



**Interreg**



REGIONI EUROPEE

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

**MAREGOT**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**Enzo Pranzini**

# Misurare la spiaggia per gestire la costa

*con contributi di*

Y. Balouin, N. Bateau, G. Bruschi, C. Cavallo, L.E. Cipriani,  
M. Deriu, M. Farris, M. Ferrari, C.A. Garzonio,  
M. Jolivet, B. Kulling, A. Lai, A. Ritossa

*edifir*  
EDIZIONI FIRENZE







Enzo Pranzini

# Misurare la spiaggia per gestire la costa

*con contributi di*

Y. Balouin, N. Bateau, G. Bruschi, C. Cavallo, L.E. Cipriani,  
M. Deriu, M. Farris, M. Ferrari, C.A. Garzonio,  
M. Jolivet, B. Kulling, A. Lai, A. Ritossa

*edifir*  
EDIZIONI FIRENZE

Questo volume è stato prodotto nell'ambito del Progetto "MAnagement des Risques de l'Erosion cotière et actions de GOuvernance Transfrontalière – MAREGOT" (Cooperazione Interreg V -A Italia-Francia Marittimo 2014/2020)

Edifir Edizioni Firenze s.r.l.  
Via de' Pucci, 4 – 50122 Firenze  
Tel. 055289639  
[www.edifir.it](http://www.edifir.it) – [edizioni-firenze@edifir.it](mailto:edizioni-firenze@edifir.it)

*Responsabile del progetto editoriale*  
Simone Gismondi

*Responsabile editoriale*  
Elena Mariotti

ISBN 978-88-7970-931-6

Premessa	p.	5
Misurare la spiaggia per gestire la costa	»	11
L'acquisizione dei dati	»	23
L'elaborazione e la rappresentazione dei dati	»	35
L'uso dei dati per la pianificazione degli interventi	»	53
Successi e insuccessi del monitoraggio	»	65
Liguria		
Il monitoraggio dell'intervento di ricostruzione del litorale di Ospedaletti	»	67
Riequilibrio delle spiagge di Ameglia e Marinella di Sarzana	»	72
Toscana		
Il monitoraggio dell'intervento di riequilibrio del litorale di Marina di Carrara	»	76
Erosione e difesa del litorale di Capalbio	»	81
Corsica		
Monitoraggio dello smantellamento del porto di Porticciolo	»	85
Erosione e protezione della spiaggia di Prunete	»	89
Var		
I geotessuti di La Capte	»	92
Ecoplage® della spiaggia di Agay	»	100
Sardegna		
La messa in sicurezza di un tratto di litorale di Santa Margherita di Pula (CA)	»	107
Realizzazione di una spiaggia in ghiaia a Cala Gonone (Dorgali, NU)	»	113
Testi di riferimento	»	119



# Premessa

La conoscenza dell'evoluzione recente e dello stato attuale di un litorale, sia nei suoi tratti di costa bassa sia in quelli di costa alta, è un elemento fondamentale per la gestione dei rischi da erosione costiera, da inondazione da mare e da crollo delle falesie. Rischi a cui sono esposti – con lo spostamento delle popolazioni dall'interno verso la costa, con il rapido sviluppo di questa parte del territorio e con la costante crescita del turismo balneare – valori umani, ambientali ed economici sempre più importanti. Inoltre, la riduzione della resilienza di questa fascia di territorio, dovuta alla cementificazione delle coste, ha determinato un incremento di questi rischi.

## **Resilienza costiera**

*La capacità intrinseca della costa di adattarsi ai cambiamenti indotti dalle variazioni del livello del mare, dagli eventi estremi e dagli occasionali impatti antropici, mantenendo inalterate le funzioni del Sistema costiero sul lungo termine.*

EuroSION, 2007

Talvolta, il monitoraggio costiero è stato svolto in modo disomogeneo e discontinuo, o ha prodotto dati che non sono stati poi utilizzati per la pianificazione e la gestione della fascia costiera. Ciò è dovuto a più fattori: dalla scarsa confidenza degli attori con le informazioni acquisite, all'inadeguatezza dei dati stessi a rappresentare i fenomeni in atto nella scala spaziale e temporale opportuna, o alla loro non attualità.



I piani di monitoraggio sono stati spesso sviluppati senza una chiara finalizzazione, con l'idea che "raccogliere" dati sia comunque un momento iniziale per successivi approfondimenti; ma se il dato non è stato acquisito con metodi, protocolli e finalità ben definite, e se l'utilizzatore non è stato coinvolto fin dall'inizio ed ha collaborato alla definizione degli obiettivi, raramente i documenti prodotti avranno una piena utilizzazione e saranno efficaci ai fini della Gestione Integrata della Zona Costiera (*Integrated Coastal Zone Management, ICZM*).

### **Gestione Integrata della Zona Costiera (GIZC) *Integrated Coastal Zone Management (ICZM)***

*È un concetto ufficialmente nato nel 1992 durante il Summit della Terra di Rio de Janeiro (Agenda 21, Capitolo 17), ma presente da tempo nel pensiero scientifico e nei fondamenti della pianificazione territoriale, sebbene trovasse, allora come oggi, difficoltà nell'applicazione concreta.*

*La Commissione Europea ne dà la seguente definizione:*

*L'ICZM è un processo dinamico, multidisciplinare e iterativo per promuovere la gestione sostenibile delle zone costiere. Copre l'intero ciclo di raccolta delle informazioni, pianificazione (nel senso più ampio), processo decisionale, gestione e monitoraggio dell'attuazione. La ICZM usa la partecipazione e la cooperazione informate di tutte le parti interessate per valutare gli obiettivi della società in una determinata area costiera e per intraprendere azioni verso il raggiungimento di questi obiettivi. La ICZM cerca di equilibrare, su lungo termine, gli obiettivi ambientali, economici, sociali, culturali e ricreativi, tutti entro i limiti stabiliti dalle dinamiche naturali. "Integrato" nella ICZM fa riferimento all'integrazione degli obiettivi e all'integrazione dei numerosi strumenti necessari per raggiungerli. Significa integrazione di tutte le aree, i settori e i livelli amministrativi rilevanti. Significa integrazione delle componenti terrestri e marine del territorio di destinazione, nel tempo e nello spazio.*



Il progetto MAREGOT ha avuto quindi come primo obiettivo l'analisi dei monitoraggi effettuati nei territori transfrontalieri, per verificare se e come, nel passato, i dati prodotti fossero stati utilizzati per la pianificazione e la gestione della fascia costiera, quali risultati positivi avessero determinato e quali criticità fossero emerse.

AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI LIVORNO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA DELL'UNIVERSITÀ DI FIRENZE  
con il patrocinio della REGIONE TOSCANA

# Corso di aggiornamento sulla gestione delle aree costiere

S. Vincenzo (Livorno), 14-19 Maggio 1984



Copertina del programma di un corso di aggiornamento sulla gestione delle aree costiere rivolto a tecnici e amministratori degli Enti locali italiani svoltosi nel 1984, nel quale era già ben chiaro il concetto di integrazione delle varie componenti della fascia costiera.

Ciò ha richiesto un lavoro di comparazione fra le conoscenze acquisite al momento della pianificazione e le scelte effettuate nella stessa, sia in merito agli interventi di difesa dei litorali, sia negli strumenti urbanistici comunali, fino ai piani di gestione degli arenili. In questa fase si è cercato anche di fare un'analisi del rapporto costi/benefici del monitoraggio, ma i dati disponibili non hanno permesso di ottenere risultati significativi.

Per il monitoraggio degli interventi di difesa, si è valutato se gli schemi adottati fossero stati disegnati specificatamente per ottenere risposte sull'efficacia dell'intervento e delle sue ricadute sui tratti di litorale adiacenti, nonché se il monitoraggio fosse poi stato utilizzato per ridurre le criticità eventualmente rilevate.

Nell'ambito del Progetto MAREGOT sono stati analizzati anche i monitoraggi dello stato delle biocenosi costiere e della stabilità delle coste alte; quest'ultimi anche al fine di valutare il rischio di crolli e delimitare le aree sopra e sottostanti interessate, con particolare riferimento all'incolumità delle persone, prendendo anche in considerazione la sicurezza negli accessi. Ciò ha portato anche ad una valorizzazione di quanto proposto con il Progetto PERLA (e con la successiva estensione in I-PERLA) per l'analisi della pericolosità degli accessi e la realizzazione di una cartellonistica finalizzata all'incremento della sicurezza nell'uso della spiaggia.

Un punto evidenziato è quello dell'importanza dei dati meteo marini nell'analisi del territorio costiero, sia nella definizione del clima di progetto che nell'analisi degli eventi estremi, questi determinanti per la definizione dei livelli di rischio.

Tutti questi aspetti vengono trattati in altri documenti del Progetto.

Sulla base dei risultati della prima fase di MAREGOT sono stati sviluppati protocolli di monitoraggio specifici ed applicati a differenti aree campione (es. tratti lineari in erosione non difesi, pocket beach, aree con difese consolidate, aree con nuove difese, coste alte con falesie a strapiombo, coste alte orlate alla base da spiagge fruibili, ecc.). Tutto ciò con contatti fra tecnici, pianificatori, gestori e stakeholder.

Verranno quindi analizzati i risultati dei monitoraggi effettuati con questi protocolli e valutata la loro utilità ai fini della redazione di piani d'intervento per la stabilizzazione della costa e degli interventi programmatori e normativi per la Gestione Integrata della Zona Costiera. Anche questo verrà effettuato con un confronto fra tutti i soggetti coinvolti.

Il presente volume, volendo contribuire a questo confronto, viene pubblicato in una fase intermedia del Progetto e pertanto non può riportare tutti i risultati che verranno raggiunti. Contiene invece una riflessione su quanto fino ad oggi acquisito sul tema del monitoraggio dell'evoluzione dei litorali, riflessione da condividere con i vari soggetti che sono interessati in modo diretto o indiretto nella GIZC.

Non si tratta quindi di un manuale tecnico che illustra i metodi di rilievo, ma di un percorso ideale che parte dall'analisi dei motivi che rendono indispensabile il monitoraggio, per passare alla discussione del come i dati prodotti possono incidere sulla gestione delle aree costiere; finendo con il presentare casi in cui il monitoraggio dell'evoluzione del litorale ha indirizzato interventi di riequilibrio e casi in cui l'assenza o l'inadeguatezza dei dati ha impedito o ritardato l'adozione di soluzioni normative, pianificatorie, progettuali e gestionali ottimali.

### **Riferimenti bibliografici**

Eurosion, 2007. Vivere con l'erosione costiera in Europa. Risultati dello studio Eurosion. A cura di Doody P., Ferreira M., Lombardo S., Lucius I., Misdorf R., Niesig H., Salam A., Smallegange M., Cipriani L.E., Lanza S., Pranzini E., Randazzo G., Comunità Europea, Lussemburgo, 39 pp.

