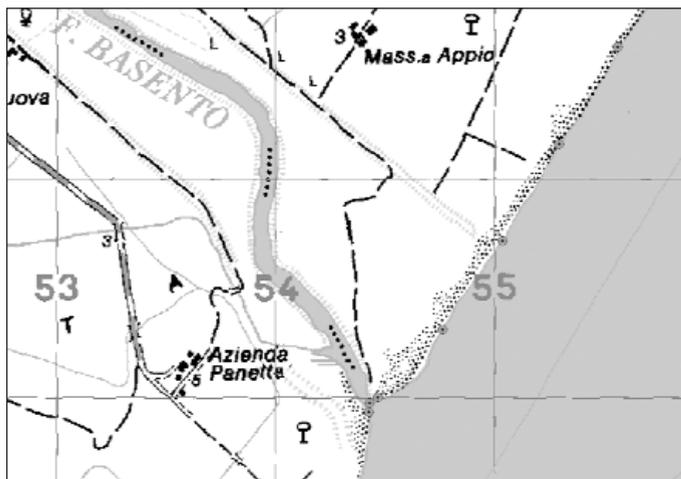


Figura 11 - Campionamento effettuati in corrispondenza della foce del Fiume Bradano.

ni inquina il tratto di costa compreso tra le foci dei fiumi Bradano e Basento, è stato caratterizzato da un progressivo arretramento con un valore complessivo, alla fine degli anni Novanta di oltre 6 m. Supponendo valido, per il periodo 1997-2005, lo stesso tasso di arretramento del periodo 1987-1997, pari a 0,28 ha/anno per km di spiaggia, si otterrebbe un ulteriore arretramento di circa 2,2 m, portando l'arretramento complessivo ad oltre 8 m.

Nell'ipotesi di ripascimento del tratto di costa in esame che riporti il litorale alle

Si è ipotizzato, facendo riferimento anche a dati di letteratura (De Pippo T. et al, 2000) un valore specifico medio del fatturato delle attività indotte per la presenza di spiaggia pari 500 € per m² di spiaggia.

L'analisi economica effettuata, pur tracciata in condizioni cautelative sia per la definizione dei benefici che dei costi, porta ad una differenza di circa 15 Milioni di Euro, e peraltro, nei benefici non sono stati portati in conto quelli derivanti dalla maggiore disponibilità idrica a seguito dello sfangamento.

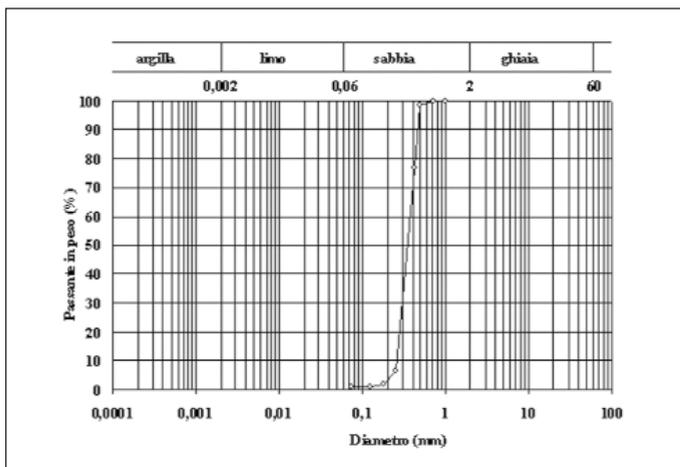


Figura 12 - Curva granulometrica indicativa dei campioni di sabbia del litorale.

7. Conclusioni

Il confronto tra le curve granulometriche relative ai sedimenti lacuali e litoranei non permette, oggi, di asserire una loro compatibilità. Tuttavia, la geologia del bacino sotteso dalla diga di San Giuliano che mostra la presenza di depositi sabbiosi per almeno il 20% della sua superficie e i naturali processi di sedimentazione negli invasi artificiali, lasciano auspicare la presenza, nell'inva-

Costi		Ricavi	
Volume di sedimenti da rimuovere	1'000'000 m ³	Volume di sedimenti per il ripascimento	1'000'000 m ³
Costo unitario di rimozione	4 €/m ³	Lunghezza del tratto di costa	~ 7 km
Costo di trasporto al litorale	7 €/m ³	Larghezza del tratto di costa recuperata	~ 8 m
<i>Sub totale</i>	11'000'000 C	Superficie recuperata	~ 60'000 m ²
Maggiorazione per posa in opera sulla spiaggia e rischi aziendali	40%	Valore specifico medio della superficie balneabile per m ² di spiaggia	500 €
TOTALE	15'000'000 €	TOTALE	30'000'000 €

Tabella 2 - Analisi costi-benefici.

so, di sabbie compatibili con quelle del litorale considerato e con volumi sufficienti alle operazioni di ripascimento. Una nuova accurata campagna di monitoraggio permetterà di verificare la disponibilità dei volumi e la sussistenza dei requisiti di compatibilità, che, peraltro, in questo lavoro sono stati ipotizzati.

La preliminare analisi tecnica-economica relativa all'uso delle sabbie di San Giuliano per il ripascimento del litorale, ha permesso di individuare una sensibile differenza benefici-costi. A detti benefici si accompagnano anche i benefici sociali ed economici connessi all'aumento della capacità utile dell'invaso, conseguente alla rimozione del sedimento, nonché i benefici ambientali indiretti connessi alla tutela dalla flora sottomarina e della fauna ittica, qualora, come qui ipotizzato, il ripascimento si ottenga con sabbie non provenienti dal tradizionale dragaggio dei fondali marini.

Bibliografia

- Albergo G., De Vincenzo A., Molino B., Viparelli R., 2006, "L'influenza dell'erosione superficiale e di massa sull'interrimento degli invasi". Atti del XXX° Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche, Roma 10-15 settembre 2006.
- Amatucci F., Mauro A., 2003, "Evoluzione antica e recente del litorale ionico lucano. Analisi comparata tra le oscillazioni periodiche della linea di riva e le caratteristiche della spiaggia emersa". *L'acqua*, 1, 7-16.
- Bruno F., Lorusso M., Pontieri M., 2002, "Progetto di

recupero di capacità dell'invaso di S. Giuliano". Tesi del master in "Esperto in gestione dei servizi idrici". relatori: Prof. B. Molino, Ing. A. Caminiti, Ing. M. Fanelli.

- Cotecchia V., 1956, "Studi di geologia tecnica per la scelta di una località da sbarrare lungo la fiumara di atella", *Boll. Soc. Geol. Ital.*, Lxxv
- De Giacomo M., 2005, "Un piano di sfangamento dell'invaso di San Giuliano e l'utilizzo dei sedimenti per il ripascimento del litorale compreso tra le foci dei fiumi Bradano e Basento", Tesi di laurea, Università degli Studi della Basilicata.
- De Pippo T., Pennetta M., Terizzi F., Vecchione C., 2000, "Ipotesi di intervento di ripascimento protetto lungo la spiaggia dei Maronti (Comune di Barano - Isola D'Ischia-Napoli)", *Geologia tecnica & Ambientale*, 1.
- Lucignani M., 2002, "La gestione delle ritenute di acqua artificiali. l'esperienza di svuotamento del bacino idroelettrico di Pintecosi sul Fiume Serchio (Lucca)", *L'Acqua*, 3.
- Mauro A., 2004, "La vulnerabilità dei sistemi costieri - il potenziale trasporto solido litoraneo in prossimità della foce del Fiume Basento" in *Il processo di interrimento degli invasi: genesi, effetti ed interventi per la tutela dell'ambiente*, Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata - *Collana editoriale di studi e ricerche*, 4.
- Ministero Dell'Ambiente E Della Tutela Del Territorio, *Decreto 30 giugno 2004* : "Criteri per la redazione del progetto di gestione degli invasi, ai sensi dell'articolo 40, comma 2, del Decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, e successive modifiche ed integrazioni, nel rispetto degli obiettivi di qualità fissati dal medesimo decreto legislativo".
- Molino B., Greco M., D'Anisi C., 1994, "Il controllo della sedimentazione nei laghi artificiali". XXIV Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche, Napoli, Settembre 1994.

- Molino B. (1998). "Interrimento e riabilitazione degli invasi artificiali mediante rimozione intubata di sedimenti: il caso dell'invaso del camastra (pz)". Atti del XXXIV Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche, IV, Catania, 9-12 settembre 1998.
- Molino B., Greco M., Rowan J. S., 2001, "A 2d reservoir routing model: sedimentation history of abbeystead reservoir, uk". *Water Resources Management*, XV, 2, 109-122.
- Molino B., 2004, "Interrimento e recupero di capacità degli invasi artificiali" in: *Il processo di interrimento degli invasi: genesi, effetti ed interventi per la tutela dell'ambiente*, - Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata - Collana Editoriale Di Studi E Ricerche, 4.
- Molino B., Biscione A., 2004, "Interrimento degli invasi lucani: analisi progettuali per la riabilitazione degli invasi del Camastra e di San Giuliano". in: *Il processo di interrimento degli invasi: genesi, effetti ed interventi per la tutela dell'ambiente*, - Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata - Collana Editoriale Di Studi E Ricerche, 4.
- Montevecchi M., Biscione A., 2004, "Analisi tecnica ed economica di sistemi di sfangamento degli invasi". in: *Il processo di interrimento degli invasi: genesi, effetti ed interventi per la tutela dell'ambiente*, - Autorità Interregionale Di Bacino Della Basilicata - Collana Editoriale di Studi e Ricerche, 4.
- Regione Basilicata 2004, *Tariffa di riferimento dei prezzi per l'esecuzione di opere pubbliche. edizione 2004*.
- Spilotro G., Di Bratto M., Cecilia G., Leandro G., 1998, "Evoluzione recente del litorale ionico compreso tra foce sinni e foce bradano". Atti del Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia applicata, Università degli Studi della Basilicata, 1, 46.
- Spilotro G., Grimaldi S., Sole A., 1999, *Carta geologica dei principali bacini lucani (1:250000)*, Univ. Basilicata, Difa, Valutazione delle piene in Basilicata.
- Spilotro G., Canora F., Caporale F. Leandro G., 2004, "Interventi nei bacini e dinamica delle coste". in: *Il processo di interrimento degli invasi: genesi, effetti ed interventi per la tutela dell'ambiente*, - Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata - Collana Editoriale di Studi e Ricerche, 4.
- Tomasi L., 1996, "Operation and maintenance problems due to sedimentation of reservoir". Proc. Intern. Confer. Colorado State University. Ft. Col.

Monitoraggio della qualità delle acque marino-costiere della costa jonico-lucana

V.A. Copertino, V. Telesca, E. Trulli
Università degli Studi della Basilicata
Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente

Sommario

Un sistema costiero è soggetto a forti pressioni legate a fenomeni antropici, quali la crescita della popolazione, gli eventi migratori e la crescente espansione del turismo, l'uso intensivo e prolungato di fertilizzanti organici e inorganici, i cambiamenti avvenuti nell'utilizzo del territorio, la deforestazione e gli scarichi industriali ed urbani, che provocano un peggioramento generalizzato della qualità delle acque. Al fine di arginare tali fenomeni di deterioramento degli ecosistemi costieri sono necessari numerosi interventi di risanamento ed una attenta gestione ambientale che non prescinda da una conoscenza dettagliata del funzionamento dei sistemi. A tale scopo sono stati avviati, nel corso degli ultimi decenni, numerosi programmi di monitoraggio, volti a osservare, comprendere ed analizzare il comportamento dei sistemi costieri. Lo studio delle variabili - fisiche, chimiche e biologiche - e della loro evoluzione nel tempo può aiutare a comprendere i fenomeni di inquinamento in atto. Nella presente memoria vengono illustrate le metodologie di monitoraggio applicate per la valutazione dello stato di qualità dell'ambiente marino della costa Jonica Lucana; viene inoltre fornita un'ampia panoramica della normativa nazionale che regola il monitoraggio e il controllo della qualità delle acque marino-costiere.

1. Introduzione

Le principali fonti di inquinamento dell'ambiente marino sono gli scarichi delle acque reflue di origine urbana, quelle industriali ed agricole, comprese le acque di dilavamento dei suoli; a queste si aggiungono poi la pesca praticata in maniera intensiva, l'itticoltura e il traffico marittimo. Nel futuro è probabile che le zone costiere vengano esposte a pressioni antropiche sempre più crescenti, con

riflessi in particolare sugli habitat e sulle risorse naturali (suolo, acque dolci e marine), dovute soprattutto all' aumento della richiesta di infrastrutture, sia per gli insediamenti civili che per i trasporti e per il turismo (Mark, 1984; Segal and Stamman, 1986; Sauzade et al., 1995; Figueras et al., 1997).

La capacità auto-depurativa delle acque marine si riduce generalmente a causa di un lento e modesto ricambio di acqua dovuto alle particolari condizioni morfologiche e di correnti. Per ridurre notevolmente la concentrazione degli inquinanti è fondamentale che le sostanze inquinanti siano soggette a sostanziali fenomeni di diluizione e trasporto, generati principalmente dalle correnti marine.

In Italia la peculiarità dell'elevato rapporto perimetro costiero/superficie e la presenza di mari chiusi e poco profondi, determinano condizioni sempre più spesso critiche. Pur esistendo, ovviamente, una molteplice varietà di zone costiere caratterizzate da diverse morfologie, da distinti valori economici delle risorse, dalla dissimile densità della popolazione e delle infrastrutture e dal livello di sviluppo del territorio, esse vanno comunque intese come un sistema interattivo costituito da ambiente marino ed ambiente terrestre che richiedono una tutela.

L'elaborazione di più complete e approfondite tecniche di pianificazione e gestione ambientali consente la gestione e il controllo delle fonti di impatto sul territorio costiero e degli interventi necessari (U.S.E.P.A., 1986; Krogh and Robinson, 1996).

Un importante ruolo per la salvaguardia e la gestione dell'ambiente marino è svolto dal monitoraggio, mediante il quale ci si prefigge di analizzare e sottoporre a controllo evolutivo i principali processi fisici e biochimici che caratterizzano l'ambiente stesso. Al fine della valutazione e della classificazione degli ecosistemi marini costieri, l'evolversi delle tecniche e delle metodologie di analisi hanno favorito l'applicazione di specifici indicatori di qualità dell'ambiente marino costiero.

Lo sviluppo dei sistemi di monitoraggio,

una volta stabiliti gli obiettivi da perseguire, devono essere programmati per passi successivi. E' necessario quindi valutare il tipo di misurazioni da effettuare, definire il livello di informazione che è possibile raggiungere; integrare ulteriori strumenti di analisi quali modelli di previsione e valutazione del rischio. Per questi sistemi viene richiesta pertanto una potenzialità che consenta l'osservazione di una larga area del territorio e la più ampia e complessa valutazione delle informazioni, anche in uno scenario che coinvolga oltre ai sistemi interni delle acque marine (foci, estuari, acque di balneazione, riserve naturali), i sistemi interconnessi quali i corsi d'acqua e i bacini idrografici che sulle aree marine-costiere insistono.

L'introduzione di tecnologie avanzate, inoltre, permette il trasferimento dei dati di monitoraggio su supporti *hardware*, attraverso la realizzazione di Sistemi Informativi Territoriali (SIT), in cui viene inclusa una fase di modellazione per la definizione di scenari di gestione in funzione di variabili legate al sistema (Murakani and Masayuki, 1982; Aston, 1986; Christodoulou et al., 1995; Gardanov, 1995).

2. Inquadramento normativo

La normativa nazionale sulla qualità delle acque marino-costiere si è ad oggi concretizzata attraverso l'emanazione dei seguenti testi legislativi:

- Decreto del Presidente della Repubblica n. 470 del 8 giugno 1982, "Attuazione della Direttiva CEE n. 76/160 relativa alla qualità delle acque di balneazione";
- Legge n. 979 del 31 Dicembre 1982, "Disposizione per la difesa del mare";
- Legge 12 giugno 1993, n. 185 "Conversione in legge, con modificazioni, del D.L. 13 aprile 1993, n. 109, recante modifiche al D.P.R. del 8 giugno 1982, n. 470, concernente attuazione della direttiva CEE n. 176/160, relativa alla qualità delle acque di balneazione";

- Decreto Legislativo n. 258 del 18 agosto 2000, "Disposizioni correttive e integrative del D.L. 11 maggio 1999, n. 152 in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della Legge 24 aprile 1998, n. 128".

Il Decreto del Presidente della Repubblica 8 giugno 1982, n. 470, "Attuazione della Direttiva CEE n. 76/160 relativa alla qualità delle acque di balneazione", fissa i criteri relativi al campionamento e alla qualità delle acque di balneazione (Tabella 1).

L'introduzione della Legge n. 979/82 tende verso l'attuazione di una politica territoriale tesa alla tutela dell'ambiente marino e delle sue risorse. L'azione normativa, provvedendo all'istituzione, di intesa con le Regioni, del piano generale di difesa del mare e delle coste marine, è finalizzata alla promozione di un coordinamento degli interventi operati in materia di difesa del mare e delle coste con particolare rilievo alla previsione e controllo degli effetti dei fenomeni di inquinamento. La rete di osservazione dell'ambiente marino viene realizzata con la programmazione di periodici rilevamenti di dati oceanografici, chimici, biologici e microbiologici.

La legge prescrive una frequenza di campionamento delle acque marine a cadenza stagionale; fissa il posizionamento delle stazioni di misura e campionamento a distanze dalla linea di costa 500, 1000 e 3000 m, localizzandole su transetti normali alla linea di costa, distanti l'uno dall'altro 10 km. I parametri da rilevare in mare sono di carattere idraulico e climatico (altezza delle onde, direzione e velocità del vento, direzione e velocità della corrente superficiale). I parametri di analisi della

qualità delle acque sono di carattere fisico, chimico e microbiologico (temperatura, salinità, conducibilità, ossigeno disciolto, pH, trasparenza, colorazione, clorofilla "a", NO₂, NO₃, NH₃, PO₄, P totale, residui catramosi, strato d'olio, tensioattivi, fenoli, coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali, salmonella).

Il D.L. 152/99 incontra le più stringenti richieste di conoscenza dello stato dell'ambiente marino-costiero introducendo importanti innovazioni. Tra queste, affina i criteri delle attività di monitoraggio ed esalta le azioni di protezione e di risanamento che devono essere volte al mantenimento di prefissati obiettivi di qualità ambientale e funzionale, in accordo con gli attuali orientamenti comunitari. Il carico inquinante complessivo versato nel corpo idrico ricettore non ne deve compromettere l'uso e il decreto, nella disciplina sulla qualità allo scarico delle acque reflue nei corpi idrici ricettori, differenzia i casi a seconda che il corpo idrico ricettore - acque dolci, estuari e acque del litorale - sia riconoscibile o meno come "area sensibile", intesa ovvero come zona già eutrofizzata o esposta a rischio eutrofico, in assenza di interventi protettivi specifici (Allegato 6). A tal riguardo, è opportuno ricordare che in attuazione della legge n.185 del 12/06/1993 già erano prescritte attività di sorveglianza per monitorare il fenomeno eutrofico. Il decreto richiede che i "corpi idrici significativi" vengano monitorati e classificati al fine del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale (Allegato 1, *Monitoraggio e classificazione delle acque in funzione degli obiettivi di qualità ambientale*). Per quanto riguarda le acque marine costiere sono si-

Parametri	Unità di misura	Concentrazione
Ossigeno disciolto	mg/L	70-120% saturazione
pH		6-9
Oli minerali	mg/L	≤0,5
Tensioattivi	mg/L	≤0,5
Fenoli totali (come C ₆ H ₅ OH)	mg/L	<0,5
Coliformi totali	MPN/100mL	2000
Coliformi fecali	MPN/100mL	100
Streptococchi fecali	MPN/100mL	100

Tabella 1Qualità delle acque di balneazione (D.P.R. 470/82).

gnificative le acque comprese entro la distanza di 3.000 metri dalla costa e comunemente entro la batimetrica dei 50 metri; le "acque di transizione", le acque delle zone di delta ed estuario e le lagune, vengono incluse nei corpi idrici significativi.

Al fine della valutazione dello stato di qualità ambientale delle acque marine si conducono indagini eco-tossicologiche con l'utilizzo di indicatori biologici. Oggetto di analisi sono la matrice "acqua", i sedimenti e la biota. In particolare, il monitoraggio di questi ultimi viene effettuato al fine di rilevare specifiche fonti di contaminazione e valutare lo stato di "compromissione" del tratto di costa considerato.

Il valore della classe di qualità chimica ed ecologica delle acque si definisce su un'ampia base conoscitiva e assumono rilevante importanza anche gli effetti causati dagli inquinanti che si accumulano negli ecosistemi.

I parametri di base da analizzare sono :

- comparto acqua: temperatura, pH, trasparenza, salinità, ortofosfato, fosforo totale, enterococchi, ossigeno disciolto, clorofilla "a", azoto totale, ammoniacale, nitrico e nitroso;
- matrice sedimenti: granulometria; idrocarburi policiclici aromatici (IPA); metalli pesanti bioaccumulabili; saggi biologici su gruppi tassonomici; carbonio organi-

co; composti organoclorurati (PCB e pesticidi); composti organostannici;

- biota: metalli pesanti; idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA); composti organoclorurati, PCB e pesticidi;

Al fine della classificazione dello stato ecologico e chimico delle acque marine costiere viene valutato l'indice trofico che fornisce il grado di trofia delle acque costiere. Il parametro viene definito considerando la presenza di nutrienti e biomassa fitoplanctonica in funzione della concentrazione di ossigeno disciolto, clorofilla "a", fosforo totale e azoto inorganico disciolto (ammoniacale nitrico e nitroso). L'indice trofico è un indice significativo perché in relazione diretta con molti fattori di pressione quali popolazione, attività produttive, carichi organici potenziali e carichi trofici. I risultati derivanti dalla valutazione di questo indice concorrono all'attribuzione dello stato ambientale come riportato in Tabella 2.

3. Il monitoraggio delle acque marino-costiere della costa jonica lucana

La Regione Basilicata, in collaborazione con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ha avviato sin dal 1995 un programma di monitoraggio del-

Indice di trofia	Stato	Condizioni
2-4	Elevato	Buona trasparenza delle acque
		Assenza di anomale colorazioni delle acque
		Assenza di sottosaturazione di ossigeno disciolto nelle acque bentiche
4-5	Buono	Occasionali intorbidimenti delle acque
		Occasionali anomale colorazioni delle acque
		Occasionali ipossie nelle acque bentiche
5-6	Mediocre	Scarsa la trasparenza delle acque
		Anomale colorazioni delle acque
		Ipossie e occasionali anossie delle acque bentiche
		Stati di sofferenza a livello di ecosistema bentonico
6-8	Scadente	Elevata torbidità delle acque
		Diffuse e persistenti anomalie nella colorazione delle acque
		Diffuse e persistenti ipossie/anossie nelle acque bentiche
		Morie di organismi bentonici
		Alterazione/semplicificazione delle comunità bentoniche
	Danni economici nei settori del turismo, pesca ed acquacoltura	

Tabella 2- Classificazione delle acque marine costiere in base alla scala trofica (D.L. n. 152/1999).

le acque marine costiere regionali. Tale attività, ha quindi trovato negli anni successivi una sistematica applicazione con i seguenti obiettivi (A.R.P.A.B., 2005):

- salvaguardare la salute pubblica sul territorio e attuare azioni di intervento;
- identificare le cause dell'inquinamento, quantificando gli apporti inquinanti derivanti dagli insediamenti civili e produttivi presenti nell'area;
- rilevare le condizioni della qualità delle acque marino-costiere e i relativi trend evolutivi a medio e a lungo termine;
- effettuare il bilancio dei carichi inquinanti sui singoli corpi idrici e su scala di bacino;
- fornire opportune linee guida per la determinazione e la previsione dei livelli di inquinamento;
- evidenziare situazioni di vulnerabilità e rischio ambientale, connesse a fenomeni di deterioramento della qualità delle acque;
- definire la capacità di autodepurazione dei corpi idrici superficiali;
- valutare la compatibilità di insediamenti produttivi rispetto alle condizioni quali-quantitative della risorsa idrica;
- indirizzare gli interventi su priorità di tutela e risanamento della risorsa idrica;
- fornire elementi per la redazione dei piani di risanamento per il raggiungimento degli obiettivi di qualità previsti dalla normativa.
- ampliare la conoscenza sullo stato degli ecosistemi marini;
- effettuare un controllo dei fenomeni eutrofici e il monitoraggio dello stato di qualità degli ecosistemi.

Per l'area jonica la rete di monitoraggio è composta da 5 transetti; per ciascun transetto i prelievi sono stati effettuati a 500, 1000 e 3000 metri dalla costa. Per ogni stazione di prelievo sono state considerate due quote (superficie e fondo) di profondità variabile tra 3 e 27 metri per l'area innanzi citata. I transetti lungo la costa ionica sono stati collocati in corrispondenza delle foci dei fiumi: Bradano, Basento, Cavone, Agri e Sinni (Figura 1).

Al fine della valutazione dello stato chi-

mico-fisico ed ecologico, è stato utilizzato l'indice sintetico SECA (Stato Ecologico dei Corsi d'Acqua) (D.Lgs. 152/99); questo indice viene calcolato tenendo conto del livello d'inquinamento valutato con parametri macrodescrittori di tipo chimico e microbiologico: LIM (Livello di Inquinamento da Macrodescrittori); IBE (Indice Biotico Esteso). Lo stato chimico viene invece definito in base alla presenza di sostanze chimiche pericolose (D.Lgs. 152/99; Direttiva 76/464/CEE).

I controlli della qualità delle acque di balneazione vengono disposti annualmente dal Ministero della Salute in collaborazione con le Regioni (D.P.R. 470/82).

La Regione Basilicata ha determinato n. 41 punti di campionamento lungo la costa Jonica per Km 37,9 (in media uno ogni 0,92 Km). I campionamenti sono effettuati da aprile a settembre e sono ricercati costantemente 10 parametri, 3 di natura microbiologica, coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali e 7 di natura chimico-fisica, colorazione, trasparenza, pH, ossigeno disciolto, oli minerali, sostanze tensioattive e fenoli.

La valutazione della qualità delle acque di balneazione viene effettuata in base ai seguenti indicatori: balneabilità, controllo di balneazione e Indice di Qualità Batteriologica (IQB). Gli indicatori, costruiti sui dati di controllo delle acque di balneazione, si differenziano perché i primi due hanno l'obiettivo della tutela igienico sanitaria delle acque marine e interne, per salvaguardare i bagnanti da eventi patologici, mentre l'IQB valuta l'eventuale contaminazione delle acque al fine della tutela ambientale.

L'indicatore di balneabilità viene espresso attraverso due rapporti percentuali: il rapporto tra la lunghezza della costa balneabile e della lunghezza della costa controllata; il rapporto tra la lunghezza della costa vietata e la lunghezza totale.

Il Controllo di Balneazione rappresenta viceversa il rapporto percentuale tra le lunghezze della costa controllata e della costa totale.

Lo stato di qualità delle acque marino costiere è stato determinato utilizzando l'indice Trofico TRIX (D.Lgs 152/99) e la Balneabilità (DPR 470/82). I valori dell'Indice



Figura 1 - Stazioni di misura per la valutazione dello stato di eutrofizzazione delle acque marino-costiere - (fonte: Regione Basilicata).

TRIX sono calcolati sulla base di metodologie del Servizio di Difesa del Mare del Ministero dell'Ambiente e su dati in genere con frequenza mensile.

4. Stato di qualità della costa jonica lucana

I principali fattori di pressione sulla qualità delle acque dei cinque corsi d'acqua (Bradano, Basento, Cavone, Agri e Sinni) che sfociano nel litorale Jonico in Basilicata sono dovuti alla presenza di un'agricoltura intensiva e di attività produttive concentrate per lo più in poli industriali di dimensioni significative (Melfi, Tito-Potenza, Ferrandina-Pisticci, Matera).

Non trascurabili sono le pressioni esercitate da un rilevante sistema turistico-alberghiero e da un sistema produttivo artigianale di piccole e medie imprese diffuso su tutto il territorio.

Lungo la costa jonica l'andamento dei parametri di qualità delle acque dipende dal regime dei fiumi in quanto correlato alle portate fluviali (valori più alti nei mesi invernali quando le portate sono maggiori a causa delle piogge). Considerando la valenza territoriale ed ambientale dell'area jonica lucana, sono stati effettuati confronti sugli indicatori dello stato di qualità delle acque superficiali nelle stazioni ricadenti nell'area di interesse al fine di approfondire la conoscenza dei livelli di inquinamento e di verificarne le cause. Problemi sulla qualità delle acque possono essere legati anche alla presenza di scarichi civili non depurati.

In figura 2 sono illustrati i valori degli indici LIM, IBE e SECA per il quadriennio 2001-2004, relativi ai punti di campionamento posti in prossimità delle foci dei fiumi Bradano, Basento, Cavone, Agri e Sinni. La situazione di degrado diviene particolarmente evidente per il Sinni per il quale nell'ultimo anno di riferimento l'IBE è significativamente peggiore (classe 4) del LIM (livello 2).