United Nations, 1992. Protection of the oceans, all kinds of seas, including enclosed and semi-enclosed seas, and coastal areas and the protection, rational use and development of their living resources. Agenda 21, Capitolo 17, [http://www.un.org/Depts/los/consultative\\_process/documents/A21-Ch17.htm](http://www.un.org/Depts/los/consultative_process/documents/A21-Ch17.htm)

*Carlo Alberto Garzonio*





# Misurare la spiaggia per gestire la costa

## Conoscere per governare

Tenere sotto osservazione l'evoluzione del litorale è una delle prime azioni in seno alla pianificazione e gestione del territorio costiero. Ben lo sapevano i Lorena quando, nel 1829, fecero porre sul litorale pisano tre cippi con una lapide in cui era incisa la distanza del mare (Fig. 1.1).



Figura 1.1. Parco di San Rossore (Toscana): uno dei tre cippi con lapide riportante la distanza dal mare nel 1829. Quello posto più vicino alla foce dell'Arno è andato perso per l'erosione del litorale.

La preoccupazione non era data da quell'erosione che oggi affligge questa costa, bensì dalla progradazione del litorale, che allontanava dal

mare le torri di guardia costiere e, più che altro, che aveva già portato all'insabbiamento del Sinus Pisanus, che per secoli aveva ospitato il porto di Pisa (Piccardi e Pranzini, 2018).

Ancor oggi la gestione del litorale deve fare i conti con l'eccesso di sabbia che si deposita in alcuni punti, spesso a ridosso di strutture portuali fino a precluderne l'accesso, obbligando i gestori a costosi interventi di dragaggio con innumerevoli problemi di smaltimento dei sedimenti, non sempre idonei al ripascimento dei litorali.

Ma è l'erosione costiera che più preoccupa amministratori, operatori economici e semplici cittadini, che vedono le proprie spiagge ridursi di anno in anno.

Conoscere la storia delle proprie coste, le loro dinamiche, le tendenze evolutive attuali e prevederne l'assetto futuro diventa un imperativo sotto la pressione di una continua crescita della popolazione e delle attività economiche e ricreative che si concentrano su questa esile fascia di territorio.

Quello che a prima vista sembra un banale esercizio di misurazione, altro non è che un aspetto del "conoscere per governare", ossia del fondamento dell'azione politica.

### **Per un processo decisionale informato**

*Una comprensione dettagliata e una capacità predittiva che copra tutte le scale temporali e spaziali consentirebbero un processo decisionale ottimamente informato. Tuttavia, ciò è al di là delle attuali possibilità della scienza costiera. Il cambiamento costiero si verifica temporalmente da secondi (ad es. singole onde) a decenni (ad esempio variabilità climatica come l'oscillazione decennale del Pacifico) e spazialmente dai centimetri (ad esempio le increspature) a centinaia di chilometri (ad esempio le cellule litorali). Pertanto, gli sforzi scientifici devono essere esplicitamente diretti verso la comprensione del cambiamento costiero su scala rilevante per la comunità di gestione (decenni e decine di chilometri). I compromessi economici e scientifici sono necessari per sviluppare la conoscenza più appropriata dei sistemi costieri per il processo decisionale. Un approccio a questi compromessi consiste nell'utilizzare uno schema di campionamento annidato, in cui vengono utilizzate più tecniche per misurare il cambiamento morfologico su una varietà di scale.*

Tradotto da Ruggiero et al., 2000.

Ciò è ancor più importante nel momento in cui le sfide poste dalle variazioni climatiche richiedono scelte i cui costi, economici e sociali, impongono sacrifici immediati a favore delle generazioni future, e ciò si dovrebbe tradurre nel mantenimento o, meglio ancora, nell'incremento della resilienza costiera.

## Gli attori

Essendo la Gestione Integrata della Zona Costiera) un processo partecipato, la conoscenza dello stato del litorale e degli scenari che si vanno configurando per i prossimi anni/decenni deve essere patrimonio di tutti gli attori di questa azione: da chi è chiamato a pianificare lo sviluppo dei territori costieri a chi ha il compito di progettare i singoli interventi, ma in modo particolare da chi in questa parte di territorio vive, sviluppa attività sociali, economiche e ricreative (Williams e Micallef, 2009).



Southern Maine Beach Profile Monitoring Volunteer Manual (foto K.A. Byron)

### Oggi misuriamo noi

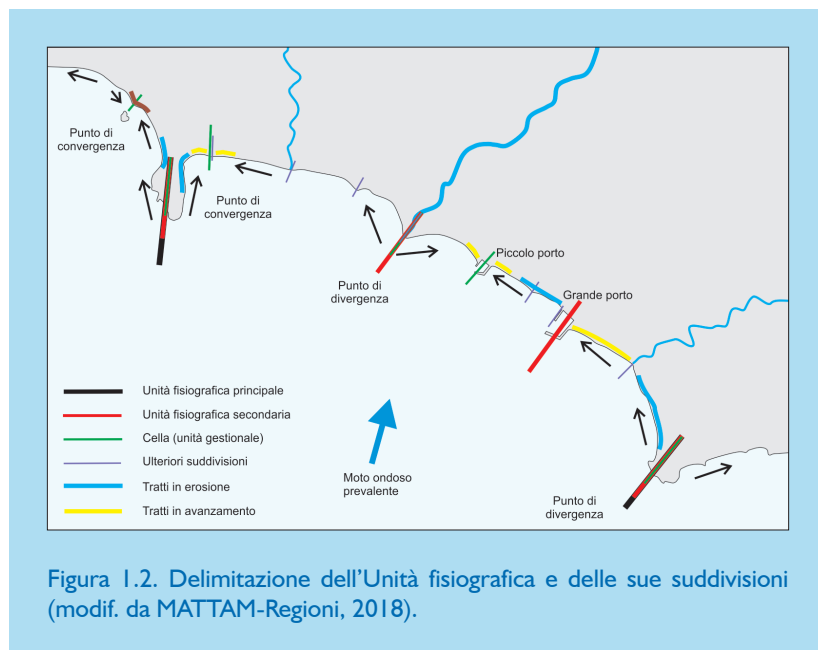
Una forma di partecipazione attiva degli stakeholder nel processo di gestione costiera è il loro coinvolgimento nel monitoraggio dell'evoluzione della spiaggia. In molti paesi, come ad esempio in USA ed Australia, sono attivi dei gruppi di volontari che, dopo una fase di apprendimento di semplici metodologie di rilievo e dei processi che modellano il litorale, si fanno carico di misurazioni periodiche, in particolare di profili topografici appoggiati a caposaldi georeferenziati. I dati vengono poi inseriti in un database a disposizione della comunità locale e degli enti che effettuano il monitoraggio a più ampio raggio.

Una ricaduta positiva di questa attività è che i volontari colmano la distanza che c'è fra le comunità locali e i ricercatori.

Se agli enti territoriali di vario livello è affidato il compito di identificare le potenzialità e le criticità dei territori, di pianificare gli interventi, reperire i finanziamenti e portare a compimento i progetti, i cittadini singoli o in forma associata hanno il diritto di conoscere tutti gli elementi e di partecipare a tutti gli atti del processo gestionale; diritto che in ogni istante si trasforma in dovere, sia per portare il proprio contributo di idee sia per condividere la responsabilità delle scelte.

### L'area di monitoraggio

Il monitoraggio, con diversa frequenza e risoluzione in funzione delle differenti problematiche, deve essere attuato su tutte le coste. Per le spiagge l'area di riferimento è l'unità fisiografica, che abbraccia il tratto costiero all'interno del quale possono avvenire scambi sedimentari e che non ha scambi con i tratti adiacenti (Fig. 1.2).



Questa, dal punto di vista sedimentologico, costituisce un sistema chiuso, anche se perdite verso i fondali maggiori possono avvenire a spese delle frazioni fini, immesse dai fiumi nel sistema costiero o prodotte dall'abrasione fra granuli più grossolani. I limiti lungo costa sono in genere costituiti da promontori con alti fondali antistanti o porti che si estendono oltre la profondità alla quale le onde possono muovere i sedimenti di fondo (profondità di chiusura).

Per valutare l'efficacia e l'impatto delle opere marittime, il tratto da monitorare potrà essere meno esteso, ma deve comunque spingersi ben oltre la zona di prevedibile influenza della struttura.

### *I tempi del monitoraggio*

Il monitoraggio dell'evoluzione dei litorali, se finalizzato al conoscere per governare, non può avere limiti temporali, ma accompagnare, eventualmente con intensità diversa, la vita delle comunità costiere (Fig. 1.3).

Mentre la raccolta dei dati sullo stato attuale e futuro della costa può essere pianificata ed attuata in modo strutturato, la "storia" della costa può essere ricostruita, oltre che sulla base di vecchi rilievi e testi scritti, anche con l'aiuto della "memoria" dei cittadini, che in questa ricostruzione si troveranno ad essere, non solo coinvolti, ma parte decisamente attiva.

Ciò costituisce una premessa ed un elemento essenziale per ogni futura partecipazione nel processo decisionale.

I tempi di acquisizione, elaborazione e diffusione dei dati saranno definiti in funzione delle problematiche di ciascun territorio, passando da un monitoraggio di lungo termine, per conoscere lo stato e le tendenze evolutive di ogni tratto di costa, anche di quelli apparentemente stabili o in progredizione, fino ad un monitoraggio ad elevata frequenza per tratti di costa particolarmente esposti al processo erosivo e per quelli oggetto di interventi di difesa o di riequilibrio. *Le Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici prodotte dal*



Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera (MATTAM-Regioni, 2018) forniscono indicazioni generali sulla tempistica dei rilievi in funzione dei vari obiettivi del monitoraggio.



Figura 1.3. Gli interventi di pianificazione, programmazione e progettazione sul territorio costiero partono da un'analisi dello stato attuale, passano poi dalla fase di progettazione a quella di realizzazione, per avere infine una valutazione dell'efficacia e degli impatti, a cui potrà seguire una ottimizzazione del progetto e l'inizio di un nuovo ciclo. Tutto ciò è accompagnato dal monitoraggio.

Le conoscenze sullo stato del litorale e sulla sua risposta ad eventuali interventi realizzati devono essere sempre condivise con i vari soggetti coinvolti nel processo di gestione del territorio, con incontri mirati, messa a disposizione dei dati su piattaforme informatiche, ma anche con i metodi tradizionali (stampa, televisione, brochure).

### **Difesa, Adattamento o Arretramento?**

Già Amleto aveva una scelta difficile, fra due possibilità, a noi ne compete una più ardua, che ci vede davanti a tre strade diverse (Fig. 1.4). Inoltre, fra l'essere e il non essere non vi sono soluzioni intermedie, mentre fra il *proteggere* le coste e gli insediamenti che vi abbiamo costruito, *adattarli* agli scenari futuri, o *arretrarli*, potremmo scegliere infinite soluzioni intermedie. Ma ciò che rende ancor più difficile la nostra scelta è che questa, più che su di noi, ricadrà prevalentemente sulle generazioni future. In ogni caso vi è una quarta strada, ed è quella che avremmo dovuto imboccare al manifestarsi del fenomeno, che contempla l'intervento sulle cause dell'erosione dei litorali (Fig. 1.5).



Figura I.4. Difesa – Adattamento – Arretramento: le tre strategie sviluppate per la risposta all’innalzamento del livello del mare possono essere applicate anche in risposta all’erosione costiera determinata da altre cause (da Williams et al., 2018).

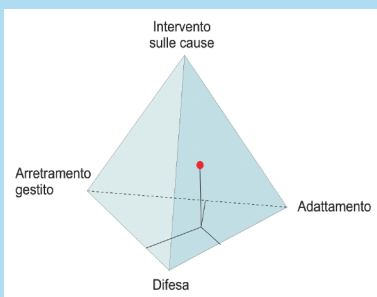


Figura I.5. Il triangolo classico Difesa – Adattamento – Arretramento, in realtà è una piramide con uno spigolo che rappresenta gli Interventi volti a ridurre le cause dell’erosione (Williams et al., 2018).

Una chiara lettura ed interpretazione dei processi in atto e la disponibilità di dati e di modelli per simulare gli scenari futuri è un presupposto indispensabile per scegliere la strada migliore, pur nella consapevolezza che non sono solo gli indicatori fisici quelli che determineranno le nostre scelte.

## Ora sappiamo di non sapere

Un'indagine effettuata nei territori Partner del Progetto MAREGOT ha messo in evidenza come il monitoraggio dell'evoluzione del litorale non sempre abbia ricevuto la dovuta attenzione da parte degli enti territoriali responsabili degli atti di pianificazione, programmazione e gestione del territorio costiero.

Prima di iniziare un monitoraggio accertarsi di avere il capitale	
Umano:	personale tecnico con preparazione adeguata
Organizzativo:	coordinamento fra i vari settori coinvolti nel processo di monitoraggio
Sociale:	fiducia degli stakeholders
Tecnico:	strumenti idonei per l'acquisizione dei dati e programmi per la loro elaborazione
Relazionale:	capacità di diffusione dei dati nei vari livelli di complessità in funzione delle caratteristiche dei diversi utilizzatori
Finanziario:	risorse adeguate e garantite nel tempo

Solo recentemente, e solo in alcune regioni, si fanno rilievi topografici e batimetrici programmati e con protocolli ben definiti, mentre in molti territori non si ha neppure conoscenza di quanto esteso ed intenso sia il fenomeno erosivo.

A livello centrale, molto spesso non si hanno dati sincroni e uniformi, per metodologia di rilievo e di elaborazione, che consentano di avere un quadro attendibile per quantificare il fenomeno e reperire e destinare le risorse in base alle reali necessità.

Quand'anche disponibili, le informazioni raramente sono trasferite agli stakeholder in modo chiaro e in tempo reale; ciò può portare ad una opposizione alle soluzioni proposte, contestando i dati su cui vengono sviluppati i progetti.

Da tutto ciò emerge la necessità di fare del monitoraggio un'azione concordata, condivisa e basata su metodi certificati.

## Indicatori SMART

**Simple** Gli indicatori devono essere semplici, facilmente comprensibili e significativi per chi li deve utilizzare. È inutile raccogliere informazioni complesse per le quali non ci sono le capacità di analisi o la volontà di utilizzazione da parte di chi deve sviluppare piani di adattamento.

**Measurable** Gli indicatori devono essere quantificabili e le misure devono garantire la ripetibilità ed accuratezza; si deve considerare anche la disponibilità delle risorse (finanziarie, tecniche e di tempo) necessarie alla loro raccolta nel futuro.

**Action-oriented** Gli indicatori adottati devono essere scelti in funzione dell'uso che ne verrà fatto. Specifiche misure potranno essere effettuate in situazioni sensibili. Ad esempio, insieme all'estensione dell'arenile, nel caso di progetti di ripascimento dovrebbe essere monitorata anche la sua utilizzazione e le attività economiche ad essa connesse.

**Relevant** Gli indicatori e le relative misure devono essere pertinenti agli obiettivi, alle strategie e ai criteri di performance. Devono anche riflettere adeguatamente i progressi fatti verso i risultati di lungo termine.

**Time sensitive** Gli indicatori devono essere sensibili ai cambiamenti nel tempo. Alcune condizioni cambiano lentamente, ma hanno un'elevata variabilità ad alta frequenza (ad es. quelle climatiche) e i risultati sono difficilmente valutabili sul breve e medio termine. In questi casi è opportuno identificare prodotti intermedi che guidino verso risultati di più lungo termine.

*A Guide to Monitoring and Evaluating Coastal Adaptation  
Australian Department of Climate Change and Energy Efficiency*

## I costi del monitoraggio

Le interviste fatte all'interno del partenariato del Progetto MAREGOT non hanno consentito di stimare il costo di quest'attività o quanto nelle varie regioni si spende ogni anno. Ciò dipende da molti fattori, in primo luogo dal fatto che i monitoraggi effettuati negli ultimi decenni sono stati gestiti da enti territoriali diversi o da istituti di ricerca, ma la mancanza di una metodologia comune e il diverso grado di approfondimento utilizzato rendono anche poco confrontabili i rari dati disponibili.

Il costo di un rilievo topo-batimetrico *singlebeam* con rotte spaziate di 50 m per un kilometro di costa e una fascia di 500 m si aggira sui 2.000 €; mentre lo stesso rilievo a copertura totale con strumentazione *multibeam*, restituito con una griglia di 0.5 x 0.5 m, ha un costo tre volte superiore.

Ovviamente i costi si riducono o crescono in funzione della lunghezza totale da rilevare. A questi si deve aggiungere circa un 50% per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati.

La parte sedimentologica, fra prelievo dei campioni (es. n = 50), analisi di laboratorio, elaborazione ed interpretazione, costa approssimativamente 10.000 €/km.

Per il monitoraggio sugli effetti delle opere di difesa e sulla stabilità dei ripascimenti artificiali la risoluzione spaziale e temporale deve essere decisamente superiore. In prima approssimazione si può stimare che un buon monitoraggio morfologico e sedimentologico, condotto per tre anni, costi dall'1% al 5% del costo dell'intervento.

### Riferimenti bibliografici

Maine Sea Grant, UM Cooperative Extension, Maine Geological Survey and Maine Coastal Program. Southern Maine Beach Profile Monitoring Volunteer Manual. Mapping the State of Maine's Beaches <http://www.seagrant.umaine.edu/files/pdf-global/06volman.pdf>

MATTM-Regioni, 2018. Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 309 pp.

Piccardi M. e Pranzini E., 2018. Il monitoraggio costiero mediceo-lorenese: le torri e i capisaldi per il controllo dell'avanzamento del litorale di San Rossore, Codice armonico, pp. 186-192.

Ruggiero P., Voigt B., Kaminsky G., 2000. Beach monitoring for enhanced decision-making. Coastal Society 17th Conference, Coasts at the Millennium, 9-12 July 2000, Portland, Oregon.

Thomsen D.C., Smith T.F., Jacobson C., Mangoyana R.B., Preston B.L., Maloney M., Withycombe G., Armstrong I., Norrie E., 2014. A Guide to Monitoring and Evaluating Coastal Adaptation. Australian Department of Climate



Change and Energy Efficiency, 2014., 2<sup>nd</sup> edition. <https://www.sydneycoast-councils.com.au/sites/default/files/A-Guide-to-Monitoring-and-Evaluating-Coastal-Adaptation.pdf>

Williams A. e Micallef A., 2009 (a cura di). Beach management. Principles & Practice. Earthscan, London, 445 pp.

Williams A., Rangel-Buitrago N.G., Pranzini E., Anfuso G., 2018. The management of coastal erosion. *Ocean and Coastal Management*, 156: 4-20.



# L'acquisizione dei dati

## Premessa

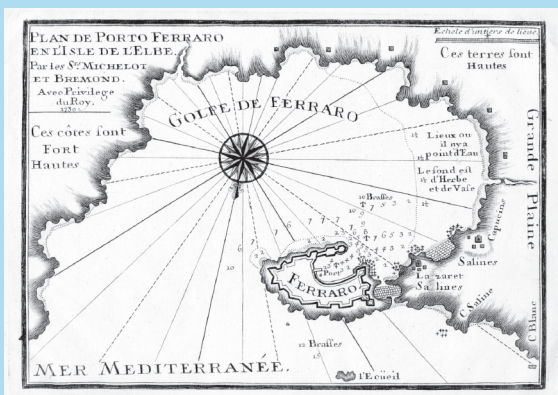
Il monitoraggio costiero, come abbiamo visto, ha una lunga storia, anche se nei secoli passati mirava più a valutare l'avanzamento della costa (con perdita di efficacia delle torri di guardia e con l'insabbiamento dei porti) e alla conoscenza dei fondali (per le attività marittime, sia commerciali sia belliche) che non a descrivere il processo erosivo.

La cartografia pre-geodetica ci fornisce utili informazioni sulla forma dei litorali, ma non consente di quantificarne le variazioni morfologiche (Fig. 2.1). Va inoltre rilevato che l'utilizzazione di tali documenti, senza un'approfondita conoscenza del contesto in cui si collocano e delle finalità per le quali erano stati prodotti, può portare a valutazioni errate. L'uso di ricopiare carte precedenti aggiornandone la data era piuttosto frequente e solo un esperto di cartografia antica può non farsi trarre in inganno.

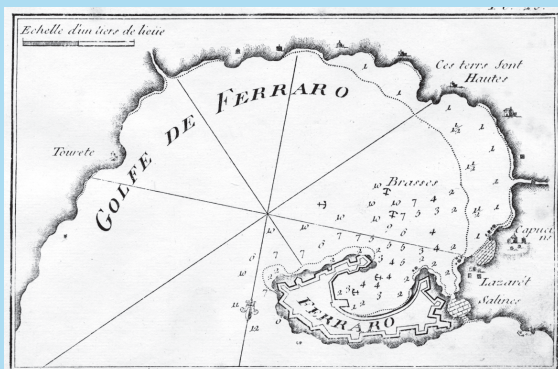
Le carte "geometriche" sono frutto di una significativa evoluzione delle tecniche di rilevamento e descrizione del territorio e possono costituire una base per una valutazione semi-quantitativa delle trasformazioni subite dalle fasce costiere.

Con l'introduzione delle carte catastali e di quelle topografiche a grande scala (fino a 1:25.000 circa) la determinazione della posizione e della forma della linea di riva e degli altri elementi morfologici costieri (dune, stagni, lagune), nonché delle strutture antropiche, raggiunge quei livelli che ci consentono di valutare le variazioni planimetriche con accuratezza dell'ordine di qualche metro.