I risultati attestano che lo stato ecologico delle acque oscilla tra la terza e la quarta classe di qualità, corrispondenti rispettivamente ai giudizi sufficiente e scarso. Si nota un sostanziale peggioramento nel 2004: solo la foce del fiume Agri permane in classe 3, mentre Cavone, Basento e Sinni passano alla classe 4. Per la foce del Bradano è confermato anche per il 2004 il giudizio scarso. Passando al dettaglio degli indicatori che concorrono alla definizione del SECA, il confronto tra LIM e IBE evidenzia che il peggioramento è legato ad uno scadimento della qualità biologica delle foci nel 2004.

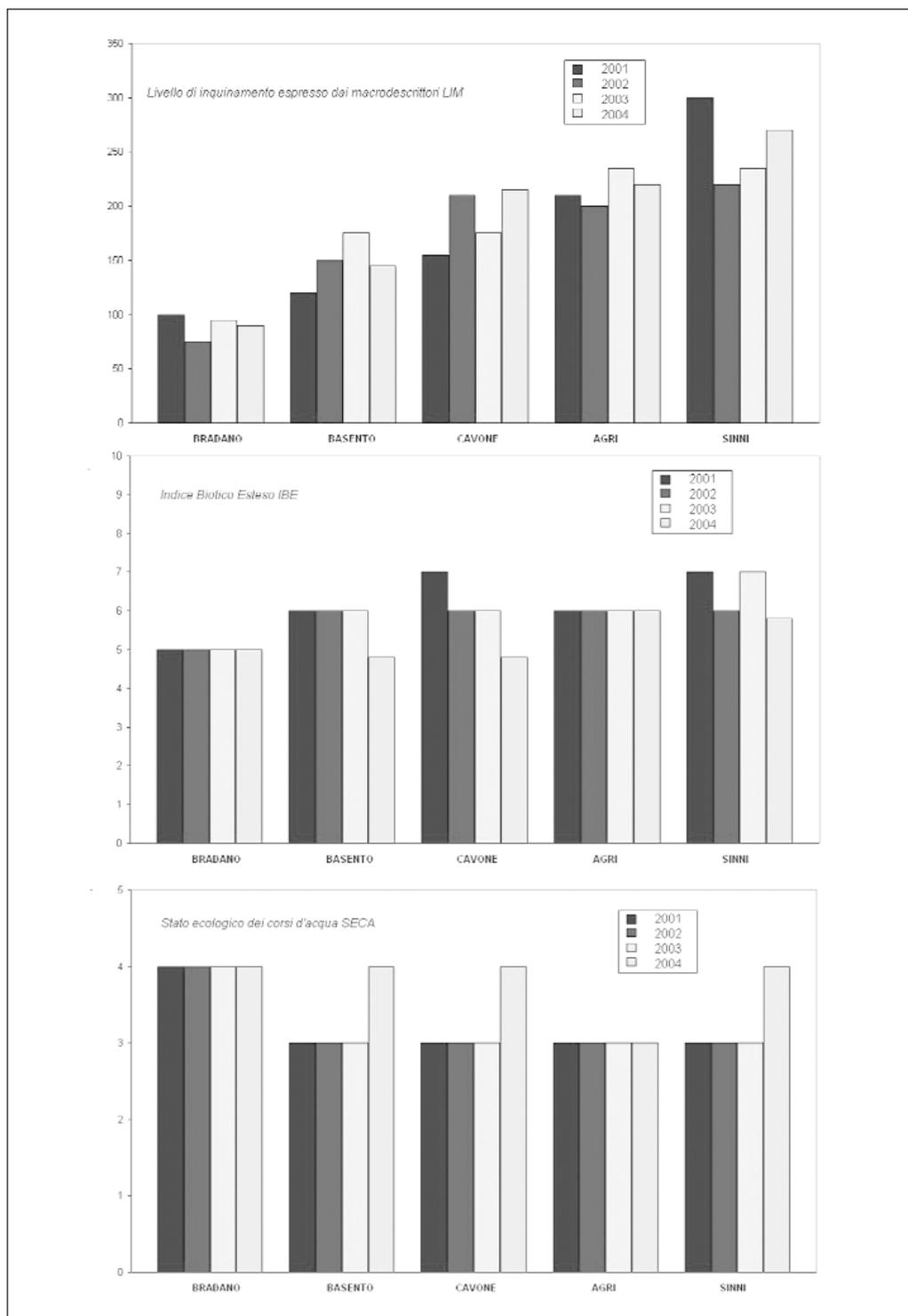


Figura 2 - Livelli LIM e classi IBE e SECA nelle stazioni lungo la costa Jonica.

I dati sulla balneabilità (Figure 3 e 4) attestano che nel 2003 la Basilicata ha una percentuale massima di chilometri di costa controllata e balneabile rispetto ai chilometri di costa adeguatamente campionati (100%) ed un elevato rapporto percentuale tra la costa controllata e balneabile rispetto alla lunghezza totale della costa regionale (94,2%).

L'Indice di Qualità Batteriologia evidenzia la presenza di batteri provenienti da scarichi civili (coliformi fecali o streptococchi fecali) nelle acque di balneazione. La qualità dell'acqua è tanto migliore quanto più alto è il valore percentuale di campioni esenti da contaminazioni batteriche.

Per quanto riguarda la valutazione del livello di contaminazione antropica, sia civile che agricola delle acque di balneazione, la percentuale massima dell'IQB evidenzia l'assenza di contaminazioni batteriche in tutti i campioni analizzati sia della costa potentina, sia della costa Jonica.

Un elemento positivo che emerge dall'esame dei dati è l'elevata percentuale di costa controllata (94,2%); sostanzialmente la qualità delle acque di balneazione delle coste lucane è soddisfacente dal punto di vista igienico sanitario, fatte salve alcune fluttuazioni di brevissima durata osservate negli anni 2001 e 2002, conseguenti a im-

portanti fenomeni siccitosi.

Relativamente allo stato trofico (Tabela 3), basato sul valore medio assunto dall'indice TRIX, le acque costiere della regione Basilicata presentano uno stato ambientale elevato, tipico di acque scarsamente produttive. Valori di TRIX superiore a 4 (acque moderatamente produttive) si riscontrano solo nelle stazioni ubicate presso le foci del Bradano e del Basento a 500 m dalla riva.

6. Conclusioni

Il degrado della qualità delle acque costiere è causata principalmente dall'inquinamento che si origina attraverso l'immissione in mare di liquami urbani, di scarichi industriali e di natura agricola, prodotti dal territorio; in presenza delle foci di grandi fiumi gli inquinanti provengono non solo dalle zone costiere ma anche da quelle interne. Tutto ciò comporta un'elevata immissione di carichi organici e microbiologici, che inficia il naturale e ottimale uso delle zone marine-costiere.

La presenza di un continuo e costante monitoraggio della qualità delle acque è di rilevante importanza, per preservare un buono stato di qualità ambientale, ma an-

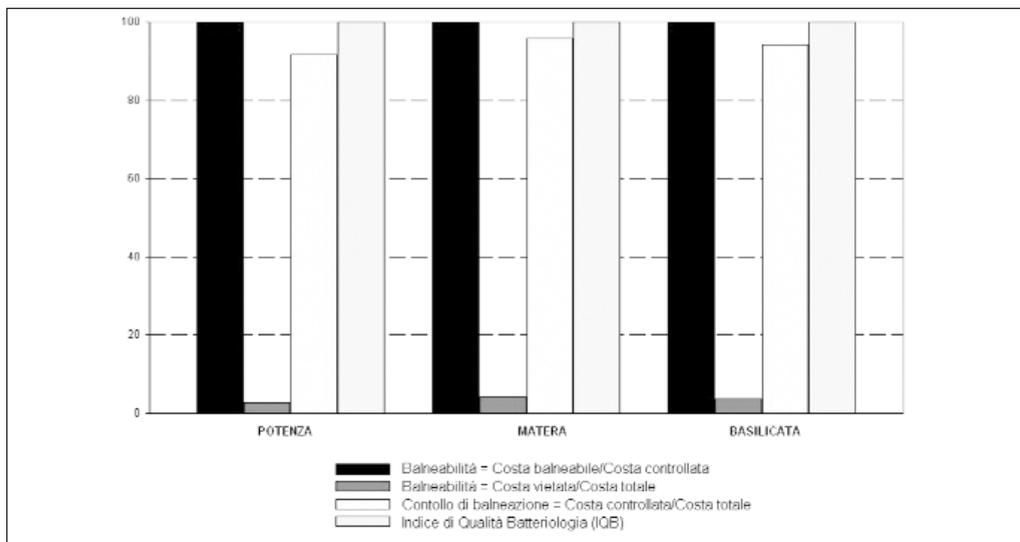


Figura 3 - Percentuale di costa balneabile non controllata e con divieto di balneazione nell'anno 2003.

che per evitare rischi per la salute umana. È necessario controllare frequentemente tutti i parametri, microbiologici e chimico-fisici, in grado di caratterizzare lo stato di qualità delle acque, al fine di poter intervenire repentinamente con adeguati piani di risanamento. Si è visto che gli indicatori microbiologici più adeguati risultano essere i coliformi fecali; la tendenza è quella di

ampliare il set di parametri di controllo, cercando inoltre di determinare maggiori correlazioni tra le diverse sostanze patogene, di più difficile determinazione, e gli indicatori utilizzati.

Una metodologia complementare di monitoraggio è rappresentata dall'osservazione di alcune variabili ambientali (vento, correnti, temperatura), al fine di individuare la loro correlazione con la variazione di concentrazione degli indicatori inquinanti utilizzati per il controllo della qualità delle acque. I risultati delle analisi nei diversi siti vanno poi raggruppati e confrontati, inquadrandoli in uno studio generale sul territorio analizzato. Anche per tale motivo si percepisce sempre più la necessità di sviluppare un adeguato sistema informativo territoriale dedicato alle acque costiere, che consenta un controllo quasi in tempo reale di tutti i parametri (biologici, chimico-fisici, ambientali), che in un modo o in un al-

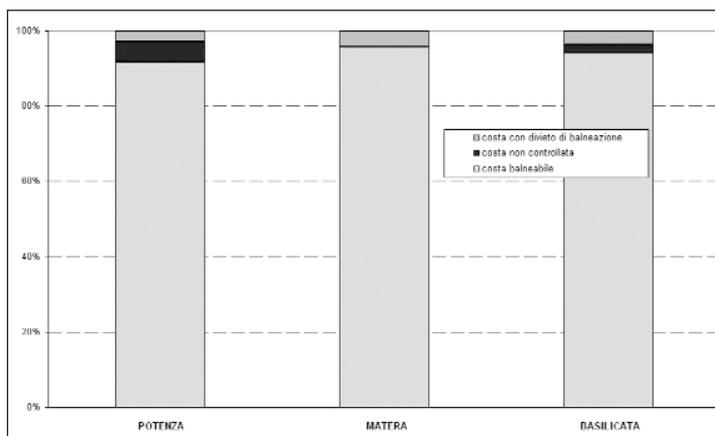


Figura 4 - Indicatori di balneabilità nell'anno 2003.

tro contribuiscono a caratterizzare lo stato di qualità della fascia costiera.

Nel presente lavoro è stata descritta l'implementazione di un sistema di monitoraggio sulla costa jonica lucana. L'applicazione successiva di opportuni indicatori quali LIM, IBE, SECA, IQB e TRIX ha permesso di trarre delle prime conclusioni circa l'evoluzione del suo stato di qualità. In particolare, la situazione di degrado risulta particolarmente evidente per il Sinni per il quale, nell'ultimo anno di riferimento, l'IBE è significativamente peggiore (classe 4) del LIM (livello 2). Lo stato ecologico delle acque, inoltre, oscilla tra la terza e la quarta classe di qualità. Nel 2004, solo la foce del fiume Agri permane in classe 3, mentre Cavone, Basento e Sinni passano alla classe 4. Per la foce del Bradano è confermato anche per il 2004 il giudizio scarso. Anche il confronto tra LIM e IBE evidenzia che il peggioramento è legato ad un decadimento del-

Comune	Stazione	Distanza dalla costa (m)			
		500		3000	
		Stato ambientale	Valore	Stato ambientale	Valore
Bernalda	Bradano	Buono	4,09	Elevato	3,43
Pisticci	Basento	Buono	4,14	Elevato	3,62
	Cavone	Buono	4,00	Elevato	3,47
Policoro	Agri	Elevato	3,94	Elevato	3,36
	Sinni	Elevato	3,73	Elevato	3,48

Tabella 3 - Valori medi dell'indice Trix nelle acque costiere della provincia di Matera.

la qualità biologica delle foci nel 2004.

Relativamente allo stato trofico, invece, le acque presentano uno stato ambientale elevato, tipico di acque scarsamente produttive. Valori di TRIX superiore a 4 (acque moderatamente produttive) si riscontrano solo nelle stazioni ubicate presso le foci del Bradano e del Basento a 500 m dalla riva.

Bibliografia

- Agenzia Regionale Di Protezione Ambientale Della Basilicata, A.R.P.A.B., 2005, *Annuario dei dati ambientali regionali 2004*.
- Aston S.R., 1986, "Development, testing and intercalibration of reference methods for pollution studies in coastal and estuarine waters", *Water Science and Technology*, 18, 4, I.A.W.Q..
- Christodoulou G.C., Ioakeim I., Ioannou K., 1995, "Modelling of pollution from the wastewater discharge of the city of Limassol", *Water Science and Technology*, 32, 9- 10, 197-204, I.A.W.Q..
- Decreto Del Presidente Della Repubblica n. 470 DEL 8 GIUGNO 1982, "Attuazione della Direttiva CEE n. 76/160 relativa alla qualità delle acque di balneazione"; pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 203 del 26 Luglio 1982.
- Decreto Legge N. 109 Del 13 Aprile 1993, "Modifiche al D.P.R. 8 giugno 1982, n. 470, concernente attuazione della direttiva n. 76/160/CEE, relativa alla qualità delle acque di balneazione"; pubblicato nella Gazzetta Ufficiale 15 aprile 1993, n. 87.
- Decreto Legislativo N. 258 DEL 18 Agosto 2000, "Disposizioni correttive e integrative del D.L. 11 maggio 1999, n. 152 in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della Legge 24 aprile 1998, n. 128"; pubblicato nel Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 218 del 18 settembre 2000.
- Gardanov T.V., 1995, "Determination of the Pollutant Far-Fields Dilution Using Variable Turbulent Diffusion Coefficients", *Water Science and Technology*, 32, 7, 41-46, I.A.W.Q..
- Figueras M.J., Polo F., Iniza I., Guarro J., 1997, "Present and Future Perspectives of the EU Bathing Water Directive", *Marine Pollution Bulletin*, 34, 3, 148-156.
- Krogh M., Robinson L., 1996, "Environmental Variables and their Association with Faecal Coliform and Faecal Streptococci Densities at Thirteen Sydney Beaches", *Marine Pollution Bulletin*, 33, 7-12, 239-248.
- Legge N. 979 Del 31 Dicembre 1982, "Disposizione per la difesa del mare"; pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 16, S.O. del 18 Gennaio 1983;
- Legge 12 Giugno 1993, N. 185 (Conversione in legge, con modificazioni, del D.L. 13 aprile 1993, n. 109, recante modifiche al DPR 8 giugno 1982, n. 470, concernente attuazione della direttiva Cee n. 176/160, relativa alla qualità delle acque di balneazione; pubblicata nella Gazzetta Ufficiale 14 Giugno 1993, n. 137).
- Mark S., 1984). "Modelling of Sewage Outfalls in Marine Environment", *An Introduction to Water Quality Modelling*; James A. Editor.
- Murakami K., Masayuki M., 1982, "Tidal Current and Substance Dispersion by Finite Element Method Using Finite Difference Technique, In Finite Elements in Water Resources", *Proceedings of 4th International Conference*, Hannover, Germany.
- Sauzade D., Henocque Y., Carof A.H., 1995, "Arco bleu, an Integrated Surveillance System for Chronic and Accidental Pollution", *Water Science and Technology*, 32, 9-10, 25-31.
- Segal D.A., Stamman E., 1986, "A strategy for design of marine pollution monitoring studies", *Water Science and Technology*, 18, 4, I.A.W.Q. 1986.
- U.S.E.P.A., 1986, *Bacterial Water Quality Standards for Recreational Waters (Freshwater and Marine Waters)*, Office of Water.

Sulle origini della erosione delle spiagge e le possibili contromisure

Giuseppe R. Tomasicchio
Università del Salento, Dipartimento di Ingegneria

1. Le cause dell'erosione

Le principali cause dell'erosione delle spiagge sono da ascrivere alla riduzione degli apporti solidi fluviali al mare conseguenti ad interventi antropici, quali l'estrazione di materiale dagli alvei, la costruzione di dighe di sbarramento, la sistemazione dei versanti dei bacini montani e la regimazione dei torrenti, che, se da un lato attenuano il degrado erosivo dei corsi d'acqua, dall'altro riducono il ripascimento naturale delle spiagge. Tra le altre cause si annoverano l'innalzamento del livello medio mare, cui consegue la perdita di territorio emerso, e la bonifica delle zone palustri. Non va peraltro sottaciuta la costruzione selvaggia di insediamenti edilizi e infrastrutturali, molti dei quali realizzati su territorio demaniale, cioè in quella fascia di spiaggia attiva, sede delle naturali oscillazioni della linea di riva.

Tuttavia, fra le cause dell'erosione dei litorali, quelle che appaiono in maggiore evidenza sono le opere rigide realizzate per la difesa della costa o per l'insediamento di realtà a servizio della nautica commerciale e da diporto. Costruite lungo un certo tratto di litorale, molto spesso tali opere hanno innescato l'erosione delle spiagge limitrofe; infatti, esse possono, se progettate senza un preventivo e approfondito studio delle caratteristiche del luogo, rappresentare un ostacolo al trasporto naturale dei sedimenti lungo riva che squilibra l'intera unità fisiografica. Lungo il litorale italiano sono presenti porti che hanno determinato una forte espansione della spiaggia sopraflutto e la scomparsa dell'arenile nel tratto sottoflutto (e.g. Saline Joniche, Cetraro, Margherita di Savoia, Senigallia). Solo recentemente in Italia si è cominciato ad associare protezioni morbide a quelle rigide nella difesa dei litorali.

Il Molise, la Basilicata e la Calabria sono le regioni con il tratto maggiore di costa in erosione (89,5%, 59,3% e 51,1%, rispettivamente). Il Lazio, l'Abruzzo, le Marche e la Puglia presentano il 34,7%, il 47,4%, il 29,1% e il 24,9% di costa in erosione, rispettivamente. Seguono quindi la Sardegna, la Liguria e l'Emilia Romagna, con il 15,1%, il 15,4% e il 16,5%, rispettivamente. In sintesi, su 7500 Km complessivi di coste, fra terraferma e isole, ben 1700 Km sono oggetto di una sensibile erosione (Tabella 1).

2. Le conseguenze economiche

Il fenomeno dell'erosione delle spiagge minaccia la realtà occupazionale e commerciale legata al turismo balneare che è pari al 49,2% del movimento turistico ge-

nerale e che da sola, con un fatturato annuo di 152.354 milioni di euro, concorre all'11,7% del prodotto interno lordo nazionale (+ 1,7 % in Italia rispetto alla media mondiale). In considerazione, non solo della forte componente economica del turismo balneare, ma soprattutto del fatto che si prevede che il turismo, con la potenzialità di generare il 17% di posti di lavoro in più rispetto al comparto industriale, diventi l'attività economica principale dell'Unione Europea entro la fine del secolo, le coste italiane rappresentano uno dei fattori di sviluppo economico più influenti dell'economia nazionale.

Una ricerca Nomisma indica che il ripascimento di una superficie pari a 100.000 mq genera mediamente, per le sole attività di spiaggia, circa 3 milioni di euro all'anno; se vi si aggiunge l'indotto economico generale dell'area costiera interessata, si può

generare un valore economico annuo di 100 milioni di euro. Infine, a tale proposito, si fa notare che negli U.S.A. le attività connesse a viaggi e turismo impiegano 16,9 milioni di persone, cioè 1 persona ogni 8,1 abitanti (*World Travel and Tourism Council*, 2001); l'attenzione posta negli U.S.A. alla difesa dei litorali risale già agli inizi del secolo scorso, dunque in largo anticipo rispetto all'Italia ove i primi interventi datano al secondo dopo guerra (Figura 1). In particolare, negli U.S.A. ad una iniziale maggior diffusione delle strutture morbide (*soft*) pro-

La costa in erosione			
Regione	Lunghezza della costa (Km)	Tratto di costa in erosione (Km)	% di costa in erosione
Molise	31,3	28	89,5
Calabria	699,4	415	59,3
Basilicata	70,5	36	51,1
Abruzzo	139,3	66	47,4
Lazio	351,5	122	34,7
Marche	185,8	54	29,1
Puglia	836,8	208	24,9
Campania	459,9	105	22,8
Emilia Romagna	169,3	28	16,5
Liguria	357,5	55	15,4
Sardegna	1.737,30	262	15,1
Sicilia	1.531,60	218	14,2
Toscana	584,5	80	13,7
Veneto	196,5	20	10,2
Friuli	116,9	7	6,0
Italia	7468,1	1704	22,8

Tabella 1 - Distribuzione regionale della percentuale di tratti di litorale in erosione.

ni Cinquanta del secolo scorso, è seguito un maggior uso delle opere rigide (*hard*) esteso sino agli anni Sessanta dagli anni Sessanta in poi si è avuta una nuova inversione con una netta maggiore diffusione dei ripascimenti (Figura 2).

3. La costa

I litorali sono denominati *coste*, se alti e rocciosi, *spiagge*, se bassi e granulari. Le spiagge sono poi classificate in *pselitiche*, se di ghiaia e ciottoli, *psammitiche*, se di sabbia, *pelitiche*, se limo-argillose. Anche le coste alte possono essere costituite da materiali coesivi e in questo caso sono denominate *falesie*. In Italia lo sviluppo complessivo dei litorali è di circa 7500 km, dei quali il 55% costituito da coste e il 45% costituito da spiagge soprattutto sabbiose.

In termini ingegneristici, la spiaggia indica la zona che si estende fra il livello più basso della marea e il tratto più al largo dove sono ancora percepibili gli effetti del modellamento del moto ondoso.

La linea di riva o di battigia rappresen-

ta il confine materiale fra terra e mare, compreso fra il livello di bassa marea e la quota di massima risalita dell'onda.

La zona costiera è l'interfaccia fra l'atmosfera, l'idrosfera e la litosfera. Il concetto di zona costiera è in realtà definito piuttosto vagamente. Esso infatti varia non solo secondo l'area geografica, ma anche secondo il punto di vista di differenti specialisti. Di seguito il termine verrà inteso includendo la parte interna della piattaforma continentale, la linea di costa e una certa larghezza dell'*hinterland*, senza stabilire precisi limiti.

La dinamica della zona costiera è determinata da un delicato equilibrio sotto l'azione di processi naturali o indotti dall'uomo. Pertanto, i problemi che attengono all'uso del territorio costiero richiedono, più che in altri casi, un'attenta pianificazione. Non vi è, infatti, alcun dubbio che esiste un conflitto economico fra coloro che sostengono l'uso della costa per l'industria, l'attività mineraria, l'espansione commerciale o per altri interessi turistici e abitativi. La gestione della zona costiera deve



Figura 1 - Coney Island, 1923: Il primo intervento di ripascimento eseguito dal Corps of Engineers.

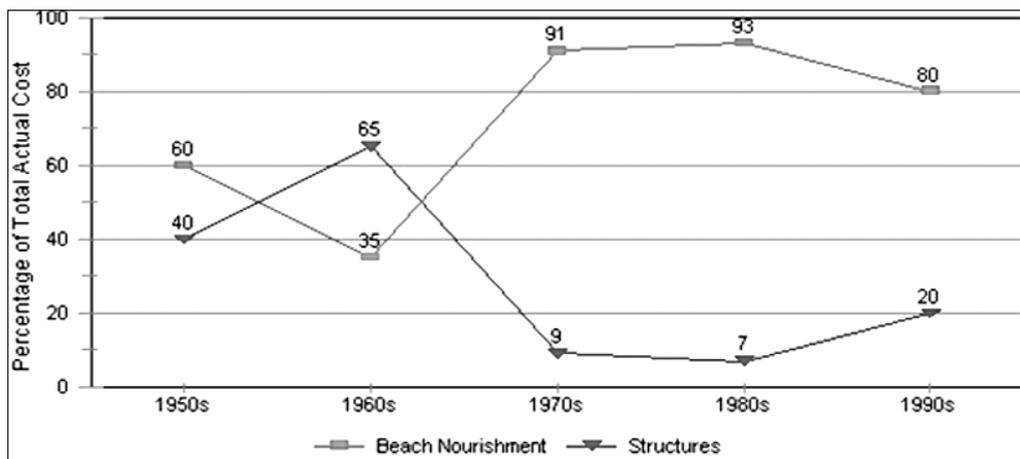


Figura 2 - Evoluzione nell'adozione dei sistemi di difesa dall'erosione in U.S.A. (Coastal Engineering Manual, 1998).

guardare a tutti gli aspetti economici compresi quelli ambientali, di tali possibili utilizzi, confrontarli e verificare la compatibilità di alcuni, scegliendo in funzione dell'ottimizzazione dei risultati.

4. Studio della dinamica costiera e modelli di simulazione

Per simulare la dinamica costiera si fa sempre più spesso ricorso, specie da parte degli ingegneri, a modelli matematici. Occorre molta cautela nell'interpretazione dei risultati di tali modelli, tutti di carattere qualitativo, quando persino non adatti a rappresentare le reali situazioni dei luoghi. Si ricordi, infatti, che i modelli devono rappresentare fenomeni che si evolvono contemporaneamente nelle quattro dimensioni spazio-temporali, cosa non realizzabile in modo del tutto affidabile con i mezzi oggi disponibili.

I modelli attualmente operativi per le coste sabbiose (spiagge) sono quelli detti ad una linea (e.g. GENESIS di Veritech) che simulano con larga approssimazione la modificazione della linea di costa considerata come rettilinea (Figura 3). Essi si basano su due ipotesi: la prima presuppone che l'evoluzione della costa, dovuta al trasporto

trasversale sia trascurabile nei tempi lunghi; la seconda, che la battigia abbia un andamento regolare, privo di forti modificazioni rispetto ad una linea retta.

Questa seconda ipotesi è molto difficile da rispettare ed è da escludere l'uso di modelli ad una linea per l'esame dell'evoluzione della spiaggia su tratti costieri fortemente frastagliati, che comprendono insenature e promontori, e fra essi alcune infrastrutture portuali.

5. Opere di difesa dall'erosione

Prima di iniziare a illustrare le varie strutture di difesa della costa, si può anticipare che il migliore e più economico sistema di difesa consiste nell'arretramento delle costruzioni vicino la riva, in modo da ripristinare l'azione naturale di difesa della spiaggia. In tale ambito, la tabella 2 riporta uno schema di sintesi delle possibili attività che si possono adottare dinanzi al fenomeno di erosione della costa.

Le opere di difesa della spiaggia dall'erosione, causata dalle onde, possono essere distinte in naturali e artificiali. Tra le opere di difesa naturali si ricordano le spiagge e le dune. Le opere di difesa artificiali si classificano in opere protettive, la cui principale funzione è quella di impedi-

re l'azione erosiva dell'onda e di sostenere il terreno a tergo mediante il rivestimento, e opere di rifornimento artificiale di sabbia alla spiaggia per controbilanciare le perdite causate dai processi naturali o da interventi dell'uomo.

Le opere o strutture difensive del primo tipo vengono spesso classificate fra le cosiddette strutture rigide (*hard*), quelle del secondo tipo sono dette morbide o leggere (*soft*). L'aggettivo va riferito appunto al tipo di impatto dell'una o dell'altra struttura difensiva sull'ambiente costiero. Le diverse strutture di difesa della costa dall'erosione del mare vengono utilizzate sia singolarmente sia inserite in un sistema articolato di difesa. Esse possono anche essere distinte in:

- strutture di difesa aderenti;
- strutture di difesa disposte normalmente alla linea di riva;
- strutture di difesa distanziate (continue o segmentate);
- opere di ripascimento artificiale (spiagge artificiali).

Ai fini della valutazione dell'impatto ambientale di un qualsiasi intervento difensivo, va posta attenzione non solo all'effetto sul tratto di costa che si intende proteggere, ma anche a quello conseguente sui tratti limitrofi.