Un altro problema è quello legato a quei dati che potremmo definire “consolidati”, ossia quelli raccolti in passato e di cui si utilizzano oggi le elaborazioni fatte a suo tempo. I metodi di analisi non avevano l’accuratezza di quelli attuali, e talvolta l’autore non aveva i nostri stessi intenti. Inoltre, i dati potevano passare da una pubblicazione all’altra, nella quale ne venivano aggiunti di nuovi. Una revisione dei lavori dei “vecchi maestri” può portare ad una visione diversa dei processi descritti in passato.



Michelot e Bremond, 1730



Joseph Roux, 1795

Figura 2. I. Due carte del Golfo di Portoferraio (Isola d’Elba) in cui l’andamento della linea di riva è significativamente diverso, ma i dati batimetrici quasi tutti identici, per posizione e valore, indicano che quella del 1795 deriva da quella del 1730.

### Grande, media e piccola scala: grande confusione!

*La scala di una carta è definita come il rapporto fra la distanza tra due punti nella realtà e quella che essi hanno sulla carta. Una carta a grande scala è quindi una carta in cui questo rapporto è elevato e, ponendo in tutte il numeratore uguale ad 1, il denominatore è piccolo (es. 1:5.000). Al contrario, una piccola scala sarà data da un denominatore più grande (es. 1:1.000.000). A parità di dimensioni del foglio, una carta a piccola scala rappresenta una porzione di superficie terrestre molto estesa, e con poco dettaglio, mentre una a grande scala ne rappresenta una porzione più piccola, ma con maggiore dettaglio. Nell'uso comune, purtroppo, i termini vengono spesso invertiti.*

Un esempio viene da una nuova ricostruzione dell'evoluzione della linea di riva della Toscana settentrionale, che in parte discorda da quanto emerge da studi condotti prima della Seconda Guerra Mondiale. La descrizione che era stata fatta dell'evoluzione subita dal litorale fra la fine dell'800 e i primi decenni del '900 è di una grande ricchezza e costituisce un bagaglio conoscitivo indispensabile per l'analisi di questa costa, ma l'attribuzione di stato erosivo ad alcuni tratti non ha retto ad un confronto fra gli stessi documenti cartografici che vennero usati allora, ma effettuato oggi in ambiente GIS dopo averli digitalizzati e georiferiti (Piccardi, 2017).

Per quanto riguarda la linea di riva, si deve tener conto della sua variabilità intrinseca, e non è possibile sapere quanto il dato rilevato in un istante possa essere rappresentativo della sua posizione media del periodo (giorno, mese?) di riferimento di quel rilievo.

Rimane comunque il problema della definizione di cosa si intenda per linea di riva e dell'accuratezza del suo posizionamento.

Fra i vari indicatori si ritiene che l'intersezione della superficie del medio mare con quella topografica sia l'elemento geometrico più significativo (Fig. 2.2). Altri riferimenti (*trash line*, *vegetation line*, *dune foot*, ecc.), seppur di più semplice identificazione, non sono applicabili a tutti i tratti costieri e risentono di condizioni meteomarine che possono precedere anche di mesi il momento del rilievo.

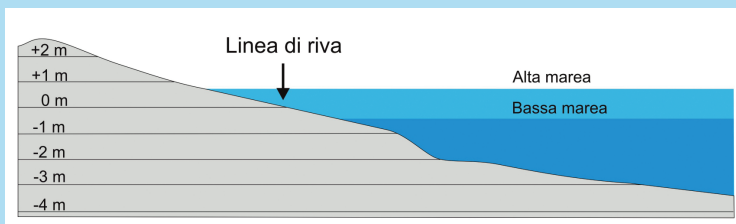


Figura 2.2. La linea di riva coincide con l'isoipsa (ovvero con l'isobata) zero. La sua posizione è indipendente dalla marea astronomica e barica e dal moto ondoso.

Il metodo oggi più accurato per determinare la posizione della linea di riva in un determinato istante (posizione che può essere anche sopra o sotto al livello momentaneo del mare) è costituito dal rilievo GPS in modalità RTK, che consente di seguire l'isoipsa zero e di definirne la posizione planimetrica per punti discreti con spaziatura opportuna.

Immagini telerilevate (satellite, aereo, elicottero, drone) consentono un rilievo rapido e in certi casi meno costoso, ma le variazioni di breve termine del livello del mare (marea astronomica e barica) rendono complessa la determinazione della posizione della linea di riva, che viene a dipendere anche dalla pendenza della battigia. Il limite terra-mare è inoltre difficilmente riconoscibile in presenza di onde e, a mare calmo, per la trasparenza dell'acqua.

I rilievi laserscan dalla spiaggia emersa e multibeam di quella sommersa (se eseguiti rispettivamente in bassa e in alta marea) consentono un accettabile posizionamento della linea di riva.

Queste due metodologie, che costituiscono un'evoluzione dei tradizionali rilievi topografici in terra e in mare, possono venire efficacemente utilizzate qualora, oltre alla linea di riva, sia da acquisire anche la morfologia della spiaggia emersa e dei fondali antistanti, anche se l'accuratezza risulta leggermente inferiore.

### Accuratezza e precisione: altra confusione!

Per accuratezza si intende quanto una data misura (in genere la media di più misure) è vicina al valore reale (che però non possiamo conoscere con esattezza!).

La precisione ci dice quanto sono vicine fra di loro misure indipendenti dello stesso elemento (potrebbero essere vicine fra di loro ma lontane dal valore reale!).

Oggi la morfologia della spiaggia emersa, con una sua rappresentazione con modello digitale del terreno, è facilmente ottenibile con rilievi laserscan da terra, fotogrammetrici da aereo o da drone, o con rilievi lidar da piattaforma aerea o satellitare.

Quello che interessa, non è tanto lo strumento usato o dove esso è installato, quanto l'accuratezza delle misure in posizione (x, y) e in quota (z) dei punti rilevati. Importante è anche la risoluzione spaziale dei dati, ossia la densità dei punti che vengono acquisiti.

Per quanto riguarda il rilievo della spiaggia sommersa, che è opportuno fare fino alla profondità di chiusura, si osserva che i rilievi effettuati con singlebeam possono restituirne la morfologia in modo accurato (ed economico) se il fondale è piano o con barre longitudinali (Fig. 2.3). In presenza di barre festonate, i profili devono essere tanto più ravvicinati quanto più elevata è la loro frequenza, mentre con fondali rocciosi e per opere di difesa sommerse il rilievo multibeam è l'unica tecnica in grado di darne una rappresentazione fedele.

I rilievi Lidar da aereo hanno mostrato di avere un'accuratezza sulle profondità di circa 30 cm, idonea a descrivere la morfologia dei fondali, ma non a valutare le variazioni volumetriche dello stock sedimentario.

L'importanza di estendere l'area di monitoraggio fino alla profondità di chiusura è data dal fatto che la porzione sommersa della spiaggia è assai più ampia di quella emersa (Fig. 2.4) e una determinazione della va-

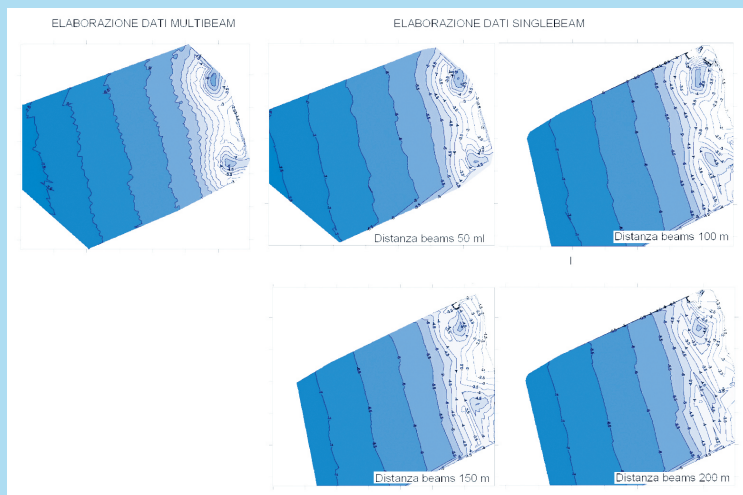


Figura 2.3. Carta batimetrica di un tratto di mare posto a nord di Bocca d'Arno (Toscana): a sinistra da un rilievo batimetrico *multibeam*, nelle altre immagini da rilievi *singlebeam* con rotte distanti 50, 100, 150 e 200 m (da Beachmed). Si noti come la rappresentazione della morfologia del fondale prodotta da un rilievo *singlebeam* con spaziatura ridotta sia molto simile a quella rilevata con *multibeam*.

riazione del volume di entrambe le parti è fondamentale per definire il trend evolutivo di un litorale e l'efficacia di interventi di ripascimento, nonché per pianificarne i versamenti di mantenimento.

È opportuno ricordare che i dati batimetrici hanno un'accuratezza stimata, nel migliore dei casi, di circa 5 cm. Ciò significa che due rilievi consecutivi potrebbero dare un innalzamento o un abbassamento di circa 10 cm della superficie della spiaggia sommersa. Nel caso in cui la profondità di chiusura sia ad 1 km da riva, il volume apparentemente mancante o in eccesso è di 100 m<sup>3</sup> per metro di spiaggia; ossia l'equivalente di un medio ripascimento.

È per questo che i rilievi batimetrici vanno fatti con una grande attenzione e, nel caso si voglia migliorarne l'accuratezza, si possono inserire nei fondali dei punti di controllo, costituiti, ad esempio, da piastre me-



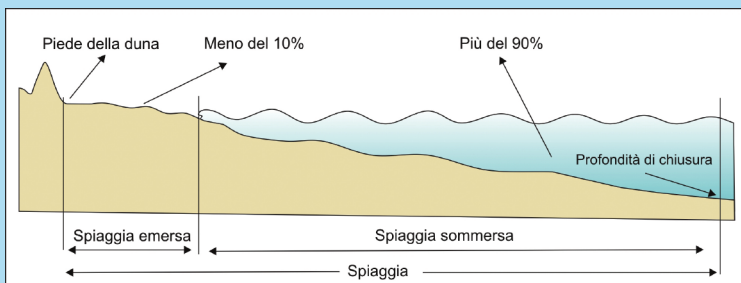


Figura 2.4. Per profondità di chiusura s'intende quella alla quale profili batimetrici ripetuti nel tempo lungo lo stesso transetto si "chiudono", ossia non mostrano variazioni di profondità significative.

In considerazione dell'accuratezza dei rilievi batimetrici si possono avere variazioni apparenti di profondità di circa 10 cm anche oltre la profondità di chiusura, con valori ancora maggiori con l'aumentare delle profondità del fondale.

La profondità di chiusura viene considerata anche quella oltre la quale gli effetti del moto ondoso sul trasporto sedimentario sono trascurabili. In base a ciò è determinabile in funzione delle caratteristiche del moto ondoso secondo la formula di Hallermeier (1981):  $dc = 2,28 H_{12} - 68,5 (H^2 / gT_p^2)$  dove  $H_{12}$  è l'altezza d'onda significativa ( $H_{m0}$ ) stimata a largo e superata non più di 12 ore l'anno) e  $T_p$  il relativo periodo di picco. È bene calcolarla su di una serie storica non inferiore a 10 anni.

talliche installate su pali ben infissi nel fondale (Fig. 2.5). Durante i rilievi il natante dovrà poi passare da questi punti di controllo in mare (Sea Control Point) ed usare la profondità rilevata per innalzare o abbassare la batimetria della quantità necessaria per fare coincidere i punti di controllo. In rilievi effettuati nell'ambito del Progetto BeachMed-e (2009) l'installazione di tre SCP (a -3m, -5m e -7m) ha consentito di portare l'accuratezza del dato batimetrico a 3 cm.

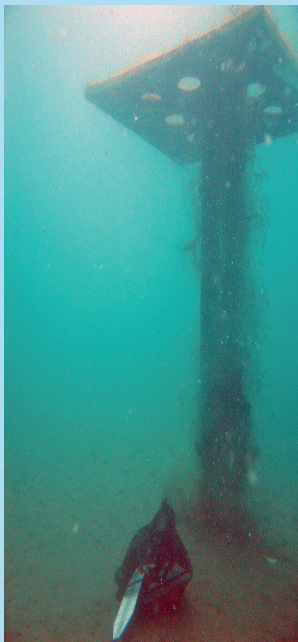


Figura 2.5. Uno dei Sea Control Point installati sulla spiaggia sommersa a nord della foce del F. Arno. Il palo deve essere infisso sul fondale con un vibrocarotiere e la piastra deve avere dei fori per ridurre le forze trattive verso l'alto e verso il basso che si verificano al passaggio delle onde. Inoltre, il suo lato superiore richiede una pulizia periodica perché le incrostazioni e le alghe che vi si possono sviluppare ne innalzerebbero la quota. Sono quindi dispositivi da installare nei casi in cui sia richiesta una notevole accuratezza dei rilievi batimetrici.

### **Il monitoraggio dei sedimenti**

Ancor più complesso è il monitoraggio dell'evoluzione sedimentologica del litorale, che è opportuno fare per valutare sia l'efficacia e l'impatto delle opere di difesa, sia la stabilità dei ripascimenti artificiali. Anche in questo caso le *Linee guida per la difesa della costa* (MAT-TAM-Regioni, 2018) forniscono indicazioni su come effettuare il prelievo dei campioni e su come analizzarli; qui preme evidenziare l'importanza di questa componente del monitoraggio e spiegare quali informazioni se ne possono trarre.

Le opere di difesa, di qualsiasi tipo, interagiscono con il trasporto sedimentario, sia modificando i livelli di energia del moto ondoso sia intercettando i sedimenti in transito.

In entrambi i casi non tutte le frazioni granulometriche danno una risposta uguale conferendo quindi alla spiaggia caratteristiche tessiture diverse da quelle originarie (Fig. 2.6).



Figura 2.6. Follonica (Grosseto): tombolo costituito da sabbia molto fine formatosi al riparo di una scogliera parallela. Un recente progetto ha comportato la modifica della scogliera portandone la cresta sotto al livello del mare, determinando così una regolarizzazione della linea di riva con l'eliminazione dei tomboli, un leggero incremento delle dimensioni della sabbia ed un miglioramento della qualità delle acque.

Una riduzione dell'energia incidente favorisce la sedimentazione delle particelle più fini, che possono rendere polveroso l'arenile e torbida l'acqua di balneazione, il tutto a svantaggio del valore turistico-balneare della spiaggia. Ciò può essere anche indicativo di un'eccessiva protezione della costa, tanto da fare prendere in considerazione una riduzione delle opere costruite.

Al contrario, i pennelli, intercettando i sedimenti in transito, si comportano come una serie di setacci, facendo passare le sabbie più fini che si muovono al largo e frenando i granuli più grossolani, in particolare la ghiaia, che si muove più vicino a riva (Cipriani e Pranzini, 1990). Oltre ad una asimmetria granulometrica fra la spiaggia sopraflutto e quella sottoflutto (Fig. 2.7), si verifica anche un progressivo inghiaiamento di tutto il litorale poiché la ghiaia rallenta nel suo percorso lungo la costa. Una radice dei pennelli di quota inferiore potrebbe ridurre questo fenomeno.



Figura 2.7. Ghiaia accumulata sul lato sopraflutto di un pennello sulla spiaggia posta a sud di Marina di Cecina (Livorno).

Nel caso dei ripascimenti artificiali, l'analisi dell'evoluzione tessiturale dei materiali versati può consentire di valutare l'idoneità della scelta e definire le caratteristiche granulometriche dei sedimenti da utilizzare nelle ricariche successive. Se sono stati impiegati materiali molto eterogenei (con scarsa classazione, es. sabbia + ghiaia) l'azione del moto ondoso determinerà una loro selezione con separazione delle diverse componenti (Fig. 2.8).

Ciò, oltre ad indirizzare la scelta dei sedimenti più idonei per effettuare le ricariche, potrà anche suggerire una opportuna gestione della spiaggia per garantirne la migliore utilizzazione turistica. Si potrà quindi impostare un piano di gestione dell'arenile che implichi una ridistribuzione, orizzontale o verticale, dei materiali più grossolani che possono rendere meno gradevole la permanenza sulla spiaggia o poco agevole l'ingresso in mare.

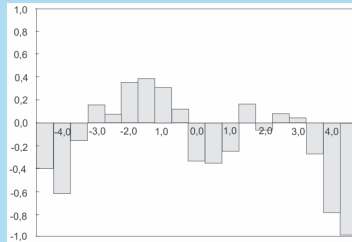


Figura 2.8. Ripascimento della spiaggia di Cala Gonone (Sardegna). Il grafico mostra l'incremento e la riduzione relativa delle varie frazioni granulometriche dei materiali di ripascimento dopo un anno dall'intervento. I materiali più grossolani sono rimasti sommersi, mentre quelli più fini si sono allontanati; i granuli con dimensioni comprese fra -3,0 e 1,0 phi (8 – 0,5 mm) hanno avuto un evidente incremento e sono quelli consigliabili per eventuali ricariche della spiaggia.

## Bibliografia

BeachMed-e. 2009. La gestione strategica della difesa dei litorali per uno sviluppo sostenibile delle zone costiere del Mediterraneo. 3° Quaderno Tecnico Fase C, GIER Graphic Srl - Roma (Italia), pp. 164.

Cipriani L.E., Pranzini E., 1990. Differenziazione granulometrica dei sedimenti di spiaggia emersa e sommersa quale conseguenza della costruzione di opere a mare alla foce del fiume Cecina (Toscana centrale). Boll. Soc. Geol. It., 109: 471-480.

Hallermeier R. J., 1981. A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate, Coastal Engineering, Vol. 4, 1981, pp. 253-277.

MATTM-Regioni, 2018. *Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione settembre 2018* - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 304 pp.

Piccardi M., 2017. L'erosione delle spiagge toscane nel XIX secolo: una revisione dei dati della letteratura. Studi costieri, 27: 123 – 124.



# L'elaborazione e la rappresentazione dei dati

## *Premessa*

Il monitoraggio di qualsiasi processo non consiste solo nell'acquisizione dei dati, ma attività fondamentali sono anche la loro elaborazione, rappresentazione ed interpretazione.

Affinché quest'ultima possa dare informazioni utili alla pianificazione delle aree costiere, alla loro gestione e alla progettazione e validazione di interventi di difesa, già dalla sua impostazione iniziale un piano di monitoraggio deve avere presenti gli obiettivi che esso si prefigge, le modalità di acquisizione ed elaborazione dei dati e le forme con le quali essi saranno diffusi ed utilizzati.

L'unione e il confronto di dati raccolti occasionalmente e con metodologie diverse raramente consente una chiara valutazione dei processi in atto e non può dare quelle risposte che il progettista o il pianificatore richiede.

## *La linea di riva*

Uno dei problemi principali che s'incontrano nell'elaborazione e nell'interpretazione dei dati è legato alla variabilità delle morfologie costiere (sia della linea di riva, sia di tutta la spiaggia emersa e sommersa) che si sovrappone ai trend evolutivi di più lungo periodo. L'ampiezza di una spiaggia può infatti variare anche di qualche metro da un giorno all'altro, senza che questo significhi che il tasso annuale sia 365 volte tanto.

È per questo che i rilievi devono essere fatti in condizioni confrontabili, nella stessa stagione (se nell'area di studio vi è variabilità stagionale) e ad una certa distanza di tempo da eventi meteomarinari anche di modesta entità, a meno che non si voglia proprio valutare il loro impatto.

La disponibilità di rilievi ad alta frequenza (es. giornalieri) consente di tracciare una linea di riva media di un determinato periodo, filtrando quindi il segnale dovuto alla variabilità intrinseca della spiaggia (Fig. 3.1).

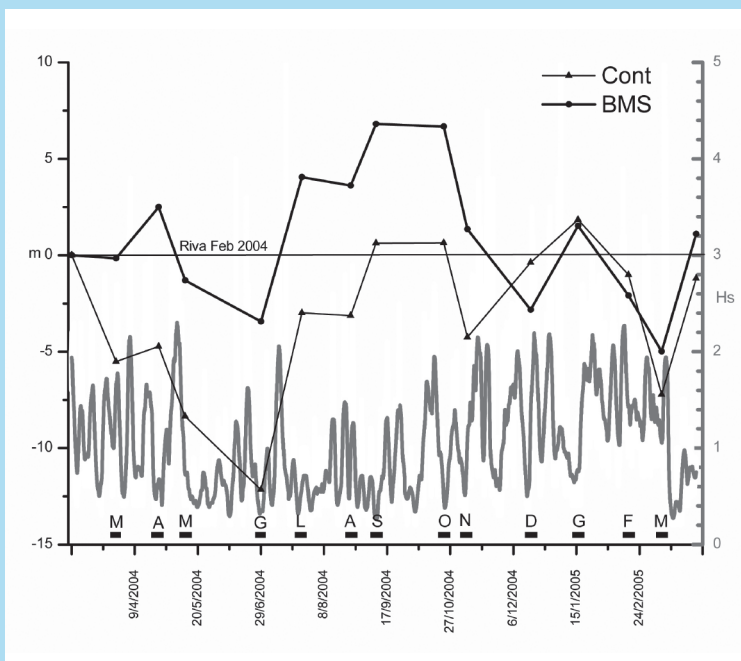


Figura 3.1. L'efficacia di un sistema di drenaggio della spiaggia di Alassio è stata valutata confrontando per un anno la posizione media della linea di riva nel tratto d'intervento e in un tratto di controllo. I punti rappresentano la posizione media in ciascun mese ottenuta da tre immagini giornaliere rilevate da webcam per 5 giorni consecutivi possibilmente di mare calmo (tratti neri sulle ascisse), attenuando così l'influenza della marea (da Bowman et al., 2006).