5.1 Le strutture di difesa radente

Una struttura radente (Figura 4), tipicamente, non costituisce in genere un provvedimento di lunga durata, dal momento che richiede frequenti interventi di manutenzione, ed è soggetta al pericolo di sfiancamento dei lati se non adeguatamente protetti. Essa tuttavia non porta svantaggi alle spiagge limitrofe, se si esclude il man-

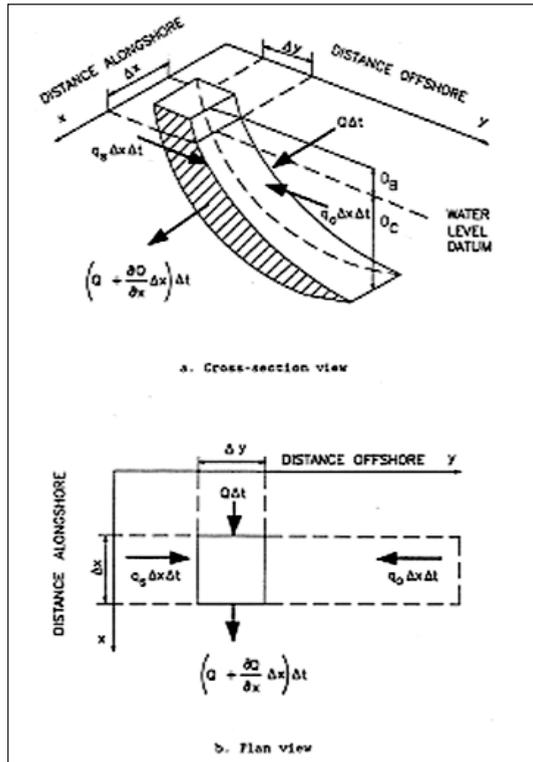


Figura 3 - Schema di calcolo dei modelli ad una linea.

cato arrivo sottoflutto del materiale che prima veniva eroso. L'erosione della spiaggia protetta, però, non viene completamente bloccata da questo tipo di intervento, anzi vi è il rischio che essa possa risultare incrementata, sia pure limitatamente alla parte di spiaggia sommersa antistante il piede dell'opera di difesa. Infatti, la presenza della struttura, impedendo all'onda di propagarsi oltre verso terra, la costringe a frangere, dissipando quasi l'intera energia residua e riflettendone una parte. L'onda sfoga il suo impeto in special modo aggredendo la base della struttura con un'a-

Approach	Changes to the Natural, Physical System							Changes to Man's System			Changes in Both	No Change			
Class	Armoring Structures		Beach Stabilization Structures and Facilities			Beach Restoration	Adaptation and Accomodation		Combinations		Do Nothing				
Type	Seawall	Bulkhead	Dike/Revetment	Breakwaters	Groins	Sills	Vegetation	Groundwater Drainage	Beach Nourishment	Sand Passing	Flood Proofing	Zoning	Retreat	Structural and Restoration	Structural, Restoration and Adaptation

Tabella 2 - Alternative possibili per la riduzione del rischio da erosione costiera (Coastal Engineering Manual, 1998).

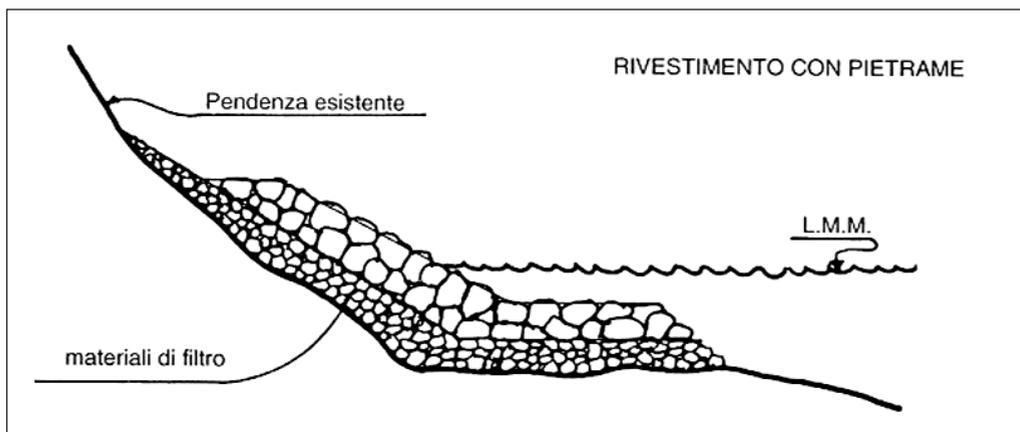


Figura 4 - Sezione trasversale della spiaggia con difesa radente.

zione di zappamento al piede, particolarmente pericolosa per la stabilità della struttura stessa. Ne deriva allora l'utilità di curare e rinforzare adeguatamente il fondo alla base di simili strutture.

Il limite superiore, cui va proseguito il rivestimento, deve risultare necessariamente più alto di quello di possibile risali-

ta dell'onda, per evitare scalzamenti del terreno erodibile retrostante per il superamento della struttura.

Spesso è necessario l'utilizzo di un filtro a causa della finezza dei sedimenti del fondo; se questo è costituito da sabbia, mal sopporta l'azione ondosa al piede, causando, con il suo spostamento, il degrado del-

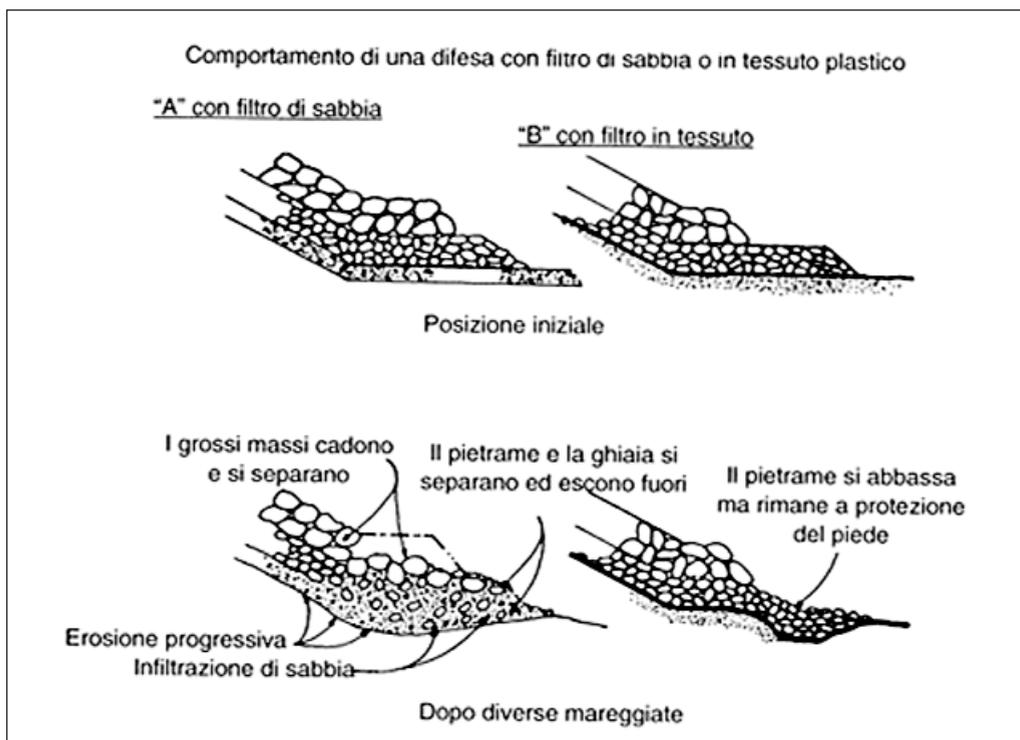


Figura 5 - Struttura di difesa con filtro di sabbia o in tessuto plastico.



Figura 6 - Struttura di difesa radente al piede di un rivestimento della falesia realizzata con la tecnica della terra armata; litorale della città di Bisceglie (BA).

la struttura per affossamento (Figura 5).

La figura 6 mostra a titolo di esempio, la difesa radente recentemente realizzata a Bisceglie (BA) per ridurre l'azione del moto ondoso sulla terra armata posta a tergo.

5.2 I pennelli

La costruzione di uno o più pennelli può rappresentare una soluzione economica ed efficace per proteggere un tratto di costa in erosione, quando è accertata l'esistenza di un consistente trasporto litoraneo di sedimenti di spiaggia. I pennelli, interrompendo totalmente o parzialmente, a seconda della loro lunghezza e altezza sul livello medio mare, il trasporto lungo riva, assicureranno al tratto di spiaggia da proteggere la quantità di materiali necessaria per il protrimento della spiaggia. I pennelli sono quindi delle strutture che, sottraendo le sabbie al movimento lungo riva, permettono che la spiaggia non arretri con la velocità osservata prima dell'intervento. Però, si ba-

di bene, se l'analisi statistica dei dati di moto ondoso sottocosta rivela che l'attacco ondoso è prevalentemente frontale, la deriva litoranea sarà scarsa; in tal caso un sistema di pennelli non assicura la difesa della spiaggia, anzi può risultare dannoso, facilitando l'allontanamento verso il largo dei sedimenti più fini. In ogni caso, sono preferibili i pennelli corti e bassi, che, non interrompendo del tutto il trasporto delle sabbie, non annulla drasticamente l'arrivo

dei materiali alla riva sottoflutto. I pennelli lunghi e alti, al contrario, una volta che il materiale accumulatosi sopraflutto abbia raggiunto la testata, indirizzando la deriva verso fondali profondi, dove le sabbie sono da considerarsi prevalentemente perdute per la spiaggia attiva.

Quando la difesa è costituita da un sistema di pennelli, la costruzione dovrà iniziare dal primo pennello lato sottoflutto per proseguire, in successione, verso il lato sopraflutto, in modo tale che i sedimenti



Figura 7 - Un pennello realizzato in legno.



Figura 8 - Sistema di frangiflutti distanziati emergenti e tomboli a loro tergo, litorale di Fano (Marche).

riempiano l'area desiderata. Particolare attenzione va posta nell'ammorsare bene a terra la radice del pennello, al fine di evi-

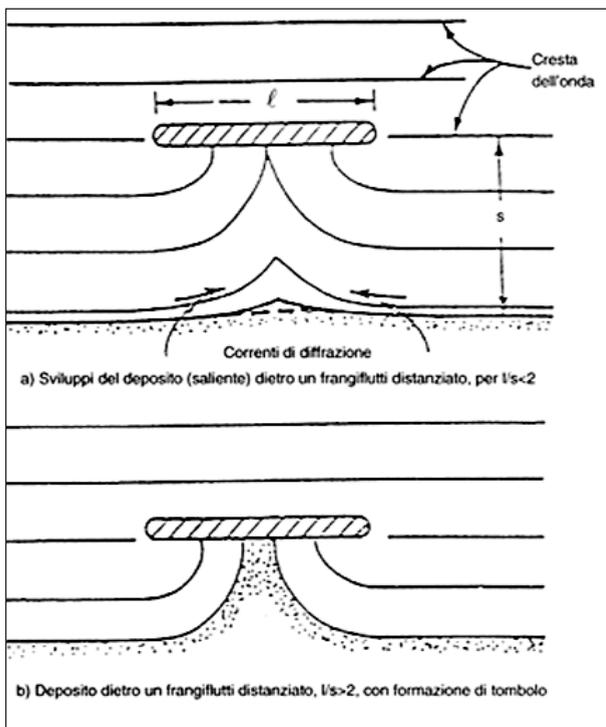


Figura 9 - Limiti del rapporto l/s per la formazione del tombolo o del saliente.

tare il suo aggiramento e sfiancamento da parte dell'onda. Un pennello corto potrà estendersi, in spiagge basse e sottili mediamente esposte, fino a profondità di circa 2 m; inoltre sarà bene che la sommità della testata sia tenuta a livello non superiore a quello di bassa marea.

Si riportano casi in cui i pennelli sono stati realizzati in legno anziché, come prassi, in massi naturali di cava (Figura 7).

L'impiego dei pennelli è utile anche quan-

do si realizza una spiaggia con versamento artificiale. In tal caso, un sistema di pennelli tende a ridurre l'asportazione di materia-

le per effetto della deriva litoranea e quindi a limitare la necessità periodica di versamenti.

5.3 I frangiflutti distanziati emergenti e segmentati

La difesa di una costa dall'azione erosiva dell'onda frangente su di essa può ottenersi obbligando la stessa a frangere al largo su di una struttura appositamente realizzata. Una barriera frangiflutti, generalmente realizzata con scogli di cava o massi artificiali gettati in cumulo su fondali mediamente bassi parallelamente alla battigia o ad una certa distanza da questa, risulta senza dubbio efficace. Poiché l'interesse difensivo è limitato alle onde più alte e ripide, cioè erosive, la tendenza costruttiva è di realizzare strutture poco alte sul livello del mare o addirittura anche al di sotto di esso (barriere sommerse), in modo da permettere ad un certo numero di

onde di scavalcare la barriera e giungere, ormai ridotte nella loro forza, alla battigia. In tal modo si ottengono due importanti risultati, oltre quello del minor costo della struttura: il primo è quello di un certo apporto dei sedimenti in sospensione nella massa d'acqua trascinata, che va ad arricchire la spiaggia che si vuole protetta; il secondo è quello di vivacizzare lo specchio d'acqua protetto.

In Italia si è fatto largo impiego di elementi di barriere frangiflutti distanziate, posate per lo più su fondali intorno ai $2,5 \div 3$ m ed emergenti di circa $0,5 \div 1$ m sul livello medio mare. Per ridurre il costo delle opere e per evitare la rapida eutrofizzazione delle acque, si preferisce spesso realizzare la barriera con varchi lungo la stessa al fine di assicurare attraverso questi un sufficiente ricambio di acqua. Ma anche in questi casi occorre tener conto che, nei tratti di costa protetti, si depositeranno comunque le sabbie trasportate dalla deriva litoranea non più alimentata dall'onda di largo, con possibile formazione dei deprecati tomboli e ulteriore impedimento del necessario ricambio delle acque (Figura 8).

In alcune recenti realizzazioni su spiagge italiane, si è assunto che l'ampiezza dei varchi sia circa il 30% della lunghezza degli elementi di barriera, assunta pari a circa 100 m. In tal caso, la distanza della barriera dalla riva non sarà inferiore a 60 - 70 m. Nei casi più comuni di spiagge sottili, caratterizzate da pendenze molto dolci, le barriere imbasate a profondità comprese fra i 2 e 3

m risulteranno a distanza dalla riva maggiore di quelle sopra indicate. La scelta della lunghezza del segmento, l , in rapporto alla distanza dalla riva, s , è importante anche per evitare il formarsi di un tombolo, fatto certamente indesiderato da un punto di vista igienico. In figura 9 sono schematizzati i casi di formazione di un saliente e di un tombolo con i limiti del rapporto l/s come riferiti da Dean in base ad esperienze sul campo (per spiaggia sabbiosa).

Quando un sistema di barriere emergenti, sia pure segmentate e distanziate e per lo più realizzate con gettate di pietra, viene impiegato a difesa di spiagge sottili di grande interesse per la balneazione, esso denuncia due tipi di svantaggi:

- nella zona di bagnasciuga della scogliera proliferano, in breve tempo, una flora algale che è indice dei processi di eutrofizzazione, che si instaurano nelle acque protette, a causa del non sufficiente ricambio delle acque, specialmente nel periodo estivo con risultante degrado della qualità dell'acqua e relativo impedimento dell'uso balneare;
- durante le mareggiate, le veloci correnti di ritorno verso il largo, che si hanno attraverso i varchi, causano il rapido approfondimento dei fondali se i terreni sono facilmente erodibili, ad esempio sabbia. Il fenomeno risulta pericoloso per i bagnanti a causa della formazione di buche e correnti, le cosiddette *rip currents* (correnti a getto), e comporta inoltre l'instabilità delle testate degli elementi di barriera.



Figura10 - Schema di una sezione trasversale di diga frangiflutti distanziata sommersa.



Figura 11 - Le dighe distanziate sommerse a Monte Marciano (AN).

Anche il deposito dei sedimenti più fini sottratti alla naturale dinamica del litorale è una cosa positiva per l'ampliamento della spiaggia, ma spesso negativo dal punto di vista igienico della stessa. Altro effetto negativo è l'erosione della riva sottoflutto.

Per assicurare il migliore ricambio d'acqua nella zona interna, si può pensare di rendere tracimabile la barriera in ogni condizione di mare, portando la cresta della

struttura a quota inferiore o pari a quella della bassa marea. In tal caso possono non essere più necessari i varchi.

5.4 I frangiflutti sommersi

Un sistema di difesa costituito da una diga frangiflutti sommersa (Figura 10) può essere la soluzione progettuale, che contempererà in modo opportuno le esigenze di difesa della costa dalle mareggiate come dall'inquinamento; esso riduce inoltre la

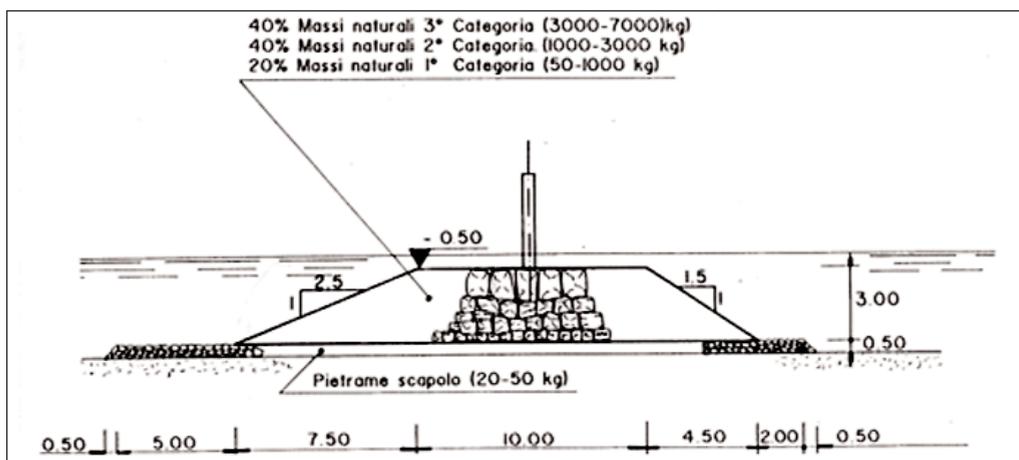


Figura 12 - Sezione tipo della diga distanziata sommersa a Monte Marciano (AN).



Figura 13 - Ripascimento di spiaggia con sedimenti da cava sottomarina.

possibilità della formazione di tomboli e quindi anche gli effetti negativi sulla riva sottoflutto (Figure 11 e 12).

Una barriera sommersa è spesso meno costosa di un sistema di elementi emergenti con varchi, poiché il suo volume può risultare minore nel paragone, a parità di attenuazione delle maggiori onde, e comunque richiede minori interventi manutentori. Gli effetti della

riduzione dell'energia ondata, prodotti dalle barriere sommersa diminuiscono rapidamente all'aumentare della sommergenza.

5.5 La difesa mediante apporto artificiale di sabbia alla spiaggia

L'erosione di una spiaggia, come già detto, è la conseguenza di un asporto di ma-

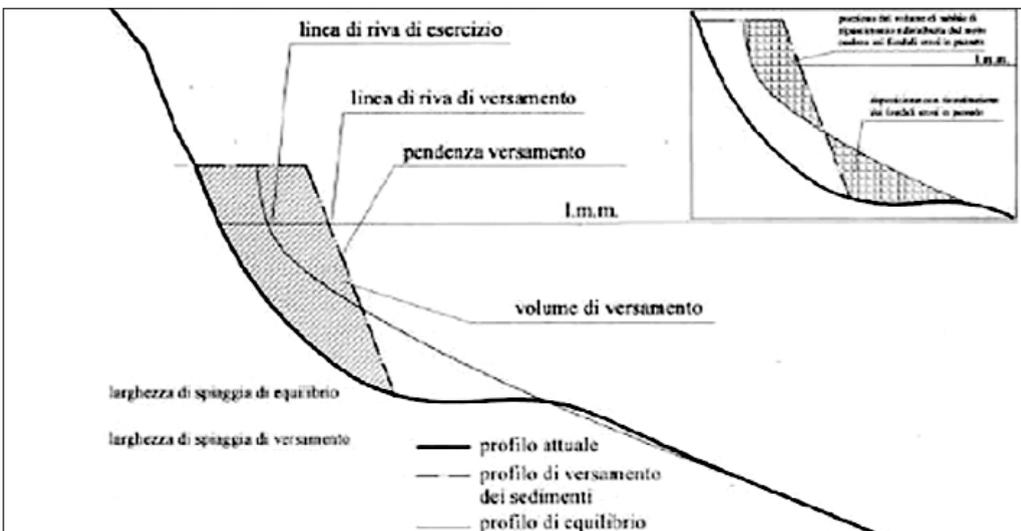


Figura 14 - I profili di spiaggia iniziale, di versamento e di equilibrio.

teriale in quantità superiore a quella di apporto. La modifica di questo bilancio negativo, mediante la fornitura artificiale della sabbia mancante, risulta evidentemente un intervento idoneo non solo a frenare il fenomeno erosivo, ma anche, se la quantità fornita è in eccesso rispetto alla stretta necessità di stabilizzazione, a fare avanzare la battigia verso il mare. Non vi può essere alcun dubbio che un simile tipo di difesa naturale presenti anche vantaggi di carattere igienico e ambientale.

Questo tipo di intervento di difesa rientra fra quelli detti *soft*. Quello del versamento artificiale di sabbia è il sistema principe fra le strutture di difesa della spiaggia. In realtà, esso rappresenta il mezzo di difesa più idoneo, perché emula la natura, il cui impiego, limitato quasi unicamente dalla disponibilità di cave a terra o in mare al largo a profondità non inferiori a 70 m (Figura 13), ha il vantaggio di una buona ed efficiente difesa della linea di riva, che potrà anche avanzare (spiagge artificiali), e la quasi totale assenza di svantaggi, specialmente sulle coste limitrofe.

E' tuttavia da ricordare che il rifornimento artificiale della spiaggia non risolve il problema dell'erosione alla radice e che occorre che esso sia periodicamente ripetuto per equilibrare le perdite naturali di sabbia contemporaneamente causate dall'azione dell'onda.

E' consigliabile studiare la fattibilità di distribuire meccanicamente o idraulicamente la sabbia direttamente su una spiaggia in erosione per riparare o formare, e successivamente conservare, una adeguata spiaggia protettiva e considerare altre misure di rimedio come ausiliarie a questa soluzione (per esempio un sistema di opere rigide può incrementare l'effetto di difesa). Il volume di sedimenti disposto inizialmente secondo un profilo trasversale da progetto, verrà in seguito rimodellato dall'azione del moto ondoso (Figura 15).

Il ripascimento di un segmento di spiaggia erodibile può essere anche ottenuto, stoccando adatto materiale al suo limite so-

prattutto, utilizzando cioè i naturali processi di trasporto lungoriva per distribuire il materiale lungo la rimanente spiaggia. Qualche inconveniente di carattere ambientale è da prevedersi per l'aumento temporaneo della torbidità delle acque costiere.

Bibliografia

- Bruun, P., 1954, "Coast erosion and the Development of beach profiles". Technical Memorandum No. 44, Beach Erosion Board.
- Coastal Engineering Manual, 1998, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS, (<http://chl.erdc.usace.army.mil/CHL>)
- Dean, R.G., 1977, "Equilibrium Beach Profiles:US Atlantic and Gulf Coasts," *Ocean Engineering Report No. 12*.
- Dean, R.G., and Dalrymple, R.A., 2002, *Coastal Processes with engineering applications*. Cambridge University Press
- Hanson H., 1987, "GENESIS, A Generalized Shoreline Change Model for Engineering Use," Report No. 1007, Department of Water Resources Engineering, University of Lund, Lund, Sweden.
- Hanson, H., 1989, "GENESIS -"A Generalized Shoreline Change Numerical Model", *Journal of Coastal Research*, V, 1, 1-27.
- Horikawa, K., and Hattori, M., 1987, "The Nearshore Environment Research Center Project," Proceedings Coastal Sediments '87, *American Society of Civil Engineers*, 568-582.
- Hunt, J.F., 1979, "Direct Solution of the Wave Dispersion Equation," *Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 105, WW4
- Kraus, N.C., and Hrikai, S., 1983, "Numerical Model of the shoreline change at Oarai Beach," *Coastal Engineering*, VII, 1, 1-28.
- Moore, B., 1982, "Beach Profile Evolution in Response to Changes in Water Level and Wave Height," M.S. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Delaware.
- Ozasa, H., and Brampton, A. H., 1980, "Mathematical Modeling of Beaches Backed by Seawalls," *Coastal Engineering*, 4, 1, 47-64.
- Pelnard-Considere, R., 1956, "Essai de Theorie de l' Evolution des Forms de Rivage en Plage de Sable et de Galets, *4th Journees de l'Hydraulique, Les Energies de la Mer*.
- Tomasicchio, U. and Tomasicchio, G.R., 1998, *Manuale di Ingegneria Portuale e Costiera*. BIOS Editore, Cosenza.

Reperimento e compatibilità di sedimenti prelevati in aree continentali ai fini di azioni di ripascimento costiero: l'esempio dell'entroterra ionico della Basilicata

Sergio Longhitano
*Dipartimento di Scienze Geologiche,
Università degli Studi della Basilicata*

Sommario

La costa ionica della Basilicata è caratterizzata dalla presenza di una estesa spiaggia, costituita da un arenile formato da sedimenti sabbiosi e subordinatamente ghiaiosi, che derivano dalla ridistribuzione dei depositi riversati da diversi corsi d'acqua, da parte del moto ondoso e del *drift* litoraneo. Nelle ultime decine di anni, la modificazione di importanti equilibri ad opera sia di interventi antropici direttamente sulla costa ma anche nei settori medio-alti dei bacini di drenaggio fluviali che sottendono la costa, concomitanti alle recenti e repentine variazioni climatiche in corso, hanno determinato un forte stato di arretramento costiero del litorale ionico, con pesanti conseguenze sugli aspetti naturalistici e turistici che lo caratterizzano.

Le esperienze di interventi su litorali in arretramento che derivano dall'attività di salvaguardia sia in campo internazionale, ma soprattutto attuate nelle ultime decine di anni lungo le coste del territorio italiano, hanno dimostrato come l'intervento più efficace per ripristinare, anche se in parte, lo stato dei luoghi di un litorale in forte erosione, è quello del *ripascimento costiero*, il versamento, cioè, di volumi di sedimenti derivanti da un area sorgente, direttamente sull'arenile.

In questo articolo vengono discusse alcune problematiche relative i) al reperimento di volumi di sedimento sufficienti ad azioni di ripascimento nell'entroterra delle aree costiere di intervento, ii) a compatibilità sia granulometrica che mineralogica tra i sedimenti derivanti da un area sorgente e l'arenile di destinazione, iii) alle modalità di monitoraggio e mantenimento dei sedimenti riversati lungo una spiaggia in arretramento durante e dopo la messa in opera dell'azione di ripascimento costiero.

1. Premessa

Da tempi immemori l'uomo tenta di considerare una linea di litorale come un bene prezioso, da utilizzare secondo le proprie esigenze. Secondo questo tipo di visione atavica, un'area costiera viene in un primo momento sfruttata dall'uomo stesso, utilizzata secondo i suoi propri massimi potenziali e successivamente salvaguardata, attraverso l'applicazione di tecnologie di tipo ingegneristico, alcune delle quali risalgono ai tempi dei greci.

Questo tipo di ottica esclusivamente antropica di intendere un litorale contrasta fortemente con la natura stessa di una spiaggia.

Soucie (1973) definisce una spiaggia come un «un sistema in equilibrio dinamico, concetto estraneo al modo di pensare dell'uomo che ha piuttosto un'idea statica dell'equilibrio: una volta che sia stata definita una linea, sia essa la linea di riva o un confine, l'uomo, irrazionalmente, ritiene che essa debba essere inamovibile».

E proprio tale inamovibilità è un concetto totalmente estraneo ad un ambiente di spiaggia, sia esso caratterizzato da sedimenti fini e da bassi gradienti morfologici, sia esso costituito da sedimenti più grossolani e da una più complessa fisiografia.

In realtà, una spiaggia deve essere intesa come un'entità fisiografica in continuo divenire, capace di assumere differenti profili di equilibrio in funzione della variazione dei regimi energetici dinamici dai quali essa stessa dipende, anche nel corso di pochi anni. Tali profili rappresentano lo «stato di adattamento» del sistema alle variate condizioni di energia. In altre parole, l'aspetto che può assumere una spiaggia diventa una diretta espressione dei recenti regimi energetici che hanno caratterizzato quel determinato tratto di costa.

La volontà dell'uomo di «immobilizzare» un tratto costiero diventa una pretesa che spesso collide con i naturali meccanismi di «mutamento» propri dell'ambiente naturale di una spiaggia. Ecco perché nella programmazione degli interventi a tutela e salvaguardia di un litorale, questo concetto dovrebbe sempre essere tenuto presente.

Sempre Soucie (1973) recita «Il vero conflitto non è fra il mare e la spiaggia - la loro è solo una baruffa tra innamorati - ma fra l'uomo e la natura».

2. Il Sistema costiero e l'ambiente di spiaggia

L'insieme degli ambienti che insistono lungo un tratto costiero rappresenta un unico sistema deposizionale, definito appunto come «sistema costiero», ove i sedimenti che ivi vengono mobilitati e/o redistribuiti sono legati alla concomitante azione di processi di natura alluvionale e marina (Carter, 1988).