La linea di riva di un certo anno sarebbe quindi quella rappresentata dalla sua posizione media ottenuta da quella dei relativi 365 giorni. È evidente che ciò è fattibile solo con acquisizione ed estrazione automatica delle informazioni, possibile con webcam e software dedicati.

Comunque si arrivi al tracciamento della posizione della linea di riva, l'analisi dell'evoluzione del litorale partirà da una carta in cui compaio-

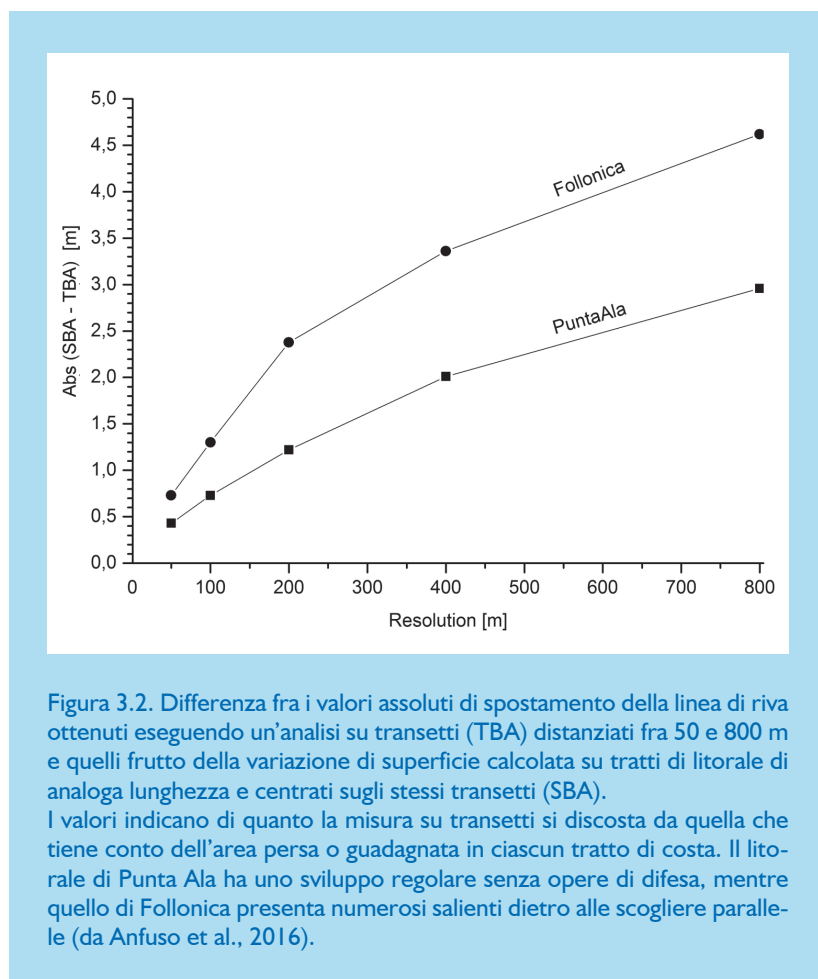


Figura 3.2. Differenza fra i valori assoluti di spostamento della linea di riva ottenuti eseguendo un'analisi su transetti (TBA) distanziati fra 50 e 800 m e quelli frutto della variazione di superficie calcolata su tratti di litorale di analoga lunghezza e centrati sugli stessi transetti (SBA).

I valori indicano di quanto la misura su transetti si discosta da quella che tiene conto dell'area persa o guadagnata in ciascun tratto di costa. Il litorale di Punta Ala ha uno sviluppo regolare senza opere di difesa di costa, mentre quello di Follonica presenta numerosi salienti dietro alle scogliere parallele (da Anfuso et al., 2016).

no le linee relative ai diversi tempi di cui si hanno i dati. Ma un fascio di linee di riva tracciate su di una carta topografica è di scarso aiuto nella lettura dei fenomeni, a meno che il trend non sia molto marcato e regolare; è per questo che si tende a sintetizzare l'informazione in grafici che permettono una più facile lettura dei processi.

Questa sintesi porta a rappresentare lo spostamento subito dalla linea di riva in ciascun tratto costiero (settore) con un singolo valore.

I settori possono avere lunghezza diversa, per contenere tratti morfologicamente omogenei o delimitati da opere marittime, oppure lunghezza uguale, in modo da avere poi rappresentazioni grafiche equivalenti.

L'evoluzione subita da ciascun settore può essere rappresentata da quella registrata su di un transetto ortogonale a riva (uno centrato su ciascun settore) o dalla variazione di superficie dalla spiaggia emersa in tutto il settore.

L'analisi condotta per profili non fornisce indicazioni affidabili a meno che i profili non siano estremamente densi e la spiaggia non presenti un andamento regolare (es. assenza di cuspidi). La disponibilità di software open source che lavorano in ambiente GIS e che analizzano gli spostamenti della linea di riva lungo profili (Digital Shoreline Analysis System, SDAS) ha reso questo metodo estremamente diffuso, e porta alla sua utilizzazione anche in tratti di litorale sui quali non può fornire risultati accurati (Fig. 3.2).

La rappresentazione classica consiste in istogrammi che mostrano lo spostamento medio (o il tasso medio di spostamento) della linea di riva in un determinato intervallo di tempo. In questo caso la definizione della lunghezza dei settori su cui calcolare questo valore deve essere fatta in modo oculato, al fine di non fare pesare variazioni morfologiche "irrilevanti", come la migrazione delle cuspidi, senza però filtrare troppo le informazioni, cosa che cancellerebbe gli *hot spot* erosivi (Fig. 3.3).

È forse banale (ma necessario!) ricordare che in grafici riferiti a periodi diversi la scala verticale deve essere mantenuta costante. Alcuni software estendono la scala in modo che tutta l'altezza disponibile venga oc-

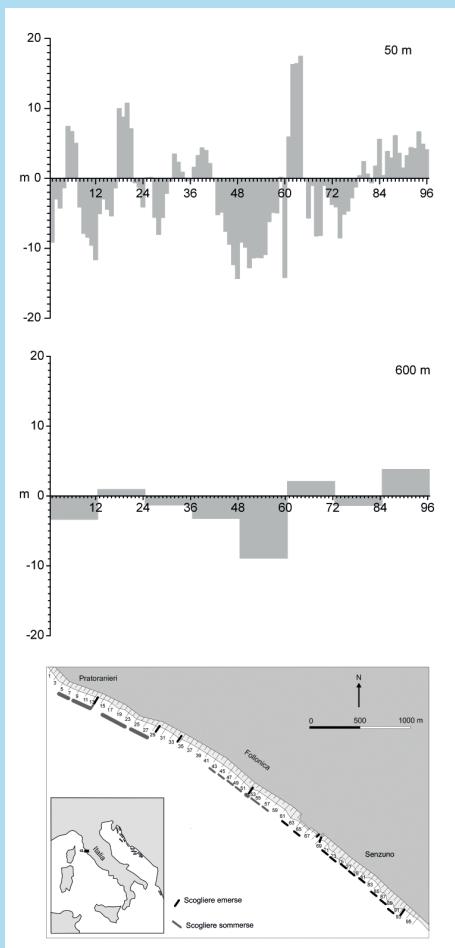
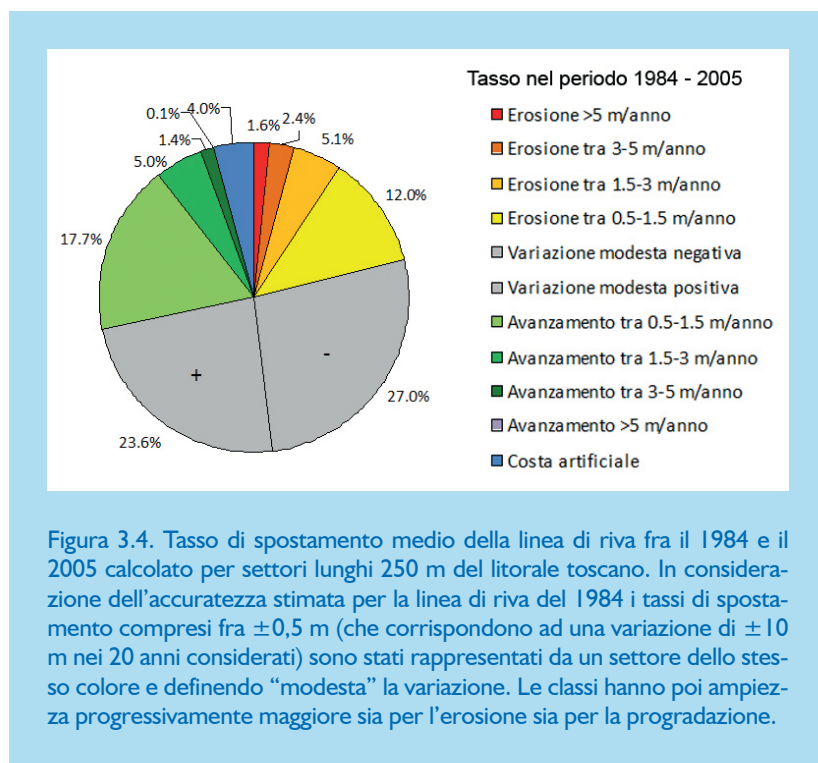


Figura 3.3. Rappresentazione dell'estensione e dell'intensità dei processi di erosione/sedimentazione in un tratto del Golfo di Follonica calcolate su settori di 50 m e di 600 m per il periodo 2000-2005 (da Pranzini e Simonetti, 2008, modif.).

cupata dalla colonna che di quei dati mostra il valore maggiore: è così che in tutti i grafici il processo erosivo o di accumulo sembra sempre ugualmente intenso. Nel caso in cui sia indispensabile una variazione di scala, questo deve essere esplicitato nella didascalia o nel cartiglio. Nella rappresentazione grafica e cartografica di dati classificati per intensità dei processi è opportuno tenere conto della loro accuratezza, evitando di fare classi troppo strette che potrebbero dare l'impressio-

ne di un'accuratezza maggiore. Sarà quindi necessario partire da una classe in cui sono riunite le variazioni positive e negative dello stesso ordine di grandezza dell'accuratezza (es. da +0,5 m a -0,5 m; Fig. 3.4) che rappresenterà i tratti di litorale la cui tendenza non è accertabile con sicurezza (altrimenti definibili, impropriamente, come stabili).



Infatti, dato l'elevato numero di fattori che influenzano il bilancio sedimentario di una spiaggia, e il fatto che i processi che agiscono non sono legati da feed-back (es. se il litorale è in erosione non può inviare al fiume un messaggio "porta più sabbia!"), la stabilità della spiaggia può essere considerata statisticamente impossibile. Anche nei rapporti con gli stakeholder dare l'impressione che stiamo trattando con un elemento statico del territorio può indurre atteggiamenti che ostacolano la gestione del litorale su tempi più lunghi.

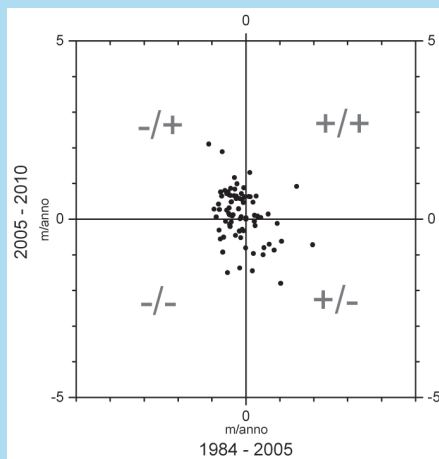


Figura 3.5. Il confronto fra l'evoluzione subita dai vari settori di costa in due periodi successivi può fornire utili indicazioni anche sull'attendibilità dei dati. I punti che cadono nei settori  $-/+$  e  $+/-$  hanno avuto comportamenti opposti nei due intervalli di tempo considerati. Ciò può corrispondere alla verità, ma spesso, se le variazioni sono modeste, può essere l'effetto di una accuratezza inferiore al trend complessivo. Questo tipo di errore non può cumularsi nel tempo: attorno ad una linea fissa, se il primo rilievo dà uno spostamento in un senso, è probabile che nel periodo successivo risulti uno spostamento opposto. Solo i punti che ricadono nei settori  $-/-$  e  $+/+$  hanno comportamenti uguali nei due periodi e ciò può dimostrare l'esistenza di un trend consolidato (da Cipriani et al., 2013).

### La spiaggia sommersa

Il calcolo del bilancio sedimentario deve tener conto sia della spiaggia emersa che di quella sommersa, costituendo le due un unicum morfologico (cfr. Fig. 2.4). Infatti, le variazioni della linea di riva ad alta frequenza sono dovute quasi esclusivamente alla migrazione della sabbia lungo il profilo a seguito delle diverse condizioni meteomarine. L'erosione del litorale deve essere quindi intesa come un deficit sedimentario di un determinato tratto di costa, più che la semplice perdita

di superficie della spiaggia emersa, anche se sul medio e lungo termine i due fenomeni sono correlati.

L'accuratezza che si ottiene nella misura delle quote della spiaggia sommersa è di gran lunga inferiore a quella che interessa la spiaggia emersa, e su ampie superfici – che si estendono molto al largo – il dato che si ottiene deve essere preso con grande cautela.

### La rappresentazione grafica del profilo di una spiaggia

Fatta eccezione per alcuni punti particolari, come la duna, le varie creste di berma e lo step, la pendenza di una spiaggia è generalmente modesta, in particolare se costituita da sabbia fine. Nella sua rappresentazione

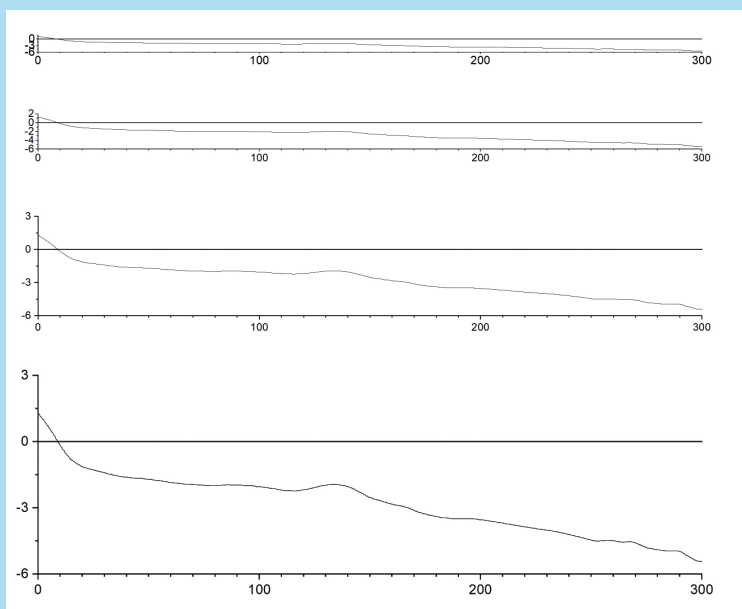


Figura 3.6. Percezione della morfologia del fondale in funzione della diversa esagerazione verticale dei profili batimetrici (dall'alto: 1:1, 1:2, 1:5, 1:10).

attraverso profili non è quindi possibile usare un rapporto di scala 1:1 fra lunghezze e altezze, che renderebbe invisibili queste morfologie.

Una barra può dare luogo ad un dislivello di 1 o 2 metri, ed in alcune coste anche molto di più, ma questo si sviluppa su di una distanza di decine se non centinaia di metri. Se la lunghezza del profilo, che in genere si spinge dal piede della duna fino alla profondità di chiusura, è di svariate centinaia di metri, una barra rappresenta una leggera e quasi impercettibile ondulazione. Si usa quindi un'esagerazione verticale, che non può comunque superare certi valori che renderebbero il profilo completamente illeggibile (Fig. 3.6).

### *Il monitoraggio dei fondali*

La rappresentazione classica dei rilievi è data dalla carta batimetrica, la cui realizzazione ha metodi ben consolidati e dispone oggi di software molto sofisticati; nonostante ciò è frequente trovare documenti la cui lettura può indurre a considerazioni errate.

In primo luogo, è bene ricordare che nel tracciamento delle isobate è necessario tenere conto dell'accuratezza dei dati che si vanno a rappresentare e l'equidistanza deve esserne espressione.

Attenzione deve essere posta nell'interpolazione di dati derivanti da rilievi singlebeam, in particolare se eseguita in modo automatico. Dato che la distanza fra le rotte è sempre maggiore di quella fra i punti acquisiti lungo di esse, si possono generare curve batimetriche ondulate in fase con le linee di scansione.

Simili ondulazioni sono spesso presenti in vecchi rilievi in cui il posizionamento dell'imbarcazione veniva fatto da terra, con tacheometri e teodoliti, o anche in mare con i circoli, e un operatore dava lo stop via radio a chi gestiva l'ecoscandaglio scrivente; questi segnava una linea verticale il tracciato. Il ritardo fra lo stop dell'operatore a terra e quello del navigatore generava un trascinarsi del punto di misura nella direzione di navigazione (da o verso riva) (Fig. 3.7). Questo può oggi avvenire, seppure in misura minore, nei casi in cui vi sia uno sfasamento fra lo strumento che determina la posizione e quello che misura la profondità.

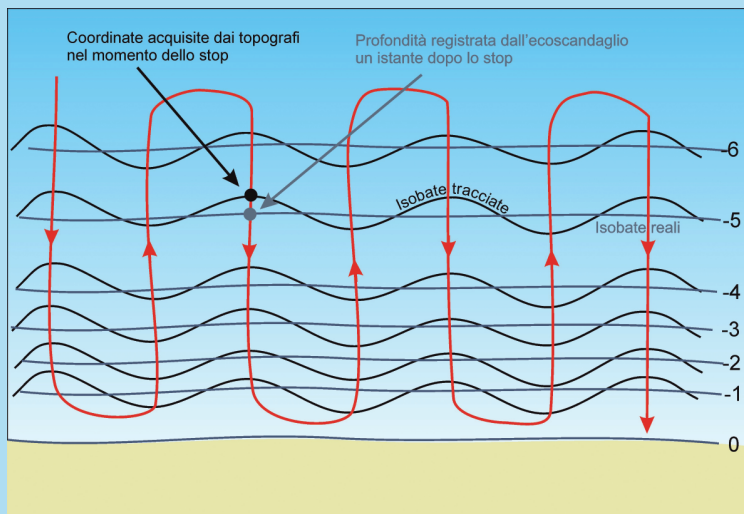


Figura 3.7. Ondulazioni delle isobate prodotte dal ritardo dell'acquisizione della profondità rispetto al posizionamento del natante.

Altri punti critici in cui l'interpolazione è difficile sono quelli posti in prossimità delle opere di difesa, dove l'acquisizione viene interrotta. In questi casi il cervello aiuta più del computer!

Artefatti possono generarsi anche nella realizzazione di carte batimetriche o di modelli digitali del fondale attraverso rilievi multibeam. Quello più classico è costituito da barre "fantasma" parallele alle rotte di navigazione, che sono particolarmente evidenti in un fondale regolare: se il trasduttore non è correttamente posizionato, la sua distanza dal fondale viene falsata ed è sempre maggiore o minore in rotte parallele (Fig. 3.8). In certi casi la presenza di barre può fare ipotizzare uno stato morfodinamico del litorale assai diverso da quello effettivo.

Ma certamente è nel confronto fra rilievi batimetrici che il monitoraggio mostra tutte le sue debolezze, mentre dovrebbe essere proprio questo lo strumento principe per valutare l'evoluzione di un tratto di litorale.



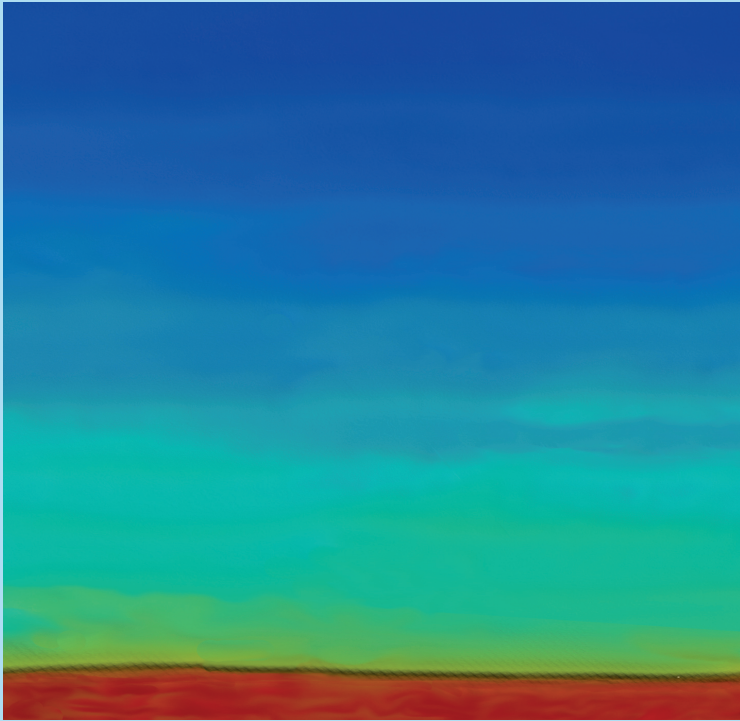


Figura 3.8. Barre “fantasma” formatesi in un rilievo *multibeam* per la non verticalità del trasduttore.