Un sistema costiero può o non può «contenere» un ambiente di spiaggia (basti pensare a quei tipi di coste in cui, per effetto della morfologia a falesia, lo spazio affinché si possa sviluppare un litorale sabbioso risulta insufficiente).

L'ambiente di spiaggia risulta essere la parte di un sistema costiero più a diretto contatto con il mare (e per questo motivo maggiormente dipendente da esso) e pertanto caratterizzato da un più basso potenziale di preservazione nel tempo. Con quest'ultimo concetto si intende la possibilità di preservare appunto quell'insieme di caratteristiche fisiche che compongono un litorale dall'attività ordinaria e straordinaria degli agenti energetici che agiscono su di esso.

Nel nostro caso specifico, una spiaggia è caratterizzata da una serie di sotto-ambienti (più esterni e più interni in funzione della loro posizione relativa rispetto al mare) i quali risentono, in termini di volumi di sedimenti e di relativa estensione, degli apporti da parte dei corsi d'acqua che sottendono un determinato tratto di costa e dell'azione del moto ondoso sulla spiaggia, sia durante i periodi di quiescenza che durante i periodi di alta energia (Carter, 1988; Walker & Plint, 1992).

Una spiaggia rappresenta il risultato fisico di questo tipo di equilibrio che si realizza tra questi due principali fattori di controllo (Figura 1).

Molto spesso, durante la programmazione di lavori atti a tutelare e salvaguardare una determinata fascia litorale, questo tipo di concetto viene trascurato o addirittura travisato.

La valutazione dei regimi energetici, strumento preventivo nella programmazione di un qualsiasi tipo di intervento artificiale sulla spiaggia, deve essere effettuata estendendo statisticamente le osservazioni ad un lasso di tempo più ampio e dettagliato possibile, sì da ottenere un *trend* delle variazioni energetiche del moto ondoso e dei sistemi alluvionali attendibile ed affidabile.

Tale asserzione si basa sul concetto di *wave-dominated coastline* (Davis & Hayes, 1983). Nei più comuni tipi di classificazione dei sistemi costieri proposti (Johnson, 1919; Davies, 1964; Shepard, 1973; USAC, 1977; Davies, 1980; Fairbridge, 1992; Davis, 1996; Fairbridge, 2004), vengono presi in considerazione tre fattori di controllo energetico sul sistema: (i) l'influenza delle maree, (ii) del sistema di alimentazione fluviale e (iii) del moto ondoso. Nelle nostre aree mediterranee i primi due fattori di controllo presentano spesso effetti trascurabili: ci troviamo all'interno di un bacino, quello Mediterraneo appunto, di tipo microtidale (fatta eccezione per quelle aree in cui gli spinti tassi di subsidenza provocano un'amplificazione passiva dei flussi tidali), ed il contributo solido ed energetico offerto dai corsi d'acqua è stato enorme-

mente mitigato dall'attuazione di opere antropiche di tipo dissipativo che sottendono generalmente la parte inferiore dei vari bacini di drenaggio fluviali.

Pertanto, in una corretta valutazione dello stato energetico di un tratto di litorale, il ruolo preponderante viene svolto appunto dal moto ondoso e dalla sua variabilità nei tassi energetici durante il corso di uno o più anni idrologici.

In funzione di questa ottica, diviene opportuno considerare un profilo di spiaggia secondo le proprie caratteristiche morfosedimentarie intrinseche e che ne possono rappresentare (i) un modello di tipo *dissipativo*, nel caso in cui si tratti di litorali bassi e sabbiosi, dotati di entità morfobattimetriche tali da dissipare appunto l'energia del moto ondoso anche a grande distanza dalla battigia, e (ii) di tipo *riflessivo*, nel caso in cui la morfologia della costa sia tale da ricevere in pieno l'energia del moto ondoso senza smorzarla e tendendo a rifletterla verso il largo (Orton & Reading, 1993).

3. L'Arretramento costiero

Quando un litorale subisce in modo ricorrente l'effetto di forti eventi idrodinamici, rappresentati soprattutto dall'azione dell'incidenza del moto ondoso su di esso, per periodi prolungati e tali da non potere natu-

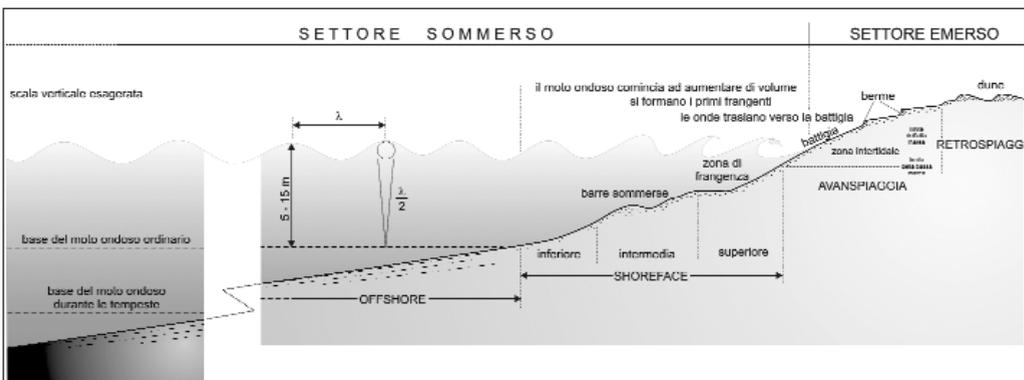


Figura 1 - Profilo schematico del settore emerso e sommerso di un sistema deposizionale di spiaggia e suddivisione in relativi ambienti deposizionali in funzione della profondità di azione del moto ondoso in condizioni ordinarie (modificato da Walker & Plint, 1992).

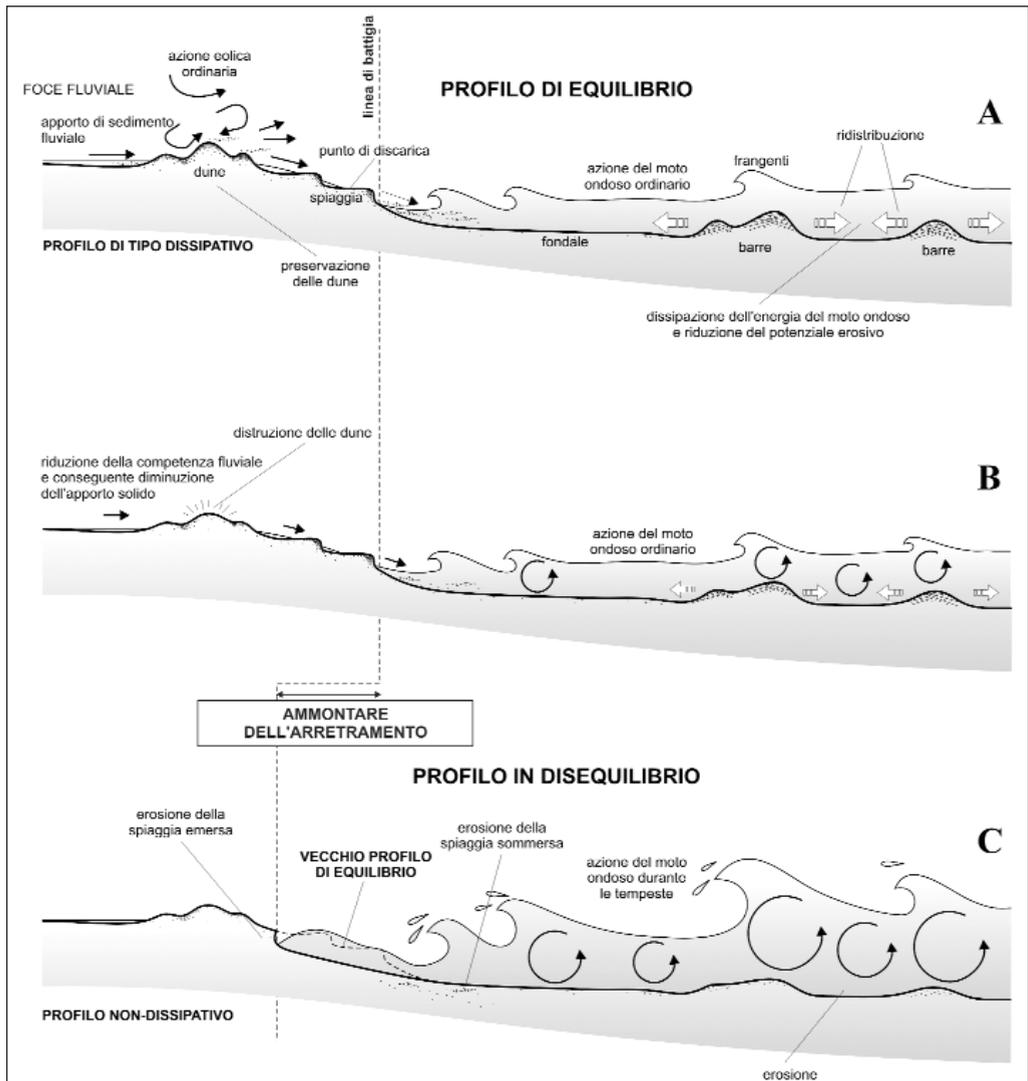


Figura 2 - Transizione tra il profilo morfologico di un sistema di spiaggia in condizioni di equilibrio (stadio 1) ed in condizioni di disequilibrio (stadi 2 e 3: arretramento) in seguito al decremento dell'apporto di sedimento alla costa e in conseguenza dell'incremento dell'azione erosiva da parte del moto ondoso. Si noti come, al diminuire della quantità di sedimento che alimenta la costa, le barriere naturali sommerse presenti lungo un profilo subacqueo di spiaggia perdano il loro potenziale di dissipazione dell'energia del moto ondoso (modificato da Longhitano & Colella, 2007).

ralmente assicurare un recupero delle condizioni di equilibrio dinamico, l'effetto che si realizza è un arretramento della linea di battigia verso il continente ed una conseguente perdita di superficie emersa "fruibile".

Il fenomeno dell'*arretramento costiero* è un processo che è intimamente legato al

concetto di equilibrio dinamico, concetto enunciato e sviluppato da diversi emeriti scritti scientifici negli ultimi decenni (e.g.: Woodroffe, 2002, e relativi riferimenti bibliografici).

Tale condizione di equilibrio regola lo stato di conservazione di un litorale costituito

da sedimenti da fini a medio-grossolani, e soggetto all'azione energetica sia del moto ondoso che, subordinatamente, delle correnti litorali incidenti su di esso (Figura 2).

Durante ogni mareggiata, un determinato volume di materiale solido subisce un definitivo allontanamento dalla spiaggia di origine; questo processo modifica sensibilmente il profilo longitudinale della spiaggia da leggermente convesso a marcatamente concavo, producendo un vistoso arretramento della linea di battigia verso il continente ed una sensibile diminuzione della superficie del settore di spiaggia emersa (Figure 2A e B). L'effetto del trasporto solido ad opera dei corsi d'acqua limitrofi e/o il prodotto dell'azione del *drift* litoraneo attraverso quel determinato tratto di spiaggia, ripristina in tempi moderati i volumi di sedimento perduti, ricostituendo un ideale *profilo di equilibrio* come nuovo stato di adattamento alle altrettanto nuove condizioni idrodinamiche del litorale (Clark, 1996; Bird, 2000). Quando questo naturale processo di ripascimento non avviene, a causa di un *deficit* sedimentario della costa, il sistema di spiaggia non ripristina più questa sua condizione di equilibrio (Figura 2C)

L'arretramento costiero deve essere quindi considerato non come l'effetto momentaneo di una o più singole mareggiate nell'arco di una sola stagione, ma la sommatoria di tutti gli episodi di erosione dinamica sulla costa che non hanno ricevuto un adeguato naturale ripascimento, calcolato in un lasso di tempo sufficientemente lungo e sicuramente superiore al corso di un singolo anno idrologico.

4. Il Ripascimento costiero e le problematiche di intervento

Il ripascimento artificiale inteso come tecnica di salvaguardia e protezione di tratti di litorali in forte erosione (Dornhelm, 1995) può essere considerato come un tipo di intervento assai complesso e talvolta molto dispendioso, in quanto prevede due prin-

cipali fasi: una prima di *programmazione* dell'intervento, in cui vengono individuate le aree "sorgenti" (continentali e/o marine), da cui prelevare adeguati volumi di sedimento e, successivamente, una fase *esecutiva*, durante la quale attuare il versamento del materiale secondo modalità e tempi diversi (da qui il significato del termine ri-pascimento) in funzione del caso (Figura 3).

L'obiettivo di un intervento di ripascimento, non è soltanto quello di aumentare la superficie "emersa" della spiaggia, ma soprattutto quello di accrescere volumetricamente la spiaggia soprattutto nella sua porzione sommersa (una spiaggia emersa "stabile" è anche una spiaggia che possiede un settore sommerso robusto e di notevoli porzioni) (Finkl & Walker, 2006). Per rendere stabili i sedimenti che costituiscono la porzione sommersa di un settore di spiaggia in ripascimento, vengono spesso attuate delle opere di salvaguardia di diversa natura.

Durante lo scorso secolo, sono state numerose le tecniche atte al controllo dell'erosione attraverso l'attuazione di strutture di tipo ingegneristico, quali pennelli, barriere frangi-flutti, *jetties* lungo le coste. Tradizionalmente, le strutture di protezione vengono realizzate con l'obiettivo di ridurre o dissipare l'energia del moto ondoso incidente su una costa o con la finalità di "catturare" del sedimento in transito lungo una costa, per fornire, in ultimo, protezione nei confronti di un litorale in arretramento.

Questi tipi di interventi, ed altri di varia natura, che sono stati attuati negli ultimi anni, hanno spesso fornito soltanto in modo parziale una protezione alla costa ed, in alcuni casi, hanno esacerbato il problema cui erano stati designati di risolvere.

Attualmente, il ripascimento artificiale di un tratto di costa in erosione rappresenta il metodo di scelta di intervento a protezione della spiaggia comunque più utilizzato (Psuty & Moreira, 1990; Silvester & Hsu, 1993). Tale intervento viene spesso accompagnato dalla messa in opera di strutture di integrazione fisse, la cui realizzazione resta comunque un argomento di grande dibattito all'interno della comunità scientifica internazionale.



Figura 3 - Esempio dell'effetto di una azione di ripascimento di sedimento lungo un tratto di litorale californiano (da Finkl & Walker, 2006).

Un intervento di ripascimento artificiale ha alcuni principali obiettivi: i) l'avanzamento della linea di costa verso il mare; ii) l'incremento della dimensione e dell'estensione delle dune; iii) la riduzione del rischio nei confronti dell'avanzamento del mare durante le tempeste o dei problemi di sovralluvionamento durante abbondanti precipitazioni; iv) l'incremento della superficie "fruibile" di una spiaggia (Finkl & Walker, 2006).

5. Il reperimento di materiale in aree continentali: il caso dell'entroterra ionico della Basilicata

Spesso il reperimento del materiale che deve contribuire al ripristino delle condizioni di equilibrio di un tratto di litorale non è un problema facilmente risolvibile. Il grado di accuratezza con cui procedere dipende da due categorie di problematiche: (i) il budget finanziario a disposizione per poter programmare e realizzare l'intero in-

tervento e (ii) uno *screening* completo dei caratteri morfologici e sedimentologici del settore di intervento.

Risulta inequivocabile come l'accuratezza tramite cui può essere sviluppato il secondo punto dipenda strettamente dal primo punto.

In ogni caso, le tematiche che devono essere affrontate in fase di massima e di esecuzione dell'intervento risentono dell'influenza di un altissimo numero di variabili che, nell'occasione, vengono riassunte nelle seguenti categorie: a) valutazione dei volumi di sedimento reperibili; b) compatibilità granulometrica dei sedimenti rinvenuti in affioramento (o in mare, nel caso in cui la ricerca venga appunto programmata in aree marine sufficientemente distanti dalla costa); c) compatibilità mineralogico-petrografiche dei sedimenti reperiti; d) eventuale trattamento del sedimento prelevato; e) garanzie di mantenimento dei sedimenti riversati nel tempo.

Il caso della costa ionica della Basilicata offre interessanti spunti di ricerca e di programmazione circa le problematiche sopra definite.

Recenti studi hanno evidenziato come una buona parte del litorale ionico soffra di un consistente arretramento costiero oramai divenuto palese negli ultimi decenni ed amplificato dall'ingente riscontro negativo sullo sviluppo turistico del litorale stesso.

Tale litorale è rappresentato da un lungo arenile sabbioso, subordinatamente e localmente ghiaioso, ove le foci dei principali corsi d'acqua che lo sottendono ne rappresentano le uniche soluzioni di continuità (Spilotro et al., 1988; Simeoni et al., 2001) (Figura 4).

L'entroterra del settore costiero di tale litorale è rappresentato da una serie di superfici terrazzate, che si innalzano verso l'interno oltre il sesto ordine di terrazzi, fino al raggiungimento di oltre 250 m di altezza s.l.m. (Bianca & Caputo, 2003), e che sono costituite da sedimenti Plio-Quaternari interpretati come chiusura del ciclo della *Fossa bradanica* durante una lunga fase regressiva (Figura 5) (Pieri et al., 1994; 1996; Tropeano et al., 2002).

Tali depositi terrazzati risultano costituiti da sequenze di tipo *coarsening-upward*, formate nella parte bassa della

successione da litofacies ad argille e silt, che evolvono a litofacies sabbiose ed arenacee stratificate nella porzione centrale e successivamente a ghiaie e conglomerati da clinostratificati a massivi nei livelli stratigraficamente più alti di ciascuna singola sequenza.

Tali sequenze raggiungono uno spessore medio di qualche decina di metri e la loro presenza è riscontrabile lungo la verticale stratigrafica in modo ciclico (Sabato et al., 2004).

Questi depositi rappresentano il prodotto della sedimentazione di sistemi deposizionali costieri, costituiti da sedimenti appartenenti ad ambienti di spiaggia sia emersa che sommersa (*shoreface*), ad ambienti deltizi ed ad ambienti di piattaforma prossimale (transizione all'*offshore*) (Sabato, 1996).

I sistemi riconoscibili in affioramento rappresentano dei depositi costieri appartenenti ad un recente passato geologico e che si sono sviluppati durante una lunga fase di ritiro del livello del mare verso la posizione attuale (Pieri et al., 1994; 1996; Tropeano et al., 2002). Per questo motivo, i loro caratteri morfologici e sedimentologici



Figura 4 - Panoramica meridionale del tratto di litorale sabbioso a sud di Metaponto, lungo la costa ionica della Basilicata. Si noti, sullo sfondo, l'estrema vicinanza della linea di battigia alle infrastrutture balneari (Aprile, 2004).

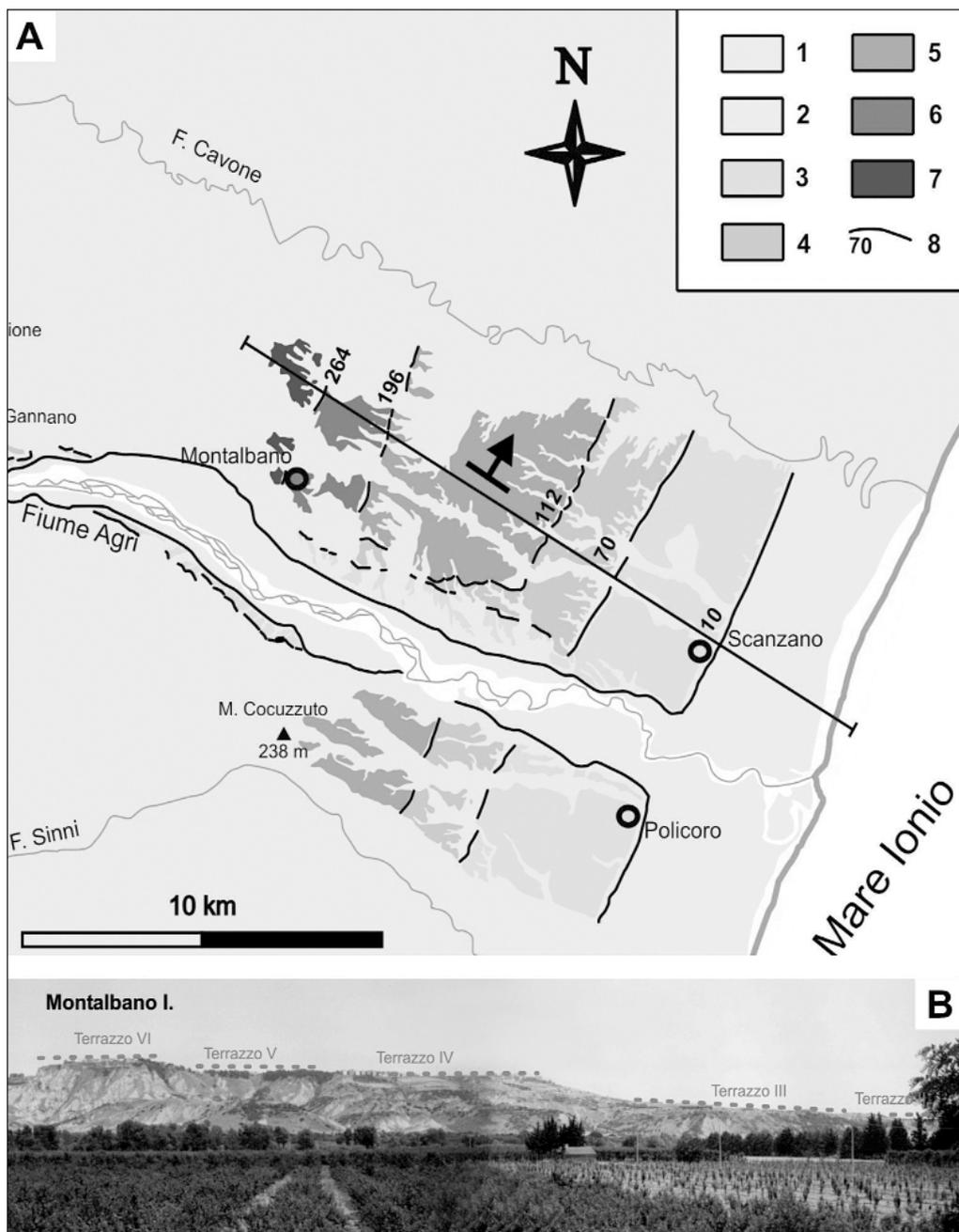


Figura 5 - A. Particolare del settore relativo all'entroterra del Golfo di Taranto, compreso tra i Fiumi Sinni, Agri e Cavone. Le differenti gradazioni del blu (differenti gradazioni del grigio n.d.r.) indicano i diversi ordini di terrazzi marini individuabili. B. Profilo fisiografico osservabile parallelamente la traccia indicata in A (modificato, da Bianca & Caputo, 2003). Si noti la differenza di quota tra il VI ed il II ordine di terrazzo marino. Ciascuna superficie indica il top di sistemi deposizionali costieri Pleistocenici, costituiti da sedimenti con caratteristiche tessiturali e granulometriche riconducibili ai sistemi attualmente presenti lungo la costa ionica.

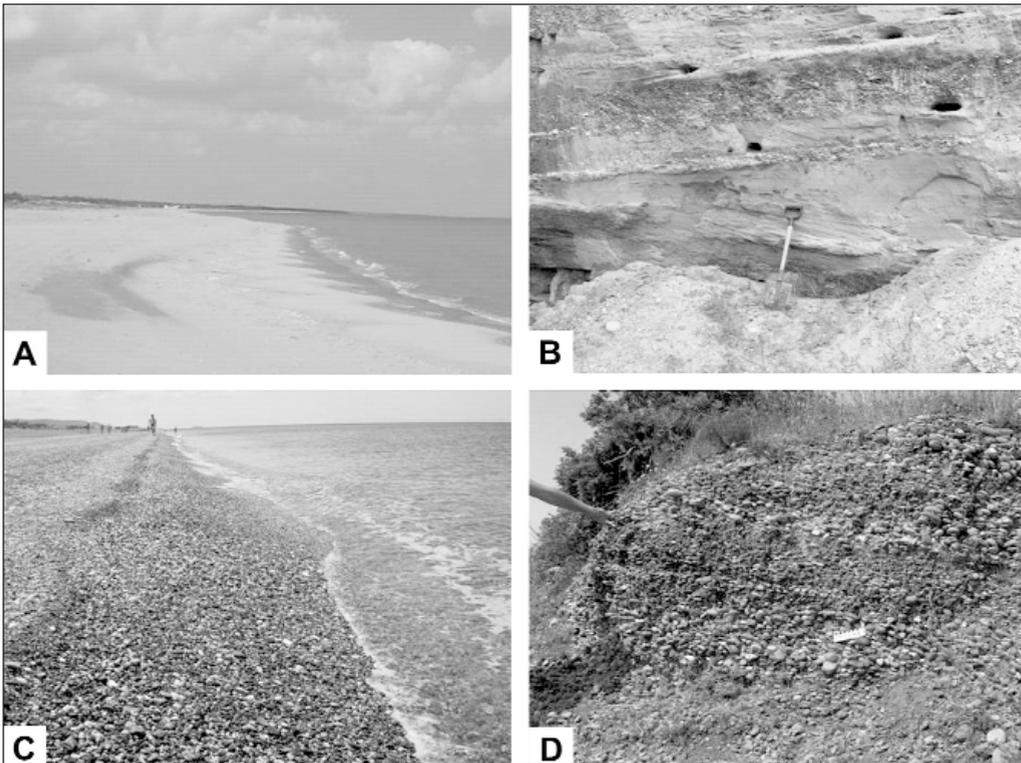


Figura 6 - Esempi di depositi di spiaggia osservabili lungo il litorale ionico della Basilicata. (A) Arenile sabbioso emerso attuale e (B) relativo record sedimentario di un analogo sistema deposizionale del passato (Pleistocene). In C e D, è possibile osservare la stessa corrispondenza tra un sistema di spiaggia attuale e fossile relativamente, caratterizzati in questo caso da sedimenti più grossolani (ghiaie).

sono in molti casi simili a quelli dei corrispondenti sistemi costieri attuali (Figura 6).

Nella maggior parte dei casi, grazie alla marcata tendenza progradazionale di questi sistemi deposizionali, il passaggio latero-verticale delle differenti litofacies avviene in modo transizionale (Figura 7). Ciò significa che, in affioramento, i limiti fisici che separano una litofacies da un'altra ad essa in continuità stratigrafica sono rappresentati non da superfici ma da intervalli transizionali in cui, ad esempio, delle sabbie evolvono per alternanza verso l'alto a ghiaie e conglomerati (Figure 7C, D ed E).

In altri casi, le litofacies ghiaioso-conglomeratiche risultano essersi sviluppate in netta erosione al di sopra delle litofacies sottostanti. In prossimità di alcuni affioramenti è difatti possibile osservare un bru-

sco contatto di conglomerati clinostatificati (ambienti deltizi prossimali) direttamente al di sopra delle litofacies argillose (ambienti di *offshore* più distali e profondi) (Figure 7G ed H).

6. Metodi di reperimento di materiale per il ripascimento in aree continentali: il contributo della Stratigrafia Sequenziale

Il grado di diversità che caratterizza l'organizzazione stratigrafica delle successioni sedimentarie affioranti nell'entroterra

della costa ionica della Basilicata è riferibile al controllo che alcuni fattori di tipo allociclico hanno esercitato durante la sedimentazione di questi sistemi deposizionali costieri (Tropeano et al., 2002; Sabato et al., 2004).

L'evoluzione di questi sistemi nel tempo è stata infatti strettamente influenzata dalle oscillazioni (positive e negative) che il livello del mare ha manifestato durante tutto il Quaternario, combinate con i movimenti verticali che le aree continentali hanno potuto contemporaneamente subire: la sommatoria degli effetti di questi due tipi di fattori di controllo determina la possibilità di ricostruire delle curve di oscillazione relativa del livello del mare. I sistemi deposizionali costieri sono proprio quelli che in modo più "sensibile" registrano questo tipo di perturbazione durante la loro evoluzione sedimentaria.

Il controllo sui meccanismi di sedimentazione e sulle relative architetture deposizionali dei vari depositi costieri è legato alle oscillazioni relative del livello del mare, responsabili sostanzialmente di alternate fasi di avanzamento ed arretramento della linea di costa, anche secondo tempi geologicamente piuttosto rapidi (*oscillazioni di alta frequenza*).

Pertanto, si può affermare come l'organizzazione stratale di questi sedimenti e le loro architetture deposizionali a grande scala dipendano da chiari fattori di ciclicità che sequenzialmente si sono ripetuti nel tempo (Van Wagoner et al., 1988).

Questa intuizione, avanzata all'inizio degli anni ottanta ed espressa nei concetti formulati dalla *Stratigrafia Sequenziale* (Van Wagoner et al., 1988; Van Wagoner et

al., 1990; Mitchum & Van Wagoner, 1991), può suggerire verso quale direzione questi depositi costieri del passato si sono evoluti nello spazio e nel tempo, con quali spessori e con quali caratteristiche granulometriche (Figura 8) (Mutti, 1990).

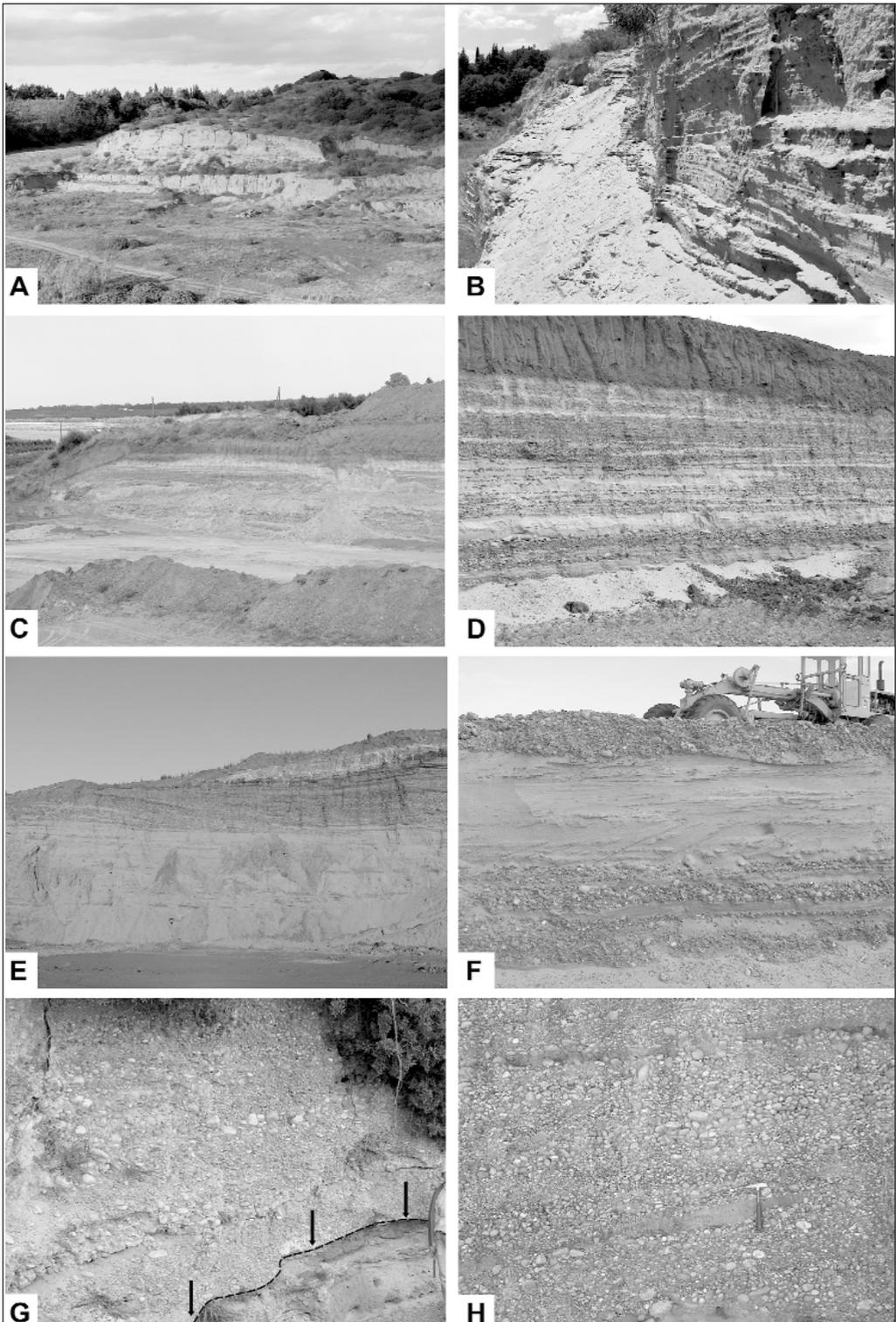
La ricostruzione in 3D nel sottosuolo di questi sistemi è diventata una tecnica essenziale nell'ambito della ricerca di idrocarburi e nel reperimento di risorse idriche sotterranee (e.g.: Regione Emilia-Romagna, Eni-Agip, 1998; Tropeano, 2002).

Analogamente, questo tipo di tecnica, applicata a successioni sedimentarie che si sono sviluppate essenzialmente sotto l'influenza delle oscillazioni relative del livello del mare, può essere proposta ed impiegata nel reperimento di volumi di sedimenti nel sottosuolo, in funzione di determinate caratteristiche granulometriche, a modesta profondità dal piano campagna, in situazioni analoghe a quella dell'intero entroterra ionico della Basilicata.

7. Compatibilità granulometriche e mineralogico-petrografiche dei sedimenti

Il reperimento di risorse "solide" nelle aree continentali ai fini di azioni di ripascimento artificiale su arenili in arretramento, ha da sempre rappresentato un tipo di problematica piuttosto complessa da risolvere, per i seguenti problemi: i) non è sempre facile riuscire ad identificare dei siti nell'entroterra, e a breve distanza dalla costa, che possano offrire volumi di sedimenti suf-

Figura 7 - (PAGINA ACCANTO) Esempi di depositi siltosi, sabbiosi e ghiaiosi affioranti lungo l'entroterra della costa ionica della Basilicata. (A) Cava di sedimenti sabbiosi stratificati dotati di un buon grado di cernita. (B) Particolare della foto precedente. (C e D) Fronte di cava attraverso depositi ghiaioso-sabbiosi. Si noti come le due litofacies siano organizzate secondo un'alternanza piuttosto fitta che ne determina uno scadente grado di cernita. (E) Litofacies ghiaiosa (in alto) evolvente verso il basso per progradazione ad una litofacies sabbiosa. Il contatto tra i due litotipi è di tipo transizionale. (F) Alternanza di sedimenti sabbiosi e ghiaiosi. Questa condizione risulta sfavorevole per il prelievo di sedimenti da destinare ad azioni di ripascimento, a causa della cattiva cernita del materiale che ne deriverebbe da una eventuale raccolta. (G) Contatto brusco tra conglomerati e silt (evidenziato dalle frecce). (H) Particolare della litofacies conglomeratica della foto precedente.



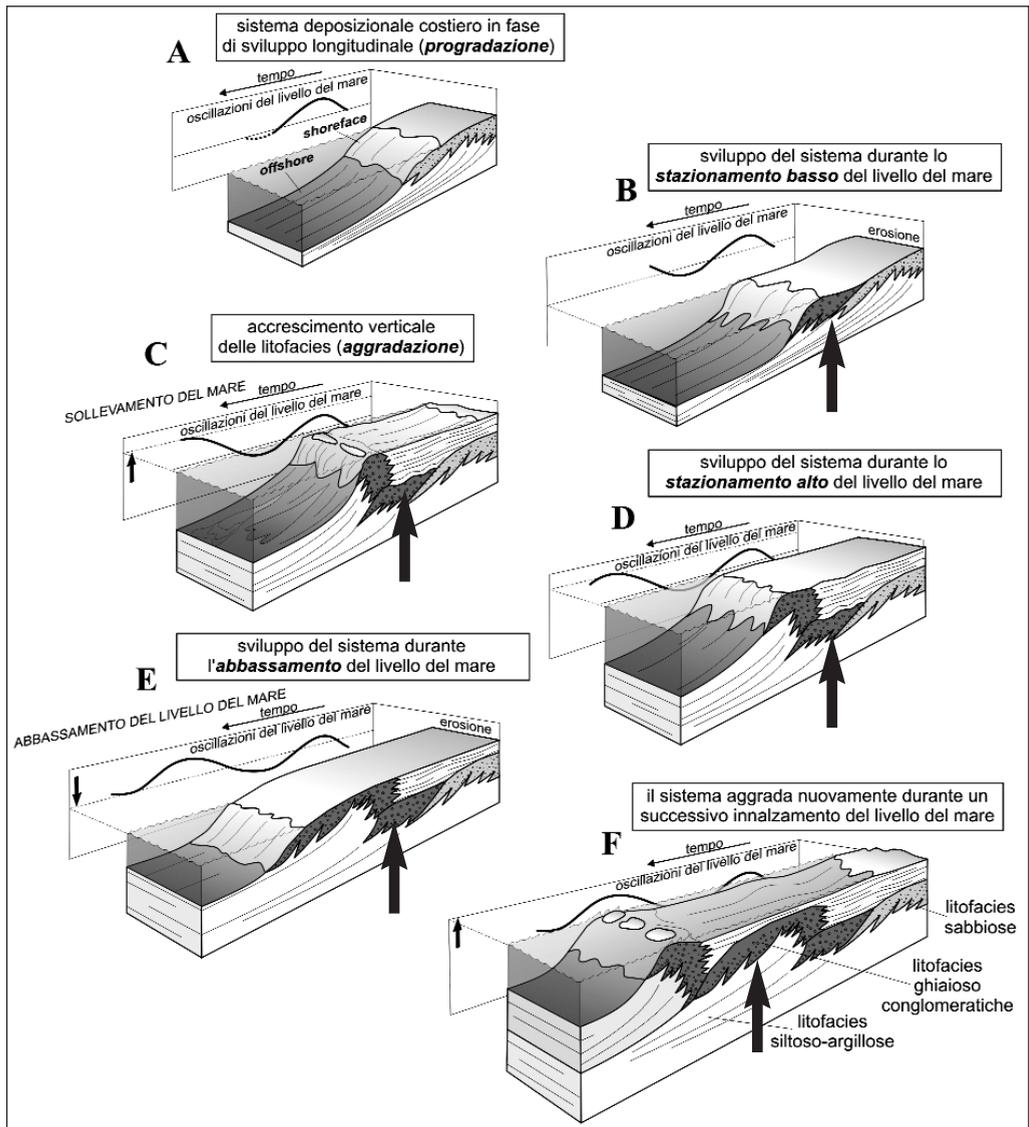


Figura 8 - Evoluzione di un sistema deposizionale costiero in funzione delle oscillazioni relative del livello del mare (semplificato, da Pomar, 1993). In A, la spiaggia prograda in funzione dei sedimenti che arrivano al sistema. In B, il sistema è costretto a sviluppare delle facies - in arancione (in grigio scuro, indicato dalla freccia - ndr) in erosione sulle precedenti ed in una posizione leggermente più bassa, a causa dello stazionamento basso del livello del mare. In C, la successiva e rapida risalita del livello del mare costringe il sistema ad accrescersi in verticale (aggradazione), ispessendo la facies grossolana. In D, lo stesso sistema smette di aggradare ed inizia a progradare (si noti il cambio di direzione e di spessore nello sviluppo della litofacies grossolana - in arancione (in grigio scuro, indicato dalla freccia - ndr) . In E un'ulteriore abbassamento del livello del mare determina lo spostamento verso il bacino della litofacies di spiaggia. In F, il sistema ricomincia a svilupparsi secondo le modalità del ciclo precedente di oscillazione relativa del livello del mare. Questo modello di previsione nel comportamento di un sistema deposizionale costiero rappresenta un esempio di come la Stratigrafia Sequenziale possa essere applicata in problematiche di reperimento di sedimenti idonei in sottosuolo.

ficienti ad un'opera di ripascimento costiero (la vicinanza dei luoghi ammortizza, ovviamente, le spese di trasporto verso la costa); ii) non sempre, in prossimità del tratto di litorale sotto opera di intervento, sono presenti depositi con caratteristiche *granulometriche* idonee, e cioè compatibili con il tipo di arenile da ripascire (un arenile sabbioso non dovrebbe essere sostituito da uno ghiaioso, perché i regimi energetici sono totalmente differenti e anche perché ciò provocherebbe enormi squilibri all'intero tratto di costa che lo sottende); iii) anche se, dal punto di vista granulometrico, esiste affinità tra il sito di cava individuato ed il litorale su cui intervenire, spesso possono sorgere anche problemi di compatibilità nelle caratteristiche *mineralogico-petrografiche* dei sedimenti, tali da non potere permettere il ripristino artificiale del materiale, pena la sostituzione di una precedente spiaggia con un'altra completamente differente! Quest'ultima ipotesi vale soprattutto per quelle spiagge ad alto potenziale na-

turalistico, ove l'attrattiva è resa appunto proprio dalla tipica colorazione dell'arenile (per es.: alcune spiagge della Sardegna o del Portogallo) (Figura 9).

Generalmente, il sedimentazione che meglio si presta ad azioni di ripascimento deve contenere una elevata percentuale di granuli quarzosi, poiché proprio questa componente mineralogica presenta un elevato peso specifico e, di conseguenza, un potenziale di preservazione piuttosto alto (Finkl & Walker, 2006).

Lungo quegli arenili in cui la presenza di granuli quarzosi è invece subordinata o quasi completamente assente, a causa di unità litologiche che hanno alimentato la spiaggia di tutt'altra composizione e natura, un eventuale ripascimento diviene più complesso ed oneroso, dovuto soprattutto al fatto che questi litorali sono considerati ad alta valenza naturalistico-turistica, proprio in virtù della loro peculiare colorazione.

E' importante, in questi casi, effettuare una dettagliata analisi mineralogica del



Figura 9 - Alcuni esempi di spiagge del Mar Mediterraneo caratteristiche per la tipica colorazione dei sedimenti. In eventuali azioni di ripascimento indirizzate nei confronti di questi tipi di arenili, bisognerebbe tenere conto delle caratteristiche mineralogico-petrografiche dei sedimenti da rimpiazzare.

sedimento del litorale per potere identificare tutti quei fattori che concorrono nella determinazione delle caratteristiche cromatiche e tentare di reperire lo stesso tipo di roccia madre o di condizioni geochimiche di origine.

Il colore di un sedimento è un'altra importante proprietà tessiturale, poiché ci fornisce delle informazioni sui materiali costituenti, sulle condizioni ambientali di origine e su quelle che accompagnano le trasformazioni successive dei sedimenti.

Il colore dipende dalla presenza e dal dosaggio di pigmenti (es.: ferro, carbone), dalle dimensioni delle particelle (le più fini assorbono di più la luce e tendono a dare colori scuri), dal loro stato di umidità, dal grado di aggregazione, e da altre caratteristiche minori (Figura 10).

8. Trattamento dei sedimenti prelevati

Una volta identificati e volumetricamente determinati i sedimenti che dovranno concorrere nel processo di ripascimen-

to di un litorale, una fase che spesso viene trascurata per problemi di "costi aggiuntivi", prima di attuare la fase esecutiva del progetto, è quella di un opportuno 'trattamento' del materiale.

Per "trattamento" si intende l'insieme dei processi di selezione granulometrica e separazione mineralogico-petrografica cui alle volte si deve necessariamente ricorrere, allorché la località sorgente non offre buone caratteristiche sotto questo aspetto (Finkl & Walker, 2006).

Durante un'azione di ripascimento, specie nei confronti di quei litorali che, originariamente, presentavano un'estensione longitudinale piuttosto sviluppata (settori di avan- e retro-spiaggia sull'ordine delle decine e/o centinaia di metri), bisogna tenere conto della distribuzione del diametro medio più rappresentativo lungo il profilo di equilibrio della spiaggia che, spesso, non risulta costante per tutta la sua propria estensione.

Come alcune esperienze dirette sul campo hanno mostrato (Figura 11), lungo un profilo di spiaggia, procedendo dal settore di

AMBIENTE RIDUCENTE		AMBIENTE OSSIDANTE			
Nero Grigio Bruno Verde Azzurro		Giallo Ocra Arancio Rosso Violetto			
colori originali					
Sedimenti clastici	acromatici	colore proprio dei granuli	pigmento sui granuli	pigmento nella matrice e/o nel cemento	
		a seconda del minerale	R Br G Ar	N Gr Br V A	G O R
Sedimenti chimici e biochimici	acromatici	pigmento intercristallino o intracristallino			
		N Gr Br V A	G O R Ar V		
Sedimenti organici (N Gr Br)			Sedimenti eluviali (G O R)		

Figura 10 - Schema delle condizioni ambientali in cui si sviluppano le principali colorazioni dei sedimenti in natura (modificato, da Ricci Lucchi, 1982).

battigia verso quello più interno, parametri statistici come la *moda*, la *deviazione standard*, l'*asimmetria* e la *curtosi* (parametri che esprimono numericamente valori come il grado di cernita del sedimento o il diametro medio più rappresentativo), variano notevolmente. Questi *trend*, tipici di ciascun singolo litorale, dipendono da come l'energia dei fattori di controllo (moto ondoso e venti dominanti) venga distribuita su di un determinato arenile durante l'anno.

Un'azione di ripascimento mirata a ripristinare lo stato dei luoghi prima dell'inizio dell'arretramento dovrebbe tenere conto anche di queste variazioni, soprattutto nei confronti di arenili piuttosto estesi.

In alcuni casi, il riconoscimento di località ubicate nei pressi del litorale su cui effettuare l'intervento comporta l'utilizzo di materiale "non idoneo" non soltanto dal punto di vista granulometrico ma anche mineralogico (la mancanza di "idoneità" spesso deriva anche dalle modalità di prelievo del sedimento stesso lungo i fronti di cava).

Un opportuno trattamento del sedimento, anche se innalzerebbe a monte i costi totali dell'operazione, avvantaggerebbe un'azione di ripascimento in termini di qualità dei risultati finali, soprattutto se gli investimenti destinati all'arenile su cui intervenire derivano da grandi esigenze di tipo turistico.

9. Mantenimento del materiale riversato

La prima esperienza di ripascimento costiero tentata nella storia di interventi finalizzati a ricostituire un arenile eroso, fu realizzata con un buon risultato negli Stati Uniti nel corso del 1922 dove, nel tentativo di ricostituire il tratto costiero di Coney Island (New York), circa $1 \cdot 10^6$ m³ di materiale furono dragati dal fondale del porto di New York e riversati lungo l'arenile (Hall, 1953; Dornhelm, 1995).

In Italia, diverse sono state le esperienze, a partire dalla fine degli anni Ottanta e l'inizio degli anni Novanta, di litorali ubicati lungo coste italiane su cui sono stati sperimentati degli interventi di ripascimento costiero e di mantenimento dei sedimenti riversati nel tempo ad opera di opportune opere di protezione. Si pensi agli interventi realizzati durante i primi anni Novanta lungo i litorali di Le Gorette e Cecina Mare (Toscana) (Cipriani et al., 1993; Aminti & Verzoni, 1993), delle spiagge della provincia di Latina (Berriolo, 1993), della Campania (Cocco et al., 1993) e della Calabria (Guiducci et al., 1993), e degli ultimi interventi attuati in questi ultimi anni lungo i litorali del Cavallino e di Pellestrina (costa veneziana) (Silva & Di Girolamo, 1993).

Molti di questi esempi, hanno mostrato come, nel tempo, questi interventi abbis-

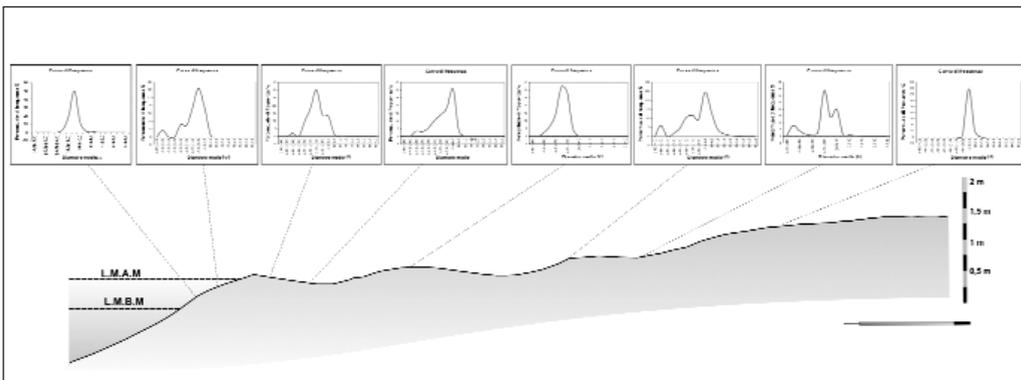


Figura 11 - Esempio di profilo di spiaggia misurato e ricostruito attraverso un arenile sabbioso. Nella parte alta della figura, sono state riportate le curve di frequenza di ciascun singolo campione di sedimento prelevato lungo il profilo. Si notino le differenze procedendo dal settore più esterno (battigia) a quello più interno (duneto).

gnino di continue fasi di monitoraggio e manutenzione, per assicurare che le barriere di protezione del sedimento riversato risultino effettivamente efficaci e che parte del sedimento, accidentalmente allonta-

nato, necessiti di essere ripascito con del nuovo sedimento.

Il concetto di “mantenimento” relativo ad un intervento di ripascimento costiero, è stato affrontato nel passato da Leonard

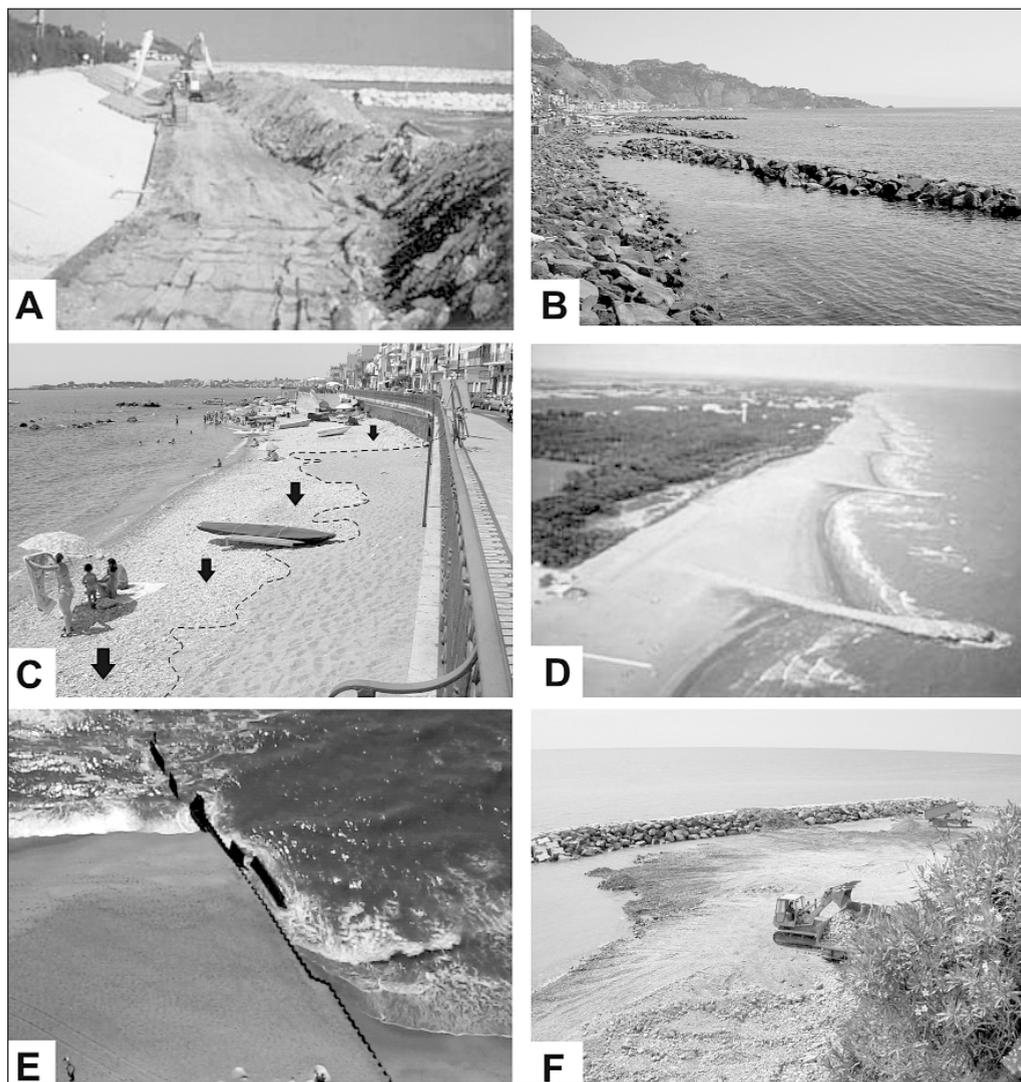


Figura 12 - Esempi di interventi di protezione e mantenimento adottati a supporto di progetti di ripascimento su arenili in arretramento. (A) Moli interni di ancoraggio (litorale tirrenico siciliano). (B) Pennelli frangiflutti obliqui rispetto alla linea di costa ma ortogonali alla direzione di incidenza del moto ondoso dominante (Giardini-Naxos, Messina). (C) Tentativo di stabilizzazione di un arenile sabbioso attraverso il versamento di sedimento più grossolano (frecce) (Giardini-Naxos, Messina). (D) Pennelli ortogonali alla linea di riva (litorale di Pellestrina, Venezia). (E) Esempio di groin (litorale meridionale inglese). (F) Azione di ripascimento tramite versamento di materiale ghiaioso in un settore protetto da una barriera frangiflutti emersa perpendicolare rispetto alla linea di riva (costa tirrenica calabrese).

et al. (1990). Tali autori definiscono il periodo di tempo durante cui un intervento di ripascimento costiero può rimanere efficace come *beach durability*. Tale concetto enuncia che «... il tempo che intercorre tra il versamento di materiale lungo un arenile e il suo successivo allontanamento nelle proporzioni di almeno il 50 % rispetto alla sua quantità iniziale ...» rappresenta la metà della durata media dell'opera.

La strategia che generalmente si adotta per programmare un efficace mantenimento del materiale che concorre al ripascimento di un determinato tratto di litorale deve necessariamente derivare da un'attenta analisi statistica del moto ondoso persistente, del *drift litoraneo*, della frequenza ed intensità delle mareggiate, tutti fattori valutabili soltanto in un adeguato intervallo di tempo.

Un efficace mantenimento si realizza contemporaneamente o successivamente le operazioni di versamento del materiale, adottando opportune barriere frangiflutti (emerse e/o sommerse) con una adeguata orientazione rispetto alle principali componenti della dinamica costiera locale (Figura 12).

Solitamente, un'azione di monitoraggio preventivo che viene effettuata subito dopo il versamento di materiale lungo un arenile è la misura periodica di profili longitudinali di equilibrio (*profile evolution*), con l'obiettivo di prevedere un *trend* evolutivo del litorale a medio e lungo termine, al fine di evitare la perdita del ripascimento (Finkl & Walker, 2006).

Un'efficace manutenzione dell'opera di ripascimento deriva anche da un continuo monitoraggio degli agenti energetici che insistono lungo l'arenile oggetto di intervento. In alcune decine di anni, per esempio, le condizioni prevalenti dei venti dominanti (*fetch*) possono subire delle lievi o sostanziali variazioni (che possono a loro volta dipendere anche dalle strutture ed infrastrutture antropiche che nel frattempo possono svilupparsi lungo un tratto di costa), inducendo nuovi meccanismi di circolazione locale e generando una nuova dinamica costiera che potrebbe rendere inefficace l'intervento effettuato quando le

condizioni energetiche erano differenti.

Inoltre, i rapidi cambiamenti climatici cui si sta incorrendo in questi ultimi anni, hanno prodotto una imprevedibile frequenza degli eventi di alta energia (mareggiate) rispetto a quella del passato, sia durante l'inverno che durante la stagione più calda: in alcuni casi si assiste a mareggiate molto rare, ma di elevata energia e piuttosto concentrate nel tempo.

Questo tipo di cambiamenti, suggeriscono anche di considerare il fattore *clima* come elemento di influenza determinante sulla programmazione di un intervento di ripascimento costiero, soprattutto in funzione della durata della sua efficacia nel futuro.

10. Conclusioni

Diverse sono state le esperienze relative ad interventi di ripascimento costiero efficacemente attuate durante queste ultime decine di anni su litorali con caratteri piuttosto simili a quelli della costa ionica della Basilicata. Tali interventi hanno mostrato come esistano però delle problematiche relative al reperimento di materiale inerte ai fini di azioni di ripascimento, che possono essere riassunte nei seguenti punti:

a) reperimento di aree interne alla costa su cui intervenire (per fare ciò, considerata la natura dei sedimenti che meglio offrono caratteri di compatibilità per queste finalità, uno strumento di indagine molto efficace può essere l'applicazione dei concetti suggeriti dall'uso della Stratigrafia Sequenziale);

b) idoneità dei siti scelti per il prelievo dei sedimenti (per idoneità si intende la possibilità di non arrecare danno all'ambiente circostante e l'opportunità di reperire volumi di inerti sufficienti ad un'azione di ripascimento);

b) compatibilità granulometrica e mineralogico-petrografica dei sedimenti prelevati (per verificare questo punto prima di attuare l'intervento è dunque necessario ricorrere a delle indagini preventive che stabiliscano la corrispondenza dei caratteri

tessitura dei sedimenti nel luogo di intervento e nell'area sorgente).

A questi punti relativi alle fasi che precedono un intervento di ripascimento artificiale, si aggiungono le problematiche relative all'eventuale "trattamento" che il materiale deve subire prima del suo versamento sull'arenile, le modalità con cui il materiale stesso deve essere riversato ed, infine, le procedure di protezione e mantenimento del sedimento riversato ad opera di opportune barriere che vanno messe in opera prima, durante e successivamente l'intervento.

Anche se, in linea di massima, è possibile proporre una serie di *steps* che progressivamente scandiscono la procedura di un intervento di ripascimento costiero, ciascuna singola situazione, considerata nell'ambito dei caratteri geologico-naturalistici che la caratterizzano, deve essere vagliata come caso a parte, suggerendo di verificare e conformare le fasi della procedura alle esigenze di ciascun singolo caso di studio.

Bibliografia

- Aminti P., Verzoni M., 1993, "Intervento di riequilibrio sul litorale di Cecina mare" in: P. Aminti & E. Pranzini (eds), *La difesa dei litorali in Italia. Amministrare l'urbanistica - Esperienze*, Edizioni delle Autonomie, 34, 103-119.
- Berriolo G., 1993, "Interventi di riequilibrio delle spiagge della provincia di Latina", in: P. Aminti & E. Pranzini (eds), *La difesa dei litorali in Italia. Amministrare l'urbanistica - Esperienze*, Edizioni delle Autonomie, 34, 153-173.
- Bianca M., Caputo R., 2003, "Analisi morfotettonica ed evoluzione quaternaria della val d'Agri, appennino meridionale". Il *Quaternario*, 16(2), 158-170.
- Bird E., 2000, *Coastal geomorphology. An introduction*, Wiley & Sons, Ltd.
- Carter R. W. G., 1988, *Coastal environments*, Academic Press, San Diego, Ca.
- Cipriani L. E., Montelatici M., Pranzino E., 1993, "L'intervento di difesa e di ampliamento della spiaggia delle Gorette (Livorno)", in: P. Aminti & E. Pranzini (eds), *La difesa dei litorali in Italia. Amministrare l'urbanistica - Esperienze*, Edizioni delle Autonomie, 34, 85-102.
- Clark J. R., 1996, *Coastal zone management handbook*, Lewis Publishers.
- Cocco E., De Magistris M. A., Bentivoglio C., Iacono Y., Serpico M., 1993, "Processi erosivi, opere di difesa e riequilibrio dei litorali in Campania", in: P. Aminti & E. Pranzini (eds), *La difesa dei litorali in Italia. Amministrare l'urbanistica - Esperienze*, Edizioni delle Autonomie, 34, 175-194.
- Davies J. L., 1980, *Geographical variations in coastal development*, 2nd ed., Longman, New York.
- Davies J.L., 1964, "A morphogenic approach to world shorelines: zeit", *F. Geomorph.*, VIII, 27-42.
- Davis R. A., 1996, *The evolving coasts*, Scientific American Library, N.Y.C., N.Y.
- Davis R. A. Jr., Hayes M. O., 1983, "What is a wave-dominated coast?" in B. Greenwood and R.A. Davies, jr. (eds.), *hydrodynamics and sedimentation in wave-dominated coastal environments*, *Marin. Geol.*, LX, 313-329.
- Dornhelm R. B., 1995, "The Coney Island public beach and boardwalk improvement of 1923", *Shore And Beach*, 63, 1, 7-11.
- Fairbridge R. W., 1992, "Holocene marine coastal evolution of the United States", in Fletcher, C. H. & J. F. Wehmiller (eds.): *Quaternary Coasts of the United States*, 9-20. septm, Special Publication 48.
- Fairbridge R. W., 2004, "Classification of coasts", *Journal of coastal research*, 20, 1, 155-165.
- Finkl C. W., Walker H. J., 2006, "Beach nourishment", *Journal of coastal research*, 3, Special Issue, 147-161.
- Guiducci F., Lo Presti F., Scalzo M., 1993, "Intervento di ripascimento tra Paola e S. Lucido (CS)", in: P. Aminti & E. Pranzini (eds), *La difesa dei litorali in Italia. Amministrare l'urbanistica. Esperienze*, Edizioni delle Autonomie, 34, 195-214.
- Hall J.V., 1953, "Artificially nourished and constructed beaches", *Proceedings of the 3rd conference on coastal engineering*, Cambridge, Ma, 119-136.
- Johnson, 1919, *Shore processes and shoreline development: Wiley*, New York.
- Leonard L. A., Clayton T., Pilkey O. H., 1990, "An analysis of beach design parameters on U.S. east coast barrier island", *Journal Of Coastal Research*, 6,1, 15-36.
- Longhitano S., Colella A., 2007, "Geomorphology, sedimentology and recent evolution of the anthropogenically modified Simeto river delta system (Eastern Sicily, Italy)", *Sedimentary Geology*, 194, 195-221.
- Mitchum R. M., Van Wagoner J. C., 1991, "High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles", *Sedimentary Geology*, 70, 131-160.
- Mutti E., 1990, "Relazioni tra stratigrafia sequen-

- ziale e tettonica”, *Mem. Soc. Geol.*, 45, 627-655.
- Orton G. J., Reading H. G., 1993, “Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size” *Sedimentology*, 40, 475-512.
- Pieri P., Sabato L., Tropeano M., 1994, “Evoluzione tettonico-sedimentaria della fossa bradanica a sud dell’Ofanto nel Pleistocene”, *Quad. Bibl. Prov. Matera*, 15, 35-54.
- Pieri P., Sabato L., Tropeano M., 1996, “Significato geodinamico dei caratteri deposizionali e strutturali della fossa bradanica nel Pleistocene”, *Mem. Soc. Geol. It.*, 51, 501-515.
- Pomar L., 1993, “High-resolution sequence stratigraphy in prograding miocene carbonates: application to seismic interpretation”, *Aapg Mem.*, 57, 389-407.
- Psuty N. P., Moreira M. E. S. A., 1990, “Nourishment of a cliffed coastline, Praia da rocha, the Algarve, Portugal”, *Journal of Coastal Research*, 6, special issue, 21-32.
- Regione Emilia-Romagna. Eni-Agip (a cura di Di Dio G.), 1998, *Riserve idriche sotterranee della regione emilia-romagna*, S.E.L.C.A., Firenze.
- Ricci Lucchi F., 1982, *Sedimentologia*, III, Clueb.
- Sabato L., 1996, “Quadro stratigrafico-deposizionale dei depositi regressivi nell’area di Irsina (fossa bradanica)”, *Geologica Romana*, 32, 219-230.
- Sabato L., Tropeano M., Pieri P., 2004, “Problemi di cartografia geologica relativa ai depositi quaternari del f° 471 ‘Irsina’. il conglomerato di Irsina: mito o realtà?”, *Il Quaternario*, 17, 2, 1, 391-404.
- Shepard F. P., 1973, *Seacoast classification, in submarine geology: harper row*, New York, 102-122.
- Silva P., Di Girolamo P., 1993, “Interventi di ripascimento artificiale sul litorale di Pellestrina (Ve), in: P. Aminti & E. Pranzini (eds), *La difesa dei litorali in Italia. Amministrare l’urbanistica. Esperienze*, Edizioni delle Autonomie, 34, 269-282.
- Silvester R., Hsu J. R. C., 1993, *Coastal stabilization: innovative concepts*, Englewood Cliffs, Nj. Prentice-Hall.
- Simeoni U., Tessari U., Zamariolo A., Fontolan G., Burla I., Trivisani A., Mastronuzzi G., 2001, *Produzione ed elaborazione dati per la definizione di indicatori delle relazioni tra evoluzione bacini ed evoluzione costa in aree prototipali in Basilicata e Veneto*. Rapporto prima fase, 2-39.
- Soucie G., 1973, *Where beach have been going: into the ocean*, Smithsonian, 4, 3.
- Spilotro G., Di Bratto M., Cecilia G., Leandro G., 1988, “Evoluzione recente del litorale alto ionico compreso tra la foce del fiume sinni e la foce del fiume bradano”, *Atti del dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia Applicata*, Facoltà di Ingegneria, Università Degli Studi Della Basilicata, 1-98, 46.
- Tropeano M., 2002, “Stratigrafia sequenziale: ricerca di base e possibili sviluppi applicativi in basilicata”. *Geologia Territorio E Ambiente*, 1, 9-13.
- Tropeano M., Sabato L., Pieri P., 2002, “Filling and cannibalization of a foredeep: the bradanic trough, Southern Italy”. *Geological Society*, Sp. Publ., 191, 55-79.
- Usac, 1977, *Shoreline protection manual*, U.S. Army Coastal Research Center, Washington, D.C.
- Van Wagoner J. C., Mitchum R. M. J., Campion K. M., Rahmanian V. D., 1990, “Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops”, *aapg methods in exploration series*, 7.
- Van Wagoner J.C., Posamentier H.W., Mitchum R.M., Vail P.R., Sarg J.F., Loutit T.S., Hardenbol J., 1988, “An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions”, in: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Posamentier, H.W., Van Wagoner, J.C., Ross, C.A., Kendall, C.G.St.C. (Eds.), *Sea-level changes: an integrated approach*. Sepm spec. publ., XLII, 39- 45.
- Walker R. G., Plint A. G., 1992, “Wave- and storm-dominated shallow marine systems”, In R. G. Walker And N. P. James, Eds., *Facies models - response to sea level changes*, Geological Association of Canada, 219-238.
- Woodroffe C. D., 2002, *Coasts: form, process and evolution*, Cambridge University Press.

Ripascimenti e protezioni costiere a basso impatto ambientale

Francesco Ferraiolo
Officine Maccaferri

Diego Paltrinieri
Arenaria Srl

Matteo Zanella
Coastal Protection Systems

Premessa

I dati allarmanti sull'erosione costiera diffusi dalla Comunità Europea e aggiornati dall'Agenzia per la protezione dell'Ambiente e per i Servizi tecnici del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare hanno palesato che il sistema costiero italiano è al collasso e che le opere di difesa rigide sino ad oggi realizzate non sono bastate ad arginare la forza erosiva del mare. Alla luce di questi dati e considerata la valenza naturalistica-ambientale e la rilevanza economico-sociale delle coste italiane, da alcuni anni è stata adottata la politica europea della Gestione Integrata delle Zone Costiere (GITZ) che favorisce la realizzazione di interventi di ripascimento protetto e manutenzione dei litorali con sabbie sottomarine.

È in questo contesto che operano Arenaria e Coastal Protection Systems, realtà imprenditoriali nate dagli accordi tra il Gruppo Industriale Maccaferri ed Eurobuilding SpA. La prima, Arenaria, è attiva nella gestione delle sabbie marine per ripascimento costiero, mentre Coastal Protection Systems commercializza e ricerca prodotti innovativi in grado di proteggere i ripascimenti.

1. Le linee guida della comunità europea

La Comunità Europea ha più volte ribadito l'importanza strategica delle aree litoranee e la priorità di investire a favore della costa, anche e soprattutto coinvolgendo il settore privato nel finanziamento e nella gestione delle opere (COM-2000-547). La distruzione delle coste comporta da un lato ingenti spese per difendere gli abitati posti lungo i litorali e dall'altro ingenti perdite economiche in settori di grande rilevanza quali il turismo (Comunicazione 1630/2003 del Consiglio d'Europa).

Secondo la Raccomandazione 2002/413/Ce della Commissione Europea, una effettiva tutela dei litorali non può prescindere da una politica Gestione Integrata delle Zone Costiere (GITZ), fondata sui seguenti principi:

- a) una prospettiva globale di ampia portata (tematica e geografica) che contempli l'interdipendenza e la diversità dei sistemi naturali e delle attività umane che esercitano un impatto sulle zone costiere;
- b) una prospettiva di lungo periodo che tenga conto del principio di precauzione e delle necessità delle generazioni presenti e future;
- c) una gestione capace di adattarsi in modo graduale che consenta adeguamenti in funzione dell'evoluzione dei problemi e delle conoscenze [...];
- d) la specificità locale e la grande diversità delle zone costiere europee, per poter rispondere alle loro necessità concrete con soluzioni specifiche e misure flessibili;
- e) ricorso ai processi naturali e rispetto della capacità di assorbimento degli ecosistemi per rendere le attività umane più rispettose dell'ambiente, responsabili sul piano sociale e valide da un punto di vista economico a lungo termine;
- f) coinvolgimento di tutte le parti interessate (partner economici e sociali, organizzazioni che rappresentano i residenti delle zone costiere, organizzazioni non governative e settore economico) nel processo di gestione, ad esempio mediante accordi, basato su responsabilità condivise;
- g) sostegno e coinvolgimento di tutti gli organi amministrativi competenti a livello nazionale, regionale e locale, creando o mantenendo tra di loro vincoli appropriati con l'obiettivo di migliorare il coordinamento delle varie politiche esistenti
- h) necessità di istituire, ove del caso, un partenariato con e tra le autorità regionali e locali;
- i) ricorso ad un sistema di diversi strumenti diretti a favorire la coerenza tra gli obiettivi delle politiche settoriali e tra pianificazione e gestione.

I Progetti Europei *Eurosion* e *Beachmed*,

finanziati della Direzione Generale Ambiente della Commissione Europea, confermano la necessità di affrontare il problema erosione, sia per la sua valenza ambientale che per le sue ricadute economiche dirette o indirette sulle aree litoranee.

Attraverso *Eurosion* si è quantificato l'impatto e le condizioni dell'erosione costiera in Europa, nonché a stimare le necessità di base per l'attivazione di azioni a livello di Unione Europea, Stati Membri e Regioni. Da tale studio è emerso in particolare un quadro allarmante delle dimensioni raggiunte dal fenomeno erosivo in Europa, e soprattutto in Italia. L'erosione costiera si ripercuote su una banda di litorale che sviluppa un'attività economica stimata tra i 500 ed i 1.000 miliardi di euro, fatta di turismo, agricoltura ed installazioni industriali, ugualmente in pericolo di sparire. Diverse centinaia di case vengono abbandonate o perdono gran parte del loro valore immobiliare per il rischio di venire sommerse o di precipitare in mare. I danni alle infrastrutture viarie ed alle comunicazioni sono ingenti. A questi vanno poi aggiunti i danni indotti all'economia delle zone litoranee in particolar modo all'industria turistica.

Con il progetto *Beachmed* "Recupero ambientale e manutenzione dei litorali in erosione tramite l'impiego di depositi sabbiosi marini", approvato nel mese di ottobre 2002 nell'ambito del programma INTERREG IIIB - MEDOCC sono stati affrontati, sotto il profilo metodologico, i principali temi del recupero ambientale e della manutenzione dei litorali in erosione mediante l'impiego di depositi sabbiosi marini. Questo progetto, terminato nel Dicembre 2004, ha fornito importanti documenti su aspetti tecnici e metodologici dei ripascimenti.

2. Le condizioni delle coste italiane

L'Italia è il paese europeo con il maggior numero di chilometri di coste a rischio di erosione: su 7.500 Km, ben 2.400 Km ne sono interessati; circa un terzo delle coste italiane rischia pertanto l'estinzione per effetto dell'erosione. Secondo la mappa trac-

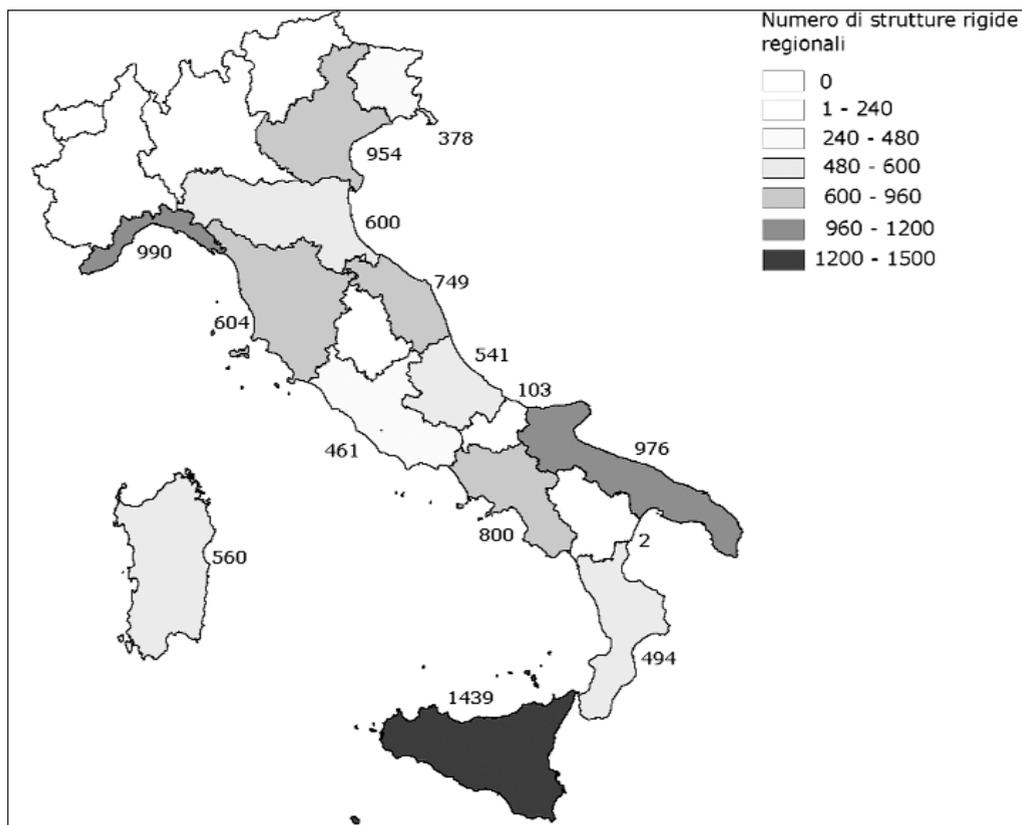


Figura 2 - Opere rigide in Italia realizzate contro l'erosione costiera (fonte: APAT).

la *valorizzazione dei litorali* ad effettuare anche in Italia uno studio mirante a definire un valore economico della spiaggia.

Gabicce Mare, Civitanova Marche, Porto Sant'Elpidio, Senigallia, (nelle Marche) Ostia Lido, e Tarquinia (nel Lazio), tutte località balneari interessate da fenomeni di erosione, e nelle quali sono stati già messi in atto ripascimenti o altre forma di di-

fesa della costa, sono state prese come campione di indagine.

La varietà tipologica delle destinazioni balneari indagate, pur focalizzata su un numero ridotto di casi, porta a supporre che i risultati costituiscano una buona base di riflessione anche per le altre mete marine del nostro Paese, ma soprattutto che la metodologia impiegata gode di una elevata replica-



Figura 3 - Tratti di costa italiana difese da opere rigide.

bilità. Per ognuna della località si è ottenuta una stima del valore economico dell'arenile, nella sua accezione più ristretta, relativa cioè alle sole attività di noleggio di attrezzature per il soggiorno sulla spiaggia e dalle tabelle riportate sotto emerge la grande differenziazione che si ha negli stabilimenti delle diverse località nella composizione e nel valore del fatturato.

Relativamente alle sei destinazioni analizzate si vede come il valore al mq presenti dati che tendono a crescere molto rapidamente fino al raggiungimento di dimensioni di arenile intorno ai 100 metri per poi crescere in maniera meno netta fino quasi a stabilizzarsi per dimensioni maggiori.

Come evidenziato dall'analisi, la presenza turistica produce effetti economici che vanno oltre gli esercizi balneari, generando ricchezza su tutta l'economia locale, con effetti moltiplicativi di entità consistente. Il valore generato dal turismo balneare solo in minima parte è legato alle attività di soggiorno sulla spiaggia, come il noleggio degli ombrelloni, delle sedie, dei lettini, ecc., attivando piuttosto tutta una serie di settori che nel caso di Senigallia, ad esempio, generano un fatturato pari a 68 volte quello derivante dalle sole attività di spiaggia.

Dalla analisi dei risultati di questo studio e dal confronto con altri dati ed elaborazioni disponibili

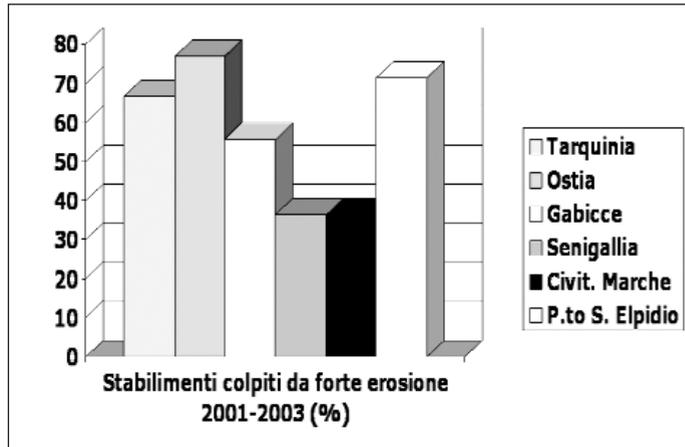


Figura 4 - Stabilimenti colpiti da forte erosione dal 2001 al 2003.

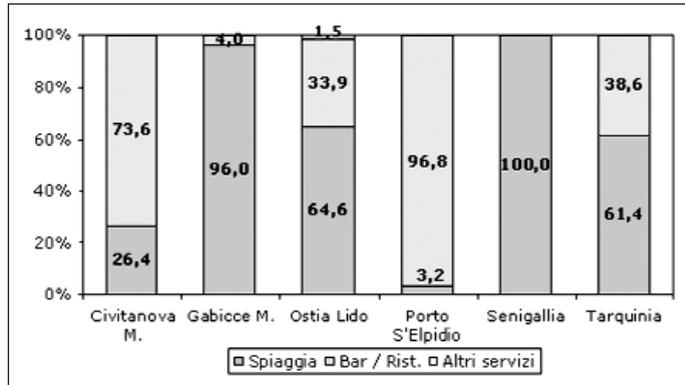


Figura 5 - Composizione del fatturato degli stabilimenti balneari nel 2003, in valore percentuale.

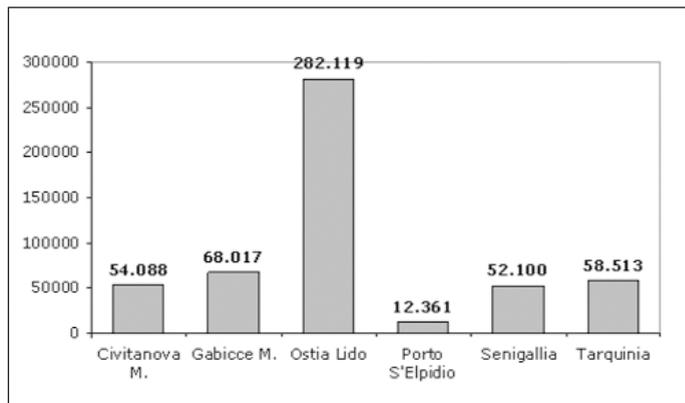


Figura 6 - Valore del fatturato derivante dalle sole attività di spiaggia nel 2003 (in Euro).

sull'argomento sono state fatte delle elaborazioni e tracciati degli scenari che ci hanno portato a dire che, in Italia, si è appurato che ogni metro quadrato di spiaggia genera un valore economico medio globale annuo di circa 1.200 euro e dato che negli ultimi anni sono stati erosi (dati EuroSION integrati con dati di Università italiane) circa 4.000.000 di metri quadrati di spiaggia: ogni anno per la mancanza di tali spiagge, manca al quadro economico generale un reddito di circa 5 miliardi di euro, cioè quasi lo 0,5% del PIL. È stato inoltre stimato che per ogni euro investito in ripascimento il ritorno indotto su tutta l'economia che insiste sull'area interessata dal ripascimento può essere stimato fra i 10 euro del primo anno ed i 100 del terzo come si vede nel grafico seguente.

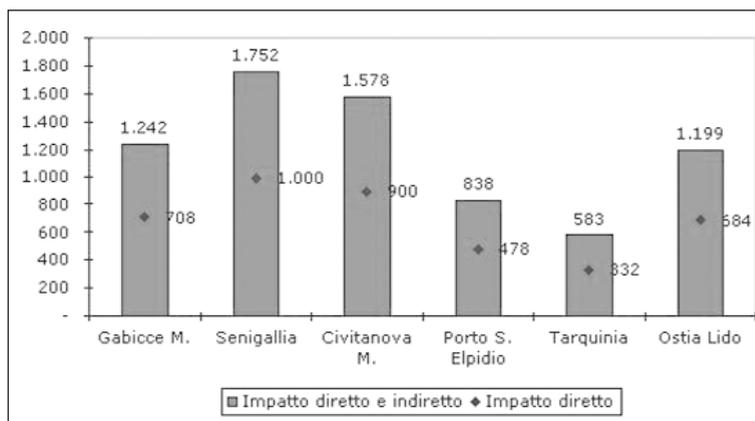


Figura 7 - Indotto economico globale (giro d'affari) per metro quadro di superficie nel 2004 (in Euro).

3. Ripascimenti e protezioni costiere a basso impatto ambientale

3.1. Ripascimento costiero con sabbie sottomarine

La comunità scientifica internazionale e la moderna ingegneria costiera indicano il ripascimento strutturale e la manutenzione periodica dei litorali con sabbie sottomarine come gli strumenti eco-compatibili più adeguati di difesa funzionale della costa.

Essi permettono la ricostruzione e la conservazione del profilo della spiaggia (emersa e sommersa) restituendole la sua originaria capacità di dissipazione dell'energia delle onde e, quindi, contrastando fortemente i fenomeni erosivi ad esse connessi.

Esperienze nord europee, americane, giapponesi e della vicina Spagna, dimostrano che, laddove siano rispettati i tempi di intervento, soluzioni di questo tipo hanno consentito la difesa strutturale della costa e la creazione di nuove spiagge, la riqualificazione ambientale, paesaggistica ed urbanistica delle aree litoranee, il rilancio del turismo balneare e di tutte le attività economiche ad esso connesse. Anche in Italia, come nel resto del mondo, si stanno favorendo interventi di ripascimento strutturale e di manutenzione periodica dei litorali con sabbie sottomarine.

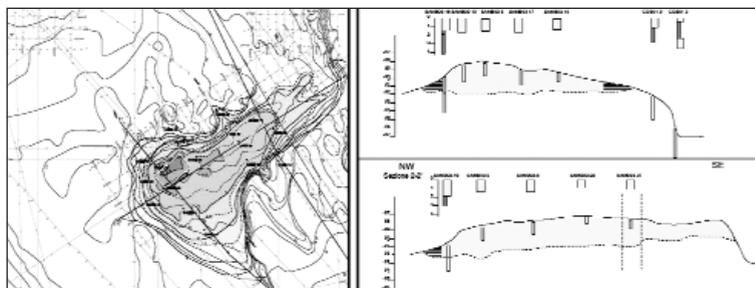


Figura 8 - Mppa (a sinistra) e sezioni con spessore (a destra) del deposito sottomarino di sabbie in concessione ad Arenaria Srl nel Medio Adriatico.

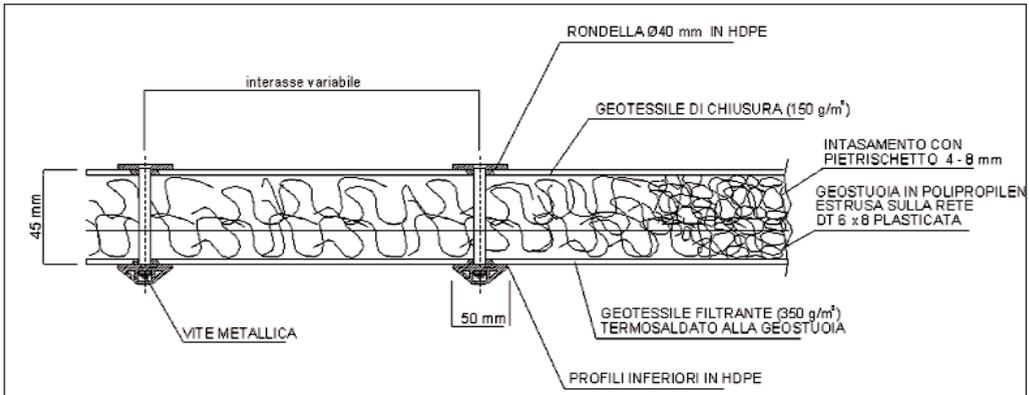


Figura 9 - Materassino Filtrante Zavorrato.

La ricerca di depositi sabbiosi sottomarini da dragare per opere di ripascimento costiero è, tuttavia, un'attività relativamente recente. Fino a pochi anni fa solo qualche regione italiana (Lazio, Emilia Romagna e Veneto) aveva individuato alcuni depositi sabbiosi marini da utilizzare per questo scopo. Arenaria è la prima azienda italiana ad aver ricercato "in mare" nuovi depositi sabbiosi; è anche l'unica ad aver ottenuto una concessione per l'utilizzo di un importante deposito sabbioso ubicato nel Medio Adriatico, 30 miglia al largo di Civitanova Marche a profondità comprese intorno ai -85/-90 m, che è ambientalmente idoneo allo sfruttamento per dimensione, profondità, distanza dalla costa, assenza di copertura fangosa.

3.2 Prodotti innovativi per la difesa della costa

La "salvezza delle spiagge" può avvenire associando opere di ripascimento realizzate per mezzo di sabbie marine, opportunamente selezionate affinché vi sia compati-

bilità sul piano locale, a strutture atte a proteggere il ripascimento stesso. Le soluzioni sino ad oggi utilizzate sia per la protezione delle coste soggette ad erosione sia per la difesa di eventuali ripascimenti prevedono la messa in opera di barriere soffolte o emerse di tipo tradizionale che non hanno portato risultati soddisfacenti. La costa italiana infatti oltre a presentare un arretramento della linea di riva è soggetta ad una progressiva perdita della flora marina presente nei fondali, vuoi per motivi legati all'inquinamento vuoi a per questioni legate ad interventi di salvaguardia della costa progettati in maniera non idonea.

Coastal protection Systems (CPS) commercializza prodotti nuovi e tradizionali:

- 1) Geotessili cilindrici riempiti di sabbia;
- 2) Sacconi in geotessuto riempiti di sabbia come base per le condotte sottomarine o per la stabilizzazione di opere a mare;
- 3) Geotessili tessuti e non tessuti tradizionali;
- 4) Materassino filtrante zavorrato;

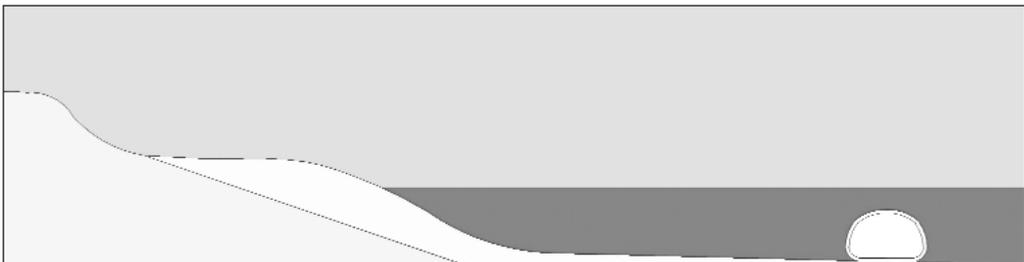


Figura 10 - Geotessile riempito di materiale sabbioso.

5) Materasso Sarmac per la stabilizzazione e l'ancoraggio delle condotte sottomarine.

Tra i prodotti per la difesa della costa sono da segnalare i seguenti.

Materassino Filtrante Zavorrato

Il Materassino filtrante Zavorrato è un prodotto di nuova concezione che viene attualmente utilizzato per realizzare lo strato di filtrante e separatore a protezione dei fondali delle aree delle bocche della laguna di Venezia all'interno del progetto MO.S.E. .

Il prodotto può essere utilizzato inoltre come strato di fondazione delle attuali opere di protezione della costa (barriere sommerse ed emerse, pennelli, ecc.) avendo la capacità, una volta posato, di rimanere a costante contatto con il fondale anche sotto l'azione di onde e correnti del mare.

Geotessile cilindrico riempito di materiale sabbioso

Il Geotessile cilindrico riempito di sabbia è un prodotto nato per le applicazioni di ingegneria marittima e costiera ed è usato per:

- per realizzare frangiflutti o opere trasversali sommerse in mare aperto a trattenere il fronte della spiaggia;
- a sostegno provvisorio della linea di spiaggia erosa e soggetta a ripascimento;
- per la ricostruzione di dune tramite l'inserimento all'interno delle stesse;
- per erigere contrafforti per un pendio di linea di spiaggia in forte erosione lungo la costa.

Prodotto in elementi di dimensioni variabili a seconda delle necessità progettuali è una struttura composta da un involucro di geotessile tessuto realizzato in fibre di polipropilene ad alta tenacità, con cuciture ad alta resistenza riempito internamente con la sabbia disponibile localmente. La struttura è resistente ai raggi UV, ha un'alta resistenza meccanica ed un'elevata durabilità.

Attualmente la Coastal Protection Systems è fortemente impegnata nella ricerca di prodotti innovativi in grado di attivare una protezione dei ripascimenti e del litorale:

- 1) attraverso lo studio, in collaborazione con i maggiori esperti di idraulica ma-



Figura 11 - Sperimentazione in canaletta.



Figura 12 - Rinverdimento con Poseidonia.

rittima, di una nuova struttura per l'abbattimento del trend erosivo, che di norma caratterizza i dintorni delle strutture rigide tradizionali, e del *setup* indotto dalle stesse nella zona *onshore*;

- 2) attraverso la sperimentazione di sistemi atti al "rinverdimento dei fondali" per mezzo della *Poseidonia Oceanica*. La costa italiana infatti oltre a presentare un arretramento della linea di riva è soggetta ad una progressiva perdita della flora marina presente nei fondali, vuoi per motivi legati all'inquinamento vuoi a per questioni legate ad interventi di salvaguardia della costa progettati in maniera non idonea.

un concetto acquisito, contestualmente all'abbandono delle logiche emergenziali e degli interventi tampone. Una gestione programmata dei ripascimenti protetti e delle necessarie manutenzioni periodiche, anche attraverso lo sviluppo di un forte partenariato pubblico-privato, riesce ad accelerare i tempi, ad abbattere i costi ed a garantire migliori performance degli interventi. Nella situazione italiana un grosso elemento di novità è stato introdotto dalle società Arenaria e Coastal Protection Systems che, coerentemente alle linee guida proposte dalla Unione Europea in materia di Gestione Integrata delle Zone Costiere, si sono fortemente attivate per contribuire a risolvere i problemi delle aree costiere.

4. Conclusioni

L'importanza strategica di un corretto approccio alla protezione costiera è ormai

La protezione delle dune costiere mediante impiego di vegetazione subaerea e sottomarina

Salvatore Puglisi

Professore ordinario a r. di Sistemazioni idraulico-forestali

***Viene riprodotto, con alcune modifiche, il testo della lectio magistralis ("Il consolidamento delle dune costiere mediante vegetazione: dai lavori di difesa della ferrovia Palermo-Trapani alle tecniche attuali") tenuta dall'autore il 23 febbraio 2007 nella Sala Magna dell'Università di Palermo in occasione del conferimento della laurea honoris causa in Scienze forestali ed ambientali.*

Sommario

E' noto il ruolo della vegetazione nella difesa del suolo dall'erosione idrica. Altrettanto nota è la funzione ch'essa svolge nei confronti dell'erosione eolica. Poco nota, invece, perché d'impiego recente, è la funzione antierosiva delle piante nella protezione delle spiagge poste sott'acqua. Quest'ultimo compito, con il precedente, è determinante per la difesa e conservazione delle dune litorali.

Nella prima parte di questa nota è storicizzato il metodo di consolidamento delle dune costiere in uso sino agli anni Settanta circa del secolo scorso. Nella seconda parte vengono esaminati i criteri d'intervento più recenti, funzionali al restauro ambientale. Tali tecniche, però, possono risultare del tutto inutili dal momento che l'erosione dei litorali può inghiottire le spiagge e con esse i relativi sistemi dunosi, ancorché irrobustiti dalla vegetazione. Ecco, allora, l'ultima risorsa: proteggere le dune difendendo dall'erosione le spiagge sulle quali sono edificate. Questo ruolo viene affidato all'azione antierosiva della *Posidonia oceanica* che è una Fanerogama la quale vive sott'acqua dove forma estese praterie. Il suo impiego richiede accorgimenti tecnici propri dell'ingegneria naturalistica.

1. Introduzione

Il consolidamento delle dune litoranee per più di due secoli ha interessato dapprima la tecnica dei rimboschimenti e adesso quella del restauro ambientale. In questo lasso di tempo vi sono stati cambiamenti nella morfologia costiera, nella società, nella gestione del territorio, negli obiettivi degli interventi di difesa, nel-

le conoscenze scientifiche e tecniche, e anche nella terminologia. Sino alla metà del secolo scorso, ma anche oltre, la piattaforma continentale veniva chiamata "ghirlanda dei terreni avventizi" (Passerini, 1956) e definita come una formazione di terreni sommersi risultante «dello scarico a rifiuto litoraneo dei prodotti dell'erosione del suolo» (Bosetto, 1961). Il Ministero dei Lavori Pubblici pubblicò nel 1937 la *Carta batilologica della piattaforma litorale italiana* dalla quale risultava che la "ghirlanda" attorno alla Sicilia misurava 22 500 km², quasi l'88% della superficie territoriale dell'isola, mentre nell'Adriatico si estendeva dalle coste italiane a quelle dalmate.

Uno dei principali studiosi di questi problemi è stato l'ingegnere siciliano Agatino D'Arrigo che ha compendiato i risultati delle sue indagini nei primi tre capitoli del corposo volume *Natura e tecnica nel Mezzogiorno*, giungendo alla conclusione che «le variazioni morfologiche dei litorali e dei fondi marini antistanti siano, sistematicamente, studiati *volumetricamente* e non in superficie e tanto meno linearmente» (D'Arrigo,

1946). Questa, adesso, è diventata la procedura del bilancio sedimentario costiero.

La locuzione "ghirlanda dei terreni avventizi" oggi è desueta, ma è stato opportuno richiamarla per connotare quella fase della morfologia costiera italiana in cui le spiagge ancora si protendevano o non erano comunque in fase di accentuato arretramento.

Il processo d'interrimento aveva avuto «la sua maggiore intensità di ritmo, a concorde parere degli scrittori Arabi e Cristiani del medioevo e dell'epoca moderna, in seguito alle immani e inconsulte devastazioni di boschi operate nella nostra penisola e nelle isole a partire dal secolo XII» (Bosetto, 1961).

La demolizione del rilievo terrestre denudato della copertura vegetale è una fase del grande ciclo della materia. I sedimenti prodotti vengono dai fiumi convogliati verso il mare dove avviene la loro dispersione e poi la restituzione parziale alla terraferma. Qui le particelle man mano deposte formano un esercito immenso e mobilissimo di granuli, come pure è stato chiamato, che, rimaneggiato dal moto ondo-



Figura 1 - Particolare delle traverse ferroviarie di legno ormai consunte, infisse a suo tempo nella duna di Balestrate (PA) a difesa della strada ferrata Palermo-Trapani dal sorrenamento (foto Puglisi).

fornisce al vento la materia prima per edificare le dune.

La rimozione e trasporto di particelle ad opera del vento prende il nome di deflazione. Il movimento dei granuli avviene in prevalenza per saltazione ma anche per trascinamento o rotolamento raso terra. Quando il vento cessa, o incontra un ostacolo, o non ha più energia sufficiente, il materiale viene deposto e comincia ad accumularsi formando, appunto, le dune.

2. Cenni storici sul consolidamento delle dune

Si chiamano "attive" le dune mobili, e "inattive", invece, quelle ormai stabilizzate da costruzioni o dalla vegetazione¹.

Le dune attive possono invadere zone coltivate e abitazioni, ed anche raggiungere e seppellire strade e ferrovie. Quelle inattive, nel caso che il consolidamento sia dovuto alla copertura vegetale, vanno sorvegliate affinché tale ricoprimento sia sempre efficiente. È questo il caso che interessa la ferrovia Palermo-Trapani che, nel tratto Balestrate-Alcamo, proprio al confine tra le due province, è costruita su dune trasversali.

Le dune trasversali, disposte come un cordone rettilineo normale alla direzione del vento, hanno sezione triangolare scalena, cioè con lati e angoli disuguali. Il lato maggiore, disposto orizzontalmente, costituisce la base del rilievo dunoso, mentre il lato medio a pendenza più dolce è quello sopravvento, e il lato minore più ripido è sottovento. Scrive Senni (1879-1954), che è stato un grande tecnico forestale (Gabrielli, 2005) e ha operato a lungo in Sicilia: «I granelli di sabbia per rotolamento risalgono questo piano inclinato e giunti alla sommità precipitano sul lato minore opposto: in conseguenza di questo movimento le dune si spostano avanzando verso l'interno» (Senni, 1934).

La linea ferroviaria da Palermo a Partinico fu aperta all'esercizio il 1° giugno 1880, e il tronco successivo, Partinico-Castellammare del Golfo, quello d'interesse, il 1°

marzo 1881. Per scongiurare il pericolo del sorrenamento «la Società costruttrice delle ferrovie occidentali della Sicilia iniziò e proseguì per vario tempo delle opere adatte ad impedire o, meglio, ad arrestare il movimento delle sabbie. Parallelamente alla linea di movimento ed a variabili distanze da essa elevò dei ripari con vecchie traversine di legno, sporgenti da m 1,50 a m 1,75 sulla superficie superiore delle sabbie e distanti fra loro da 2 a 3 cm. A ridosso imboschì con *Myoporum insulare* [*Myoporum tenuifolium* G. Forst.], *Pino d'Aleppo*, *Lecio*, *Ginepro*, interpolandovi - per rivestimento - *Lantana salvifolia* [*Buddleja salviifolia* (L.) Lam.], *Solanum sodomaeum*, *Agave americana*, *Mesembryanthemum acinaciforme* [*Carpobrotus acinaciformis* (L.) Bolus], *Psamma arenaria* [*Ammophila arenaria* (L.) Link.]» (Terracciano, 1916).

Un particolare interessante che il prof. Terracciano, testé citato, non riferisce, è che le traverse ferroviarie di legno infisse nella sabbia, erano tra loro rese solidali mediante fascette metalliche della larghezza di un centimetro poste a 20-25 cm dalla sommità. Quel che rimane di tali nastri metallici, ormai disfatti quasi del tutto dalla ruggine, è ancora visibile (Figura 1).

L'infissione di traverse ferroviarie nella sabbia è da considerare una variante del metodo Brémontier, dal nome dell'autore che in Francia mise a punto la tecnica di consolidamento delle dune. L'importanza di tale opera che, nelle Lande di Guascogna, portò alla formazione di 800 000 ettari di foresta su terreni sabbiosi poverissimi, merita una breve descrizione, anche perché costituisce un riferimento classico nella storia di questa tecnica. Nel Sud-Ovest della Francia, la mobilità delle dune attive, o *jeunes dunes*, cominciò a creare problemi nel XVI secolo, minacciando villaggi e campi coltivati. I primi lavori furono eseguiti tra il 1787 e il 1793 e consistettero nella semina di Pino marittimo dietro fascine di ramaglia disposte parallelamente alla batigia. I lavori ripresero nel 1801 e furono condotti fino al 1862 dall'*Administration des Ponts et Chaussées* e successivamente da quella *des Eaux et Forêts*, con l'inseri-

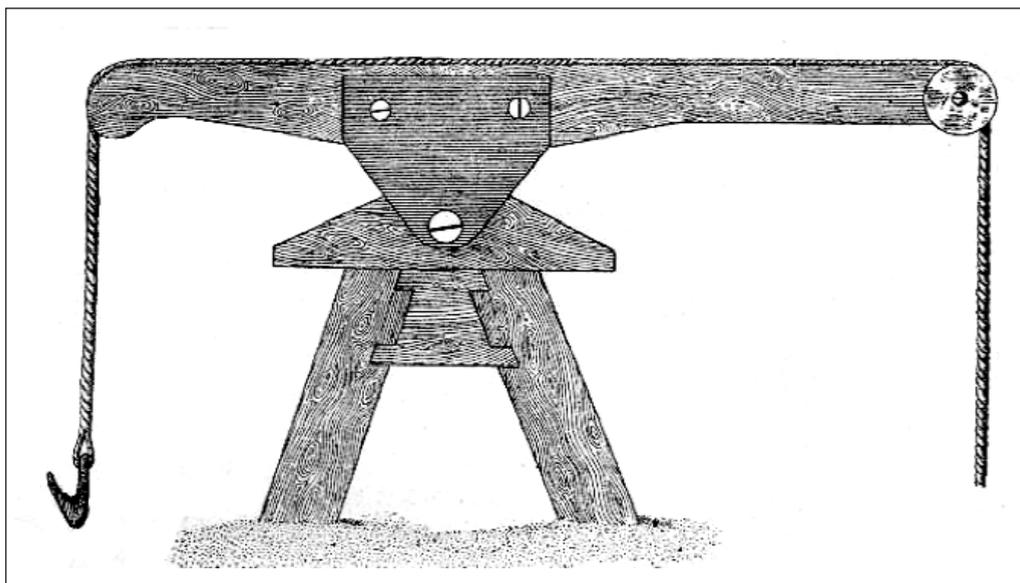


Figura 2 - Leva a gancio per estrarre le tavole delle palizzate sepolte dalla sabbia (da Piccioli, 1923). Questo dispositivo ha trovato ancora impiego nel secolo XX.

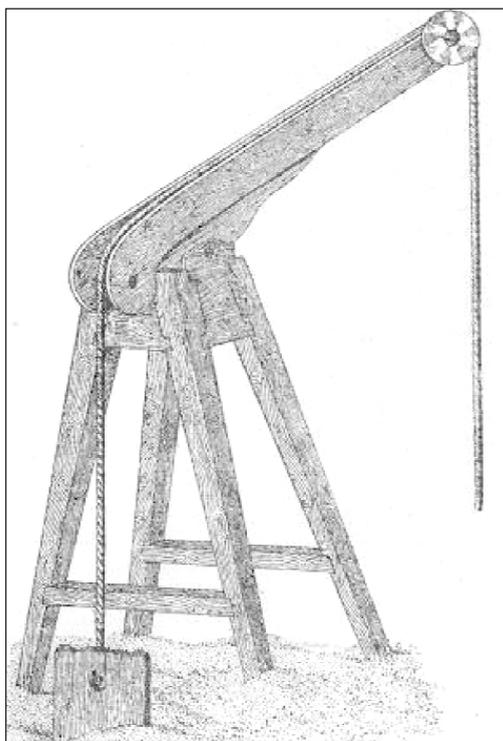


Figura 3 - Dispositivo a carrucola per estrarre le tavole delle palizzate dopo il sorrenamento (da Piccioli, 1923).

mento, lato mare, di dune artificiali, o antidune, ideate nel 1825 dall'ingegnere Goury, con lo scopo di proteggere dal vento le retrostanti semine e piantagioni (Guinodéau et Castaing, 1963). Per edificare la duna artificiale si costruivano delle palizzate, ottenute con assi di pino alte 1,50-2,00 m, larghezza 20 cm, spessore 18-20 mm, spaziate di 2-3 cm, le quali, man mano che la sabbia le seppelliva, venivano progressivamente sconfiggiate dal terreno mediante un robusto trespolo di legno a 4 elementi recante superiormente una leva munita di gancio che veniva infilato nell'apposito foro predisposto in testa alle tavole (Figura 2). Alla sommità del trespolo invece della leva a gancio poteva esservi una carrucola (Figura 3). La tecnica dell'intrappolamento dei granelli di sabbia è sempre valida, solo che adesso viene applicata con materiali diversi (Figura 4).

Lo schema costruttivo della duna litoranea artificiale ha subito modifiche nei vari luoghi ed epoche di applicazione e continua ad avere sviluppi anche oggi. Nei rimboschimenti litoranei del periodo 1950-1970, finanziati dalla Cassa per il Mezzogiorno (Tabella 1), essa, edificata inizialmente a mano, successivamente a macchi-

na, e ribattezzata "argine a mare", aveva altresì lo scopo di proteggere le retrostanti semine e piantagioni dalle mareggiate, sicché ne vennero costruite anche per ripristinare la continuità dei cordoni dunosi litoranei demoliti dal vento e dal mare.

Il consolidamento delle dune eoliche attive e di quelle artificiali, dove se ne è resa necessaria la costruzione, si compie per mezzo di piante erbacee, fruticose e suffruticose, oppure alberi, ma essendo la loro superficie instabile, per ricoprirle di vegetazione occorrono alcuni accorgimenti onde impedire che le piante vengano «con alterna vicenda scalzate o sepolte dalla rena restando scoperte o soffocate» (Piccioli, 1923). A tal fine si ricorre a difese morte quali siepette, formate intrecciando rami secchi sostenuti da paletti bene infissi nel suolo, e incannuciate, fatte con stuoie di *Arundo donax* L. Queste ultime, nella versione più aggiornata, introdotta nei lavori di rimboschimento del litorale jonico di Basilicata, sono di canne scortecciate, tagliate in elementi di 110 cm d'altezza, con diametro medio compreso tra 1,5 e 3,0 cm, tenute insieme da una doppia legatura di fil di ferro zincato, ripetuta ogni 37 cm circa. Le stuoie, disposte verticalmente, interrato per 10-15 cm e sostenute ogni 1,5 m da paletti di castagno, o di altra specie, bene infissi nel terreno e sporgenti da esso un metro circa, vengono rinforzate ancora da due file di grosse canne accoppiate, disposte orizzontalmente tra i paletti.

Tutte le opere morte, dalle palizzate alle fascinate, dalle incannuciate ai pannelli di tavolette verticali inchiodate a una coppia di assi orizzontali, si fanno lasche per rallentare il vento, sottrargli energia e fargli depositare la sabbia, senza costringerlo, qualora fosse impedito del tutto, a saltare l'ostacolo. Queste difese inerti possono disporsi a filari paralleli o a scacchiera. Nel caso di Balestrate (PA), dopo gli interventi iniziali di cui si è detto, l'imboschimento è avvenuto previa "sistemazione a quadrati" (Senni, 1934) (Figura 5).

Il successo di questi interventi è fondato sulla continuità, cioè su una presenza manutentoria continua consistente in cure colturali delle semine e piantagioni, risar-

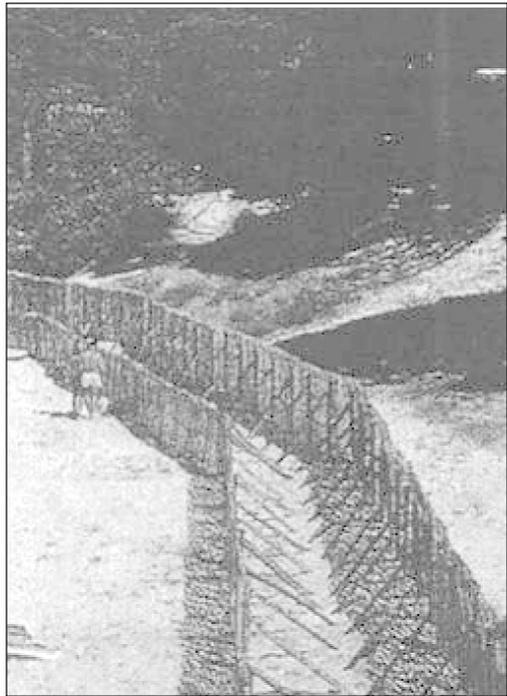


Figura 4 - Palombaggia (Corsica). Barriera frangivento realizzata dall'AGENC con "ganivelles". All'interno delle pareti che formano la barriera frangivento, la sabbia inizia a depositarsi e la vegetazione a insediarsi (da Corverio, 2003).

cimenti delle fallanze, sffollamenti, diramamenti, governo e trattamento dei popolamenti creati. Queste operazioni a Balestrate (PA) sono state compiute grazie anche al passaggio del complesso boscato all'Azienda Regionale Foreste Demaniali della Sicilia. La scarpata del rilevato ferroviario è fittamente coperta e resa salda dal Mesembriantemo (*Carpobrotus acinaciformis*). Dopo la strada ferrata, che è a mezza costa, la duna continua a salire coperta di Agavi, Acacie, Eucalitti, Pini d'Aleppo e Pini domestici (Figura 6). E' un complesso di ha 41.54.74 in contiguità di altro rimboschimento della stessa estensione circa in Comune di Alcamo (TP), amministrati entrambi, congiuntamente, dall'Ispettorato Ripartimentale delle Foreste di Trapani.

Le dune della Sicilia, a causa della loro grande estensione, hanno richiamato a lungo l'attenzione degli studiosi italiani di

REGIONE	Superficie rimboscita previo consolidamento o meno Ettari	Lunghezza del litorale effettivamente interessata dai lavori Chilometri
Venezia Euganea e Giulia	1500.—	43.—
Emilia Romagna	1410.—	50.—
Marche	32.—	7.—
Abruzzi e Molise	178.—	23.500
Puglie	1913.—	58.—
Basilicata	1150.—	35.—
Calabria	1006.—	47.—
Sicilia	766.—	37.—
Sardegna	2956.—	75.—
Campania	1367.—	61.500
Lazio	1007.—	—
Toscana	478.—	34.—
Totale	13763.—	471.000

Tabella 1 - Entità dei principali rimboscimenti di litorali sabbiosi eseguiti sino al 1960 (da Bosetto, 1961).

scienze forestali.

Le condizioni ecologiche estreme degli ambienti dunosi siciliani vanno tenute presenti per meglio apprezzare i risultati conseguiti e, in un solo caso, per giustificare un insuccesso, quale fu quello della duna di Selinunte, dove venne commesso l'errore «d'aver messo a dimora piante trasportate dai vivai della montuosa e fresca Fi-

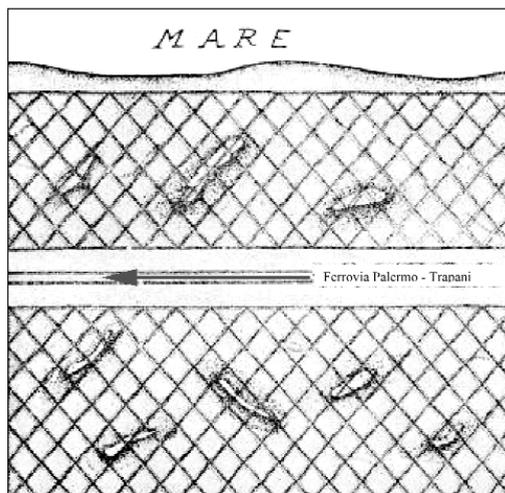


Figura 5 - Sistemazione a scacchiera delle dune di Balestrate (PA) secondo il Progetto Perri (da Senni 1934, modificato).

cuza, e d'aver scelte essenze inadatte» (Terracciano, 1916).

Un intervento indovinato, invece, fu quello della Playa di Catania, dove «il primo progetto di imboscimento porta la data del 7 aprile 1876» (Terracciano, 1916).

Altro intervento coronato da successo fu quello di Gela (CL), iniziato nel 1927, esteso 130 ha circa, a protezione delle campagne retrostanti, della linea ferroviaria e della

strada nazionale Gela (CL) - Vittoria (RG). A questo rimboscimento uno dei progettisti succedutisi nella direzione dei lavori dedicò un lungo articolo con descrizione puntuale e documentazione fotografica della tecnica impiegata (Figura 7).

Analogo lavoro, anch'esso documentato, fu eseguito nel 1928 e anni successivi a Randello nel Ragusano su 100 ha di dune, e ne fu autore Lorenzo Senni, che ne pubblicò i disegni di progetto (Figure 8, 9). Un intervento più recente andato a buon fine è quello di Borgo Bonsignore, cominciato nel 1949 a difesa degli agrumeti di Ribera (AG), per il quale, tenendo conto delle precedenti esperienze, si istituì sin dall'inizio apposito vivaio nel perimetro del rimboscimento che al termine dei lavori raggiunse l'estensione di ettari 96.

Tutti questi complessi sono stati successivamente ripresi e ampliati dall'Amministrazione Forestale con fondi della Cassa per il Mezzogiorno. Il passaggio dall'agricoltura estensiva a quella intensiva, grazie alla meccanizzazione nelle pianure litoranee rese irrigue, ha avuto notevoli ripercussioni in tutta l'Italia meridionale dove contemporaneamente aumentava sia il bisogno di fasce frangivento nelle pianure



Figura 6 - La duna di Balestrate (PA) definitivamente consolidata dal rimboschimento. Sono ancora visibili, consunte dal tempo e dai venti salmastri, le traverse ferroviarie impiegate per contrastare la deflazione (foto Puglisi).

prossime al mare, sia la necessità sociale di occupare nei lavori forestali i braccianti emarginati dai processi di ammodernamento dell'agricoltura.

Al Congresso nazionale sui rimboschimenti organizzato dall'Accademia Italiana di Scienze Forestali a Firenze nell'aprile 1961, un Ispettore generale del Corpo Forestale dello Stato, specialista in questa materia, nella sua relazione fissò in quattro punti gli obiettivi dell'attività di forestazione delle sabbie litoranee: 1) difesa di abitati, vie di comunicazione, coltivi ecc.; 2) costituzione di barriere frangivento a protezione delle colture agrarie; 3) valorizzazione economica di terreni non altrimenti utilizzabili; 4) tutela delle attività balneari e turistiche (Bosetto, 1961).

Il terzo punto spiega il largo impiego nei lavori di specie a rapido accrescimento, estranee all'ambiente, quali l'Eucalitto. E' questo

all'arretramento delle spiagge.

3. I nuovi criteri di protezione delle dune

Il rapporto fiume, mare, spiaggia, duna, vegetazione rivierasca è come una tela dove togliendo un filo si deforma e si scuce tutto l'ordito. Prima che il processo evolutivo dei litorali si generalizzasse, di questa fragilità del sistema costituì esempio significativo, e molto documentato, quello della Pi-



Figura 7 - Siepi frangivento e piantagione di Acacia saligna a Gela (CL) (da Voce, 1941).

un punto, però, dove le vedute odierne del restauro ambientale differiscono profondamente da quelle dei forestali di allora.

Ma non è soltanto questo che è cambiato dagli anni Sessanta a oggi. Vi è in atto un processo evolutivo della morfologia costiera, che minaccia equilibri assai delicati, perché si è accentuato il fenomeno inverso, di passaggio dal protendimento

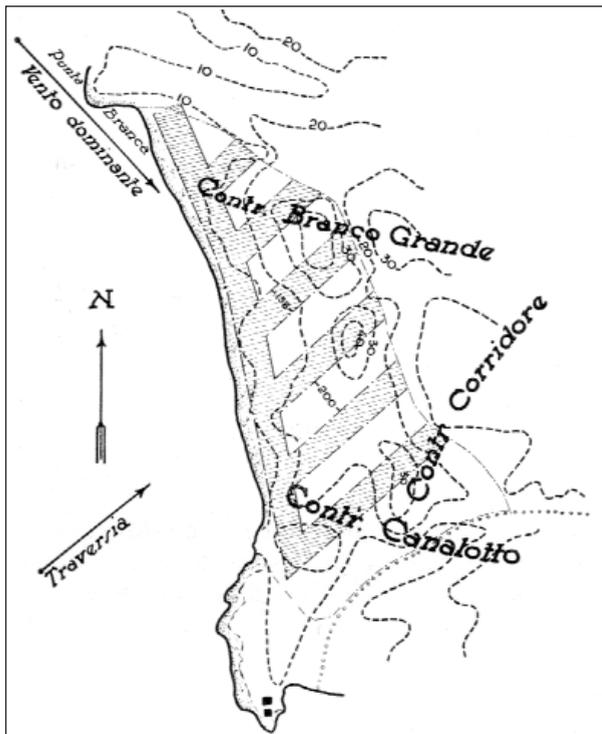


Figura 8 - Schema generale dei lavori di consolidamento delle dune di Randello aventi altezza fino a 40 m in Comune di Santa Croce Camerina (RG) (da Senni, 1934).

netta litoranea di San Rossore a Pisa. Qui l'Istituto di Botanica dell'Università di Roma aveva eseguito studi sulla vegetazione spontanea al fine di inquadrare e valutare gli stadi delle successioni vegetali naturali. Dai rilevamenti eseguiti risultò che la seriazione dinamica si presentava depauperata e frammentaria. «Tale situazione è dovuta, oltre che ad un influsso antropico esercitato sotto varie forme, anche al "fenomeno erosione" che interessa ormai da tempo la linea di costa della Provincia di Pisa. La successione naturale della cintura di vegetazione colonizzatrice delle sabbie litoranee mediterranea

è infatti chiaramente influenzata dalla stabilità della linea di costa. L'erosione della linea di costa determina l'arretramento e spesso la scomparsa delle cinture di vegetazione pioniera, consolidatrice delle dune litoranee e barriera naturale di vegetazione che a forma di "cuneo", cioè di "macchioni", ne aumentano di dimensione con l'allontanarsi dalle linee di costa, e consentono lo sviluppo di alberi sempre più alti» (Figura 10) (Comm.ne di Studio San Rossore, 1984).

A San Rossore il "cuneo" reale aveva raggiunto la massima consistenza del modello, o "cuneo virtuale", a seguito della demolizione spontanea dell'ala destra deltizia del fiume Arno e il conseguente protendimento del litorale a nord di Pisa con formazione di nuovi cordoni dunosi. L'allargamento della sezione fluviale allo sbocco in mare, però, col brusco rallentamento della corrente, provocò la deposizione di una barriera faciale, impeditiva dell'accesso dei natanti. Perciò, nel 1926 fu armata la foce con la costruzione di un molo a scogliera ortogonale alla costa sabbiosa che «ha intercettato il trasporto litoraneo provocando depositi sopraflutto ed erosioni sottoflutto, lato S. Rossore» (Comm.ne di Studio San Rossore, 1984).

L'arretramento della spiaggia ha causato la demolizione dei cordoni dunosi già rivestiti di vegetazione esponendo la retrostante foresta ai forti venti di libeccio veicolo di aerosol marino carico di sostanze inquinanti provenienti dall'Arno. Ne è conseguito il crollo della cenosi. Il restauro dell'ecosistema

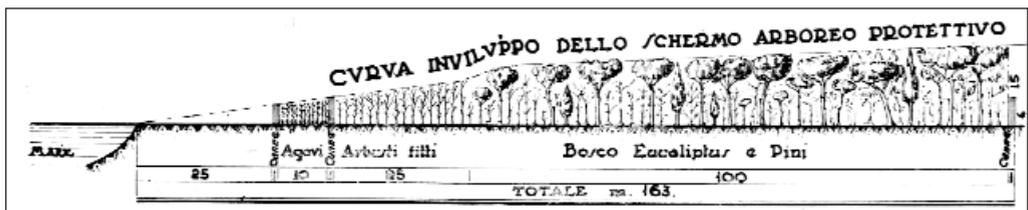


Figura 9 - Sezione trasversale della fascia costiera di protezione a Randello (da Senni, 1934).

danneggiato ha richiesto, quindi, interventi preliminari di protezione del litorale in erosione e di ricostruzione delle dune.

Oltre alla costruzione di porti-canale e, comunque, di moli ortogonali alla linea di riva, l'erosione dei litorali per larga parte è conseguenza del fatto che molti corsi d'acqua sono stati sbarrati² onde creare invasi per scopi irrigui, nonché di approvvigionamento idrico per uso potabile e impieghi industriali.

L'effetto negativo delle dighe sul ripascimento delle spiagge non è dovuto soltanto alla intercettazione della portata solida. Infatti, a valle degli invasi, coi deflussi si riduce anche la capacità di trasporto dei sedimenti prodotti nei bacini torrentizi degli affluenti che si versano tra il corso d'acqua sbarrato e la foce. A queste due cause in molti casi si aggiunge il prelievo di inerti dagli alvei, che è stato massiccio a partire dagli anni del miracolo economico, della costruzione delle grandi arterie stradali e dei numerosi villaggi turistici lungo il mare o nei suoi pressi.

Questi fenomeni sono compresenti nel Litorale jonico di Basilicata dove hanno determinato la perdita del 77,8% della sua consistenza areale (Tabella 2).

CNR e Università, hanno qui, prima, durante e dopo il Progetto Finalizzato "Conservazione del suolo", organizzato convegni e condotto ricerche tra cui particolarmente significative quelle sul bilancio sedimentario costiero (Pierce, 1976; Spilotro et al., 1998).

I quattro principali fiumi lucani del versante jonico (Bradano, Basento, Agri, Sinni) sono stati sbarrati con 9 dighe provocando l'anzidetto arretramento degli are-

nili latitanti alle loro foci. L'unico fiume non indigato e non soggetto, a differenza degli altri, a forti prelievi di inerti, è stato il Cavone il quale ha fatto registrare una considerevole espansione delle spiagge che esso alimenta con materiali nuovi, provenienti soprattutto dai profondi, estesi e molto ramificati canyon di monte che sono in pieno sfacelo.

Gli arenili che beneficiavano degli apporti del fiume Bradano, dal 1955 al 1998 hanno perso 2 milioni di metri cubi, altrettanti ne hanno perso le spiagge alimentate dal fiume Basento, 900 000 m³ è il deficit di quelle del fiume Agri e 1,7 milioni di metri cubi il saldo negativo del fiume Sinni. L'avanzamento, invece, delle spiagge influenzate dai contributi di materie solide da parte del fiume Cavone, che è il minore dei fiumi lucani, è stato di 1,2 milioni di metri cubi (Spilotro et al., 1998).

Proprio alla foce del Cavone è stato realizzato un intervento di ricostruzione di duna con una tecnica nuova. Le tecniche attuali di restauro degli ambienti dunosi differiscono da quelle dei tempi andati per i mezzi impiegati che sono funzionali agli obiettivi, adattati cioè alla minaccia e al danno inferito vuoi dalla Natura vuoi dall'Uomo.

Anzitutto, non sussiste più, e se n'è fatto cenno, l'esigenza di valorizzare economicamente terreni non altrimenti utilizzabili, come le dune bianche.

In secondo luogo, la scelta delle specie da impiegare non è fatta più con i criteri della zonazione fitoclimatica e dell'incremento di produzione legnosa, ma attraverso «l'analisi delle correlazioni esistenti tra

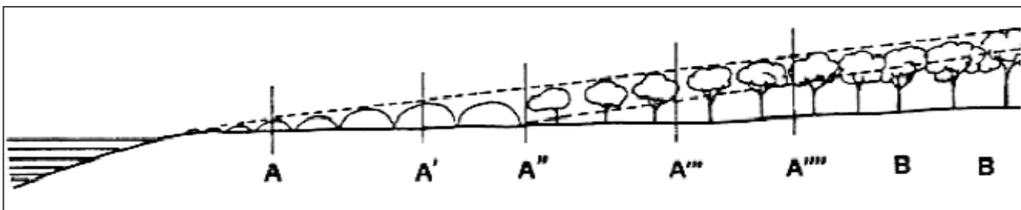


Figura 10 - Il valore dell'angolo al vertice del "cuneo" di vegetazione e la conseguente maggiore o minore altezza raggiungibile dalla vegetazione in ciascuno dei punti intermedi (A, A', A'', A''', A'''' , B, ecc.), dipende dall'equilibrio naturale raggiunto. «A morfologia costante il valore dell'angolo è costante. Ogni intervento naturale o antropico che modifichi nei punti considerati la struttura del "cuneo" provocherà una modificazione della vegetazione verso mare e verso terra» (da Comm.ne di Studio San Rossore, 1984).



Figura 11 Briglia filtrante costruita ad Anzi (PZ) nel Vallone dell'Inferno, tributario del fiume Basento, dopo 40 anni circa di funzionamento. E' evidente la selezione del trasporto solido operata dalla griglia, con trattenuta dei soli materiali grossolani e formazione di una colmata drenante che ha innescato processi di ritorno spontaneo della vegetazione (da Puglisi, 2005).

fattori ecologici (biotici, abiotici, merobiotici) e distribuzione degli aggruppamenti vegetali nel territorio d'interesse» (Forte e Lapresa, 1997).

In terzo luogo, oltre all'impiego di macchine, ci si avvale di materiali di produzione industriale quali stuoie, griglie, ecc. Il dosaggio di questi rimedi avviene in funzione

delle finalità da conseguire.

Presso la foce del Cavone l'ambiente dunoso si presentava molto alterato dal punto di vista morfologico, perché soggetto a deflazione, poco coperto di vegetazione, per giunta in modo discontinuo. «Inoltre, la normale successione spaziale dei diversi aggruppamenti paraclimacici, che naturalmente si susseguono sugli arenili dal mare verso l'interno, risultava completamente assente» (Forte e Lapresa, 1997). L'intervento, associato ad altri lavori, è consistito nel ricostruire le duna con materiale di riporto, dopo [...] «aver recuperato tutto il materiale vegetale presente sino a una profondità di 70-80 centimetri rimuovendo e setacciando la sabbia. Questo materiale, costituito da radici, rizomi, ecc., insieme ai semi

e alle idonee porzioni di piante prelevate in loco, è stato opportunamente trattato e/o riprodotto con le tecniche brevettate. Successivamente è stato asportato uno strato di sabbia sino a una profondità di 50-60 centimetri e temporaneamente stoccato. Solo dopo questa operazione nelle aree di scavo è stato riportato, modellato e compattato ter-

Regione	Lunghezza totale [km]	Coste alte e aree portuali [km]	Coste basse [km]	Tratti in erosione [km]	% spiagge in erosione
Liguria	350	256	94	31	33,0
Toscana	442	243	199	77	38,7
Lazio	290	74	216	117	54,2
Campania	480	256	224	95	42,4
Calabria	736	44	692	300	43,4
Sicilia	1623	506	1117	438	39,2
Sardegna	1897	1438	459	165	35,9
Basilicata	68	32	36	28	77,8
Puglia	865	563	302	195	64,6
Molise	36	14	22	20	90,9
Abruzzo	125	26	99	60	60,5
Marche	172	28	144	78	54,2
Emilia Romagna	130	0	130	32	24,6
Veneto	140	0	140	25	17,9
Friuli-Venezia Giulia	111	35	76	10	13,2
Italia	7465	3515	3950	1661	42,1

Tabella 2 - Stato dei litorali italiani alla data odierna (da Gruppo Naz.le di Ricerca sull'Ambiente Costiero, 2006).

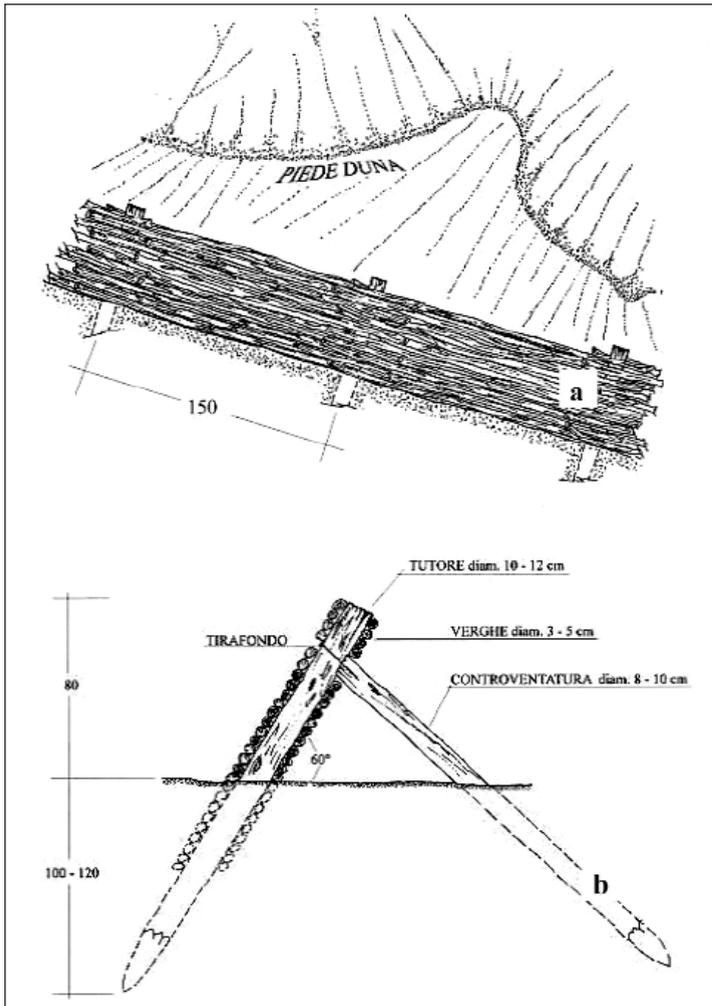


Figura 12 - Prospetto e sezione della barriera costruita con materiale d'intreccio alla base della duna verso il mare (da Bovina et al., 2003).

reno limo-sabbioso proveniente dallo scavo delle lagune ecologiche previste nell'ambito del progetto generale. Questa ossatura del corpo duna è stata infine ricoperta con la sabbia precedentemente stoccata, andando a formare uno strato a substrato adatto per far vegetare le essenze psammofile». Si è proceduto, quindi, alla messa a dimora di talee, rizomi, cespi, e alla «idrosemia, la cui composizione è stata determinata in funzione delle caratteristiche delle specie dunali prescelte, nonché in base a quelle geomec-

caniche del terreno, e costituita essenzialmente da una miscela di specie erbacee e arbustive sotto forma di semi e plantule meristematiche selezionati e garantiti per quanto riguarda i criteri di germinabilità, fertilizzanti organici, additivi e agglomeranti a base di resine biodegradabili con effetto collante, filmogeno e igroscopico». Per fermare il movimento della sabbia, prima che la vegetazione incominciasse la sua opera di fissazione, era stata posta in opera una biostuoia biodegradabile, ancorandola con paletti di castagno. «Questa biostuoia, in funzione delle sue caratteristiche, ha svolto una duplice azione, fisica e biologica. La prima di protezione della sabbia dall'azione eolica, la seconda di garantire, in un primo periodo, un minore disseccamento del substrato arenaceo grazie al diverso potenziale matriciale di questo materiale rispetto a quello della sabbia e, successivamente al suo disfacimento, di migliorare la struttura del substrato funzionando da ammendante» (Forte e Lapresa, 1997).

Nella ricostruzione e restauro delle dune trovano largo impiego ormai le tecniche dell'ingegneria naturalistica. Ne esistono vari altri esempi, oltre a quello testé descritto. Il più importante, per estensione, riguarda l'orlo marino del Parco Nazionale del Circeo. Si tratta di un cordone dunoso lungo 25 km e alto in media 8-10 m, con un massimo di 27 m, "cementificato" da una strada e relativi

parcheggi che corre sulla cresta della duna, e attraversato da numerosi viottoli dove il calpestio di bagnanti e turisti ha portato via la vegetazione ed eroso i sentieri. E' stato valutato infatti che ogni pedata sposta circa 2,5 kg di sabbia. Tanto l'erosione idrica, indotta dal manto stradale che impermeabilizza il tetto della duna e quando piove produce ruscellamento ai lati, quanto l'erosione eolica che si incanala nelle incisioni rill e nei sentieri pedonali, hanno parzialmente demolito larghi tratti di duna.

I rimedi sono consistiti in rimozione del manto d'asfalto, costruzione di barriere basali in viminate (Figura 12), chiusura dei varchi mediante palizzate, creazione di schermi frangivento, costruzione di passerelle pedonali in legno su palafitte, planimetricamente a zigzag³. Nella figura 13 si vede una panoramica del cordone dunoso di Sabaudia in fase di restauro.

In questi lavori le opere morte sono da considerare delle protesi per consentire alla vegetazione di affermarsi. Il *melting pot* che si ebbe dagli inizi di questa attività a tutto il periodo della Cassa per il Mezzogiorno, giustificato dalla politica forestale del tempo, è servito anche ad approfondire fondamentali aspetti tecnici su come far venire un bosco sulle dune bianche. Adesso,

però, questo stadio è superato dalla cultura di oggi e da conoscenze biologiche più avanzate in materia di fitosociologia, pedologia e biodiversità.

4. Il controllo biologico dell'erosione sottomarina

I lavori brevemente descritti, di ricostruzione e restauro delle dune sono, però, del tutto inutili allorché le spiagge sono in erosione. Se non se ne arresta l'arretramento, la duna con tutti gli apprestamenti difensivi possibili è condannata a essere smantellata, demolita, e a scomparire del tutto.

La difesa degli arenili è compito dell'ingegneria marittima che studia sia le opere per difendere l'esistente (scogliere, pennelli, drenaggi, ecc.), cioè quel che resta delle spiagge, sia la ricostruzione di queste mediante ripascimento artificiale. Vi è, però, un terzo modo di intervenire, a forte impronta biologica.

La nuova tecnica consiste nello stabilizzare la cosiddetta spiaggia interna, quella posta cioè tra la berma e la spiaggia emersa, mediante piantagione di *Posidonia oceanica*. Questa, è una pianta evoluta, come le



Figura 13 - Il cordone dunoso di Sabaudia in fase di restauro (foto Puglisi).

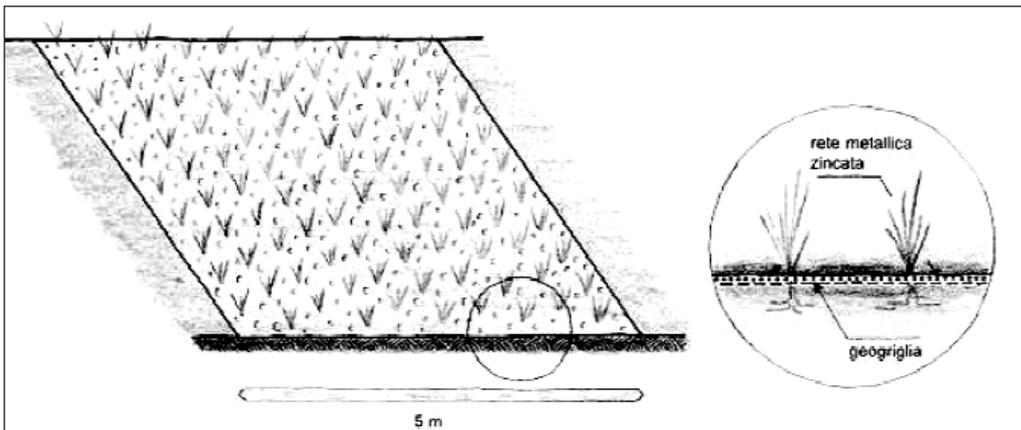


Figura 14 - Schema di rivegetazione dei fondali mediante piantagione di talee di *Posidonia* con l'ausilio di geogriglie e reti metalliche zincate (da Boccalaro, 2006).

graminacee terrestri, e appartiene alla famiglia delle Fanerogame. È rizomatosa, dotata di radici, lunghe foglie nastriformi, fiori veri e propri, che vive sott'acqua dove forma estese praterie. Essa resiste all'erosione, perciò, potendo contrastare la regressione delle spiagge è determinante per l'equilibrio geomorfologico dei litorali. La *Posidonia*, purtroppo, è minacciata e danneggiata dalla pesca a strascico, dalle ancore dei natanti da diporto, dall'inquinamento marino e dalla distruzione da parte delle draghe e delle idrovore che lavorano nelle cave sottomarine per estrarre la sabbia occorrente per il ripascimento dei litorali. Sono molto avanzati nel bacino del Mediterraneo occidentale, anche in Italia, gli studi sulla sua biologia, e sono in corso importanti programmi per la sua salvaguardia, propagazione, impiego⁴. Le piantagioni di talee di *Posidonia* si avvalgono delle tecniche dell'ingegneria naturalistica, consistenti nell'impiego di geogriglie e reti metalliche zincate, fissate da operai subacquei mediante picchetti di ancoraggio a vite di acciaio zincato (Figura 14).

Note

- 1 - Una classificazione diversa da quella adottata in Italia (Bosellini, 1987), è opera dell'olandese Van Dieren, e risale al 1934 (Lux, 1995).
- 2 - Quando i fenomeni di erosione dei litorali hanno

assunto progressione e proporzioni preoccupanti, tra le loro cause sono state incluse le sistemazioni idraulico-forestali «Il forte prelievo di inerti dagli alvei fluviali per la costruzione di autostrade e di invasi artificiali, le opere di contenimento, le riforestazioni e regimazioni idrauliche e montane, costituiscono indubbiamente gli elementi di maggior peso che sono alla base dei profondi squilibri che caratterizzano un discreto numero di corsi d'acqua italiani» (Tazioli, 1982). Prima che i problemi si aggravassero, una soluzione per l'imbrigliamento dei torrenti con opere selettive della portata solida era stata trovata. L'impiego di briglie filtranti, introdotte per la prima volta in Italia, proprio in Basilicata (Puglisi, 1968), ha dato risultati soddisfacenti sia dal punto di vista sistematorio (figura 11) (Fattorelli, 2005, Puglisi, 2005), che da quello del restauro ambientale. Infatti, a causa del colmamento poroso, «l'effetto positivo nell'innesco di processi dinamici evolutivi spontanei a carico della vegetazione naturale è piuttosto evidente e documentabile a 40 anni dalla realizzazione delle briglie filtranti. La vegetazione che si insedia nelle aree retrostanti le briglie è a chiaro determinismo climatico e non è dipendente dall'umidità edafica, come avviene invece nel caso delle briglie piene a gravità. Le entità igrofile, invece si insediano solo sui paramenti di valle, dove espletano anche una funzione estetica di mascheramento dei manufatti» (Gentile et al, 2006).

- 3 - Per ostacolare l'erosione da calpestio ha svolto una funzione utile di recinzione la barriera frangimento a doppia parete già vista nella figura 4 (da

Corverio, 2003).

- 4 - In particolare le Regioni Lazio, Toscana, Liguria hanno in corso interventi sperimentali con l'impiego di *Posidonia oceanica* nonché studi e rilievi cartografici (Diviaco, 2004).

Bibliografia

- Boccalaro F., 2006, *Difesa del territorio e ingegneria naturalistica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- Bosellini A., 1984, *Le scienze della terra*, Bovolenta Editore, Ferrara.
- Bosetto G., 1961, "Aspetti particolari della tecnica dei rimboschimenti delle sabbie litoranee", in *Acc. It. Sc. For., Atti del Congresso Nazionale sui rimboschimenti e sulla ricostituzione dei boschi degradati*, Firenze 12-15 aprile 1961, I, Relazioni, Firenze.
- Bovina G., Callori Di Vignale C. e Amodio M., 2003, "L'approccio dell'ingegneria naturalistica nella conservazione degli ambienti dunali", in Regione Lazio, *Manuale di Ingegneria Naturalistica, Volume 2, Applicabile ai settori delle strade, cave, discariche e coste sabbiose*, Roma.
- Commissione Per Lo Studio Della Degradazione Della Vegetazione Nella Tenuta Di San Rossore, 1984, *Degradazione della vegetazione nella Tenuta di San Rossore*, Relazione della Commissione di Studio al Sig. Presidente della Repubblica, Palazzo del Quirinale, Roma.
- Corverio F., 2003, *Il restauro ambientale della duna in un'area costiera antropizzata: Focene (Roma)*. Studio preliminare, Tesi di Laurea, Relatore Prof.ssa A. M. Testi, Università degli Studi 'La Sapienza', Roma.
- D'Arrigo A., 1956, *Natura e tecnica nel Mezzogiorno*, La Nuova Italia Editrice, Firenze.
- Diviaco G., 2004, "La cartografia delle fanerogame marine in Liguria come strumento per la gestione e la protezione delle coste", in Regione Toscana, *Il piano Regionale di gestione integrata della costa ai fini del riassetto idrogeologico. Erosione costiera*, Edifir, Firenze.
- Fattorelli S., 2005, "Evoluzione delle strategie di gestione ed intervento nei bacini idrografici", *Quaderni di Idronomia Montana*, 22, Editoriale BIOS, Cosenza.
- Forte L. e Lapresa A., 1997, "Le dune dell'arco jonico", *Verde Ambiente*, XIII, 4-5, Roma.
- Gabbielli A., 2005, *Su le orme della cultura forestale. I Maestri*, Acc. It. Sc. For., Firenze.
- Gentile F., Zaccone C., Forte L., Mantino F., Puglisi S., 2006, "Impiego di briglie filtranti in un torrente della Basilicata e aspetti della rinaturazione indotta dal tipo d'intervento", *Quaderni di Idronomia Montana*, 26, Editoriale BIOS Cosenza.
- Gruppo Nazionale Per La Ricerca Sull'ambiente Costiero, 2006, *Lo stato dei litorali italiani*, "Studi costieri. Dinamica e difesa dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera", 10, Firenze.
- Guinaudeau J., et Castaing G., 1963, "Le reboisement des dunes maritimes de la région landaise", *Revue Forestière Française*, 5, Nancy.
- LUX H., 1995, "Le dune costiere, un ambiente in crescente pericolo: possibilità e tecniche di rinaturazione", in *Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica. Esperienze europee* (Congresso Internazionale - Lignano Sabbiadoro (UD) 21 - 23 Maggio 1992), a cura di G.Sauli e S. Siben, Patron Editore, Bologna.
- Passerini G., 1956, "La difesa del suolo delle spiagge italiane con particolare riferimento e connessione con le sistemazioni montane e le bonifiche litoranee", *Atti della Accademia dei Geografi*, Dispensa I e II, Firenze.
- Piccioli L., 1923, *Selvicoltura*, UTET, Torino.
- Pierce J.W., 1976, "Sediment balance in the shore zone", in CNR, *Seminario sul Regime e la Conservazione dei Litorali*, Venezia, 8 - 13 ottobre 1973; Ginosa Marina, 15 - 19 ottobre 1973, *Quaderni de 'La Ricerca Scientifica'*, 94, Roma.
- Puglisi S., 1968, "Resoconto delle esperienze in corso con dispositivi filtranti in alcuni torrenti dell'Appennino Lucano", *L'Italia Forestale e Montana*, XXIII (6), Firenze.
- Puglisi S., 2005, "Autobiografia di un'idea", *Quaderni di Idronomia Montana*, 22, Editoriale BIOS Cosenza.
- Senni L., 1928, "Le dune della Sicilia", *L'Alpe. Rivista Forestale Italiana*, XV, 10, T.C.I., Milano.
- Senni L., 1934, "Consolidamento delle dune e frangiventi", in Min. Agr. For., *Nuovi Annali dell'Agricoltura*, XIV, Roma.
- Spilotro G., Di Bratto M., Cecilia G. e Leandro G., 1998, "Evoluzione recente del litorale alto ionico compreso tra foce Sinni e foce Bradano", *Atti del Dip.to di Strutture, Geotecnica, e Geologia Applicata*, Facoltà di Ingegneria, Università della Basilicata, Pubbl. 1, 98, Potenza.
- Tazioli G. S., 1982, "Trasporto solido e fenomeni erosivi", in CNR - P. F. *Conservazione del suolo, Atti del Convegno conclusivo*, Roma, 9-10 giugno 1982.
- Terracciano A., 1916, "Il rimboschimento delle dune nei riguardi forestali, agrari ed igienici anche in rapporto colle bonifiche idrauliche", *Atti del III Congresso Forestale Italiano* (Napoli, 31 Maggio - 6 Giugno 1914), Portici.
- Voce B., 1941, "Il rimboschimento delle dune di Ge-la", *La Rivista Forestale Italiana*, 8, Firenze.