Dato che l'accuratezza di ogni singolo rilievo si aggira sui 5-10 cm, che possono essere un po' ridotti con accorgimenti particolari ma raramente utilizzati, si possono registrare variazioni di volume di  $100 \text{ m}^3$  per metro di litorale se la profondità di chiusura è posta ad un chilometro da riva: potremmo quindi non vedere un volume di  $100.000 \text{ m}^3$  versato su di un tratto di costa lungo un chilometro!

Molto spesso le variazioni batimetriche con valore superiore all'accuratezza del confronto sono dovute a variazioni morfologiche ad alta e media frequenza, come la migrazione delle barre da e verso riva.

## Volumi che vengono e volumi che vanno

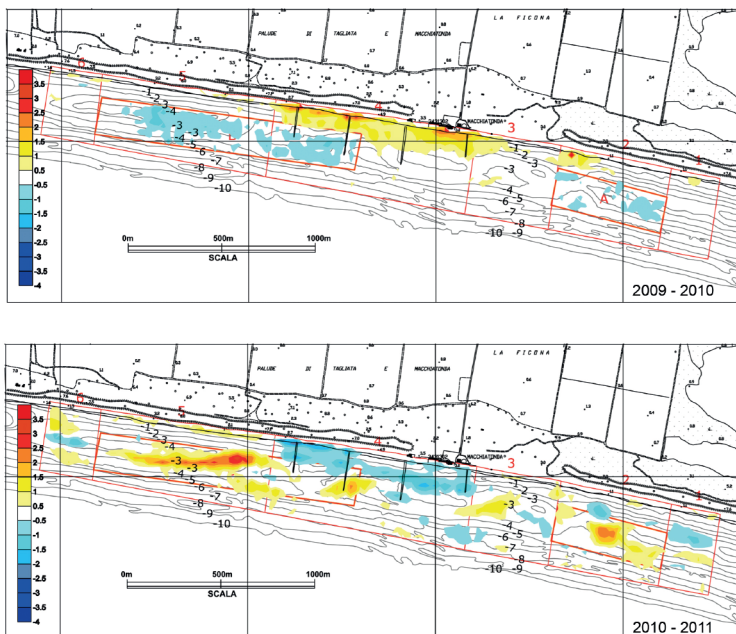


Figura 3.9. Monitoraggio dell'intervento di riequilibrio della spiaggia di Capalbio (Grosseto) consistente nella realizzazione di 4 setti sommersi in geocontenitori e il refluento di 140.000 m<sup>3</sup> di sabbia dalla barra esterna (GeoCoste s.n.c.)

2009-2010: nell'area di versamento si nota un innalzamento della spiaggia emersa e dei fondali immediatamente antistanti, mentre è evidente l'approfondimento nelle due aree di dragaggio A e B.

Il budget sedimentario dell'intera zona di monitoraggio risulta negativo per circa 87.000 m<sup>3</sup>, nonostante si sia avuta solo una redistribuzione dei materiali da un punto all'altro. Il trend erosivo rilevato nei 4 anni precedenti di circa 52.000 m<sup>3</sup>/anno spiega solo in parte il deficit registrato. Il settore che ha ricevuto il ripascimento risulta comunque in surplus di 143.000 m<sup>3</sup>, a riprova che l'errore nel calcolo dei volumi è indotto dalla grande estensione dell'area considerata.

2010-2011: nel settore dell'intervento si registra un deficit di circa 95.000 m<sup>3</sup>, mentre nelle zone di dragaggio si è riformata la barra con una deposizione di circa 158.000 m<sup>3</sup> di sabbia.

L'intera area monitorata ha un surplus di 156.000 m<sup>3</sup>. Si tratta di un valore elevato, ma se distribuiti sui 1.529.605 m<sup>2</sup> di spiaggia considerati, si traduce in un innalzamento medio di 10 cm, ossia pari all'errore intrinseco di questi confronti.

Nelle due carte la gran parte delle superfici ha variazioni di quota comprese fra  $\pm 50$  cm, ma che, per la loro estensione, influiscono notevolmente sul volume totale.

Indipendentemente dal valore che calcoliamo in termini di volume, sono proprio le variazioni di forma che potranno guidare nell'interpretazione degli effetti indotti sulla spiaggia da quanto è stato realizzato. Sarà così osservabile lo scalzamento alla base di strutture riflettenti, l'approfondimento in testa ai pennelli o in punti in cui è stata indotta la formazione di rip current.

Per quanto riguarda i ripascimenti artificiali, i dati di monitoraggio potrebbero inizialmente contraddire le stime di perdita prodotte dai modelli numerici, cosa che potrebbe portare a sovra- o sottostimare i volumi necessari per le ricariche periodiche (Fig. 3.9). Dato che l'accuratezza dei rilievi, e dei confronti, è maggiore sulla spiaggia emersa e sui fondali più prossimi a riva, dove di fatto avviene il ripascimento, si può prendere in considerazione la possibilità di effettuare la stima del bilancio sedimentario, sul breve termine, anche limitandosi a questa fascia di litorale.

Il monitoraggio dei ripascimenti artificiali pone meno problemi quando riguarda interventi effettuati con ghiaia, la cui dispersione verso il largo è in genere modesta, se non nulla. Ne è un esempio la spiaggia di Cavo (Isola d'Elba), dove la Provincia di Livorno ha realizzato un progetto che comprendeva anche un ripascimento in ghiaia (Bartoletti et al., 2008) e che, a distanza di molti anni, ha dimostrato una grande stabilità (Fig. 3.10).

Fuori dall'area transfrontaliera del progetto MAREGOT, significativo è il caso di Pellestrina (Venezia), dove il monitoraggio è stato impostato per guidare gli interventi di ricarica, avendo valutato che una spiaggia troppo ampia o troppo stretta avrebbe determinato perdite

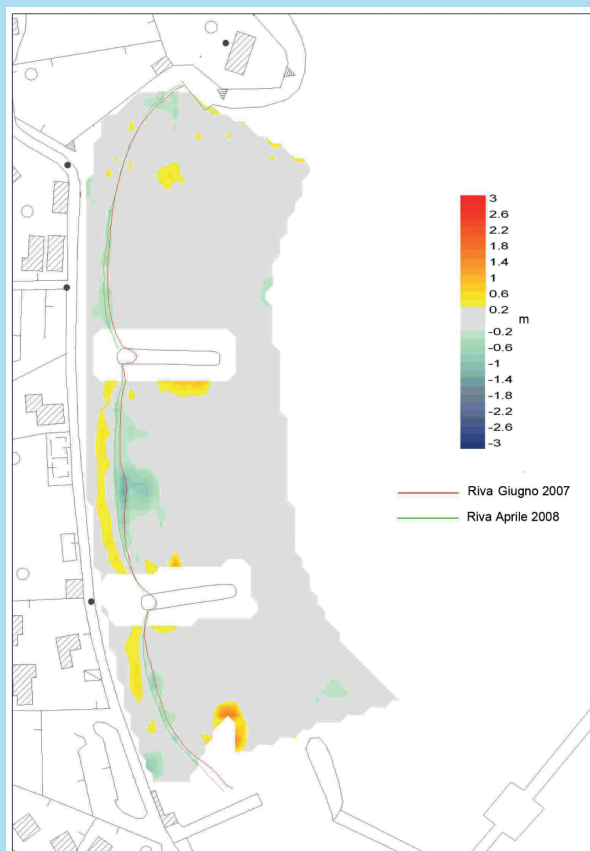


Figura 3.10. La ricostituzione della spiaggia di Cavo (Isola d'Elba)

Il confronto fra i rilievi topo-batimetrici ha mostrato il comportamento dei materiali ghiaiosi versati: nei 10 mesi successivi all'intervento (Giugno 2007 ed Aprile 2008) non vi sono stati innalzamenti significativi del fondale anti-stante, anzi, il materiale grossolano è migrato verso l'interno della spiaggia creando una cresta di berma di tempesta piuttosto alta.

In un punto in cui il versamento era avvenuto con un pennello rifornitore (nel tratto centrale della spiaggia), i sedimenti si sono mossi verso riva lasciando una pseudo-depressione nei fondali. Sulla base di queste informazioni è stato possibile non prevedere periodici interventi di ricarica, anche se il monitoraggio è proseguito pur con frequenza decrescente.

maggiori. Sarebbe stato quindi necessario intervenire con versamenti addizionali per mantenerla nelle dimensioni ottimali, ma la stabilità del ripascimento è stata maggiore di quanto previsto dai modelli, e fino ad oggi non è stato necessario intervenire.

## *Il moto ondoso*

Le condizioni meteomarine hanno una grande variabilità su scale temporali di giorni, mesi ed anni e determinano in modo sostanziale l'evoluzione naturale di una spiaggia ed anche la sua risposta a qualsiasi intervento, sia esso strutturale che di ripascimento.

Se per la progettazione si fa riferimento al clima ondoso rappresentativo delle condizioni medie possibilmente almeno trentennali, pur considerando le mareggiate estreme, per valutare l'efficacia dell'intervento ci si deve riferire necessariamente agli eventi verificatisi nel periodo di monitoraggio.

Nell'ambito del progetto MAREGOT è stato sviluppato un protocollo di rilievo del moto ondoso al largo e sotto costa, ma qui preme sottolineare l'importanza di questi dati e la necessità di condividerli, nelle forme opportune, con gli stakeholder.

È evidente che l'efficacia dell'opera deve tenere conto della concordanza o meno fra le condizioni meteomarine verificatesi e il clima ondoso di progetto. Purtroppo, le serie storiche disponibili non hanno una estensione temporale sufficiente a consentire la derivazione di previsioni con elevato grado di affidabilità, ed eventi "anomali" possono verificarsi sia durante l'esecuzione dei lavori che successivamente.

Gli stakeholder devono essere ben consapevoli di questo e valutare i risultati tenendo conto di tutte le variabili che in un sistema costiero rendono complessa ogni previsione. Una mareggiata con elevato tempo di ritorno, che si verifica alla fine di un ripascimento, può determinare una redistribuzione dei materiali verso il largo e lungo costa ben superiore a quella prevista nel progetto. L'opposto può avvenire se si susseguono periodi con condizioni meteomarine favorevoli, che portano a fare sperare in una maggiore durata del ripascimento.

<p>Obiettivi del monitoraggio dello stato del mare            Da Progetto MAREGOT, Protocollo metodologico, contenente indicatori comuni, per la progettazione dei piani di monitoraggio morfosedimentologico e biologico della fascia costiera.            Contributo tecnico del Consorzio LaMMA</p>		
Azioni	Dati di moto ondoso richiesti.	Altri dati di fisica del mare richiesti.
Metodologia bilancio sedimentario	Serie storiche di moto ondoso (spettri e parametri di onda integrati) da utilizzare per modelli di trasporto solido litoraneo. Runup di onda.	Serie storiche dati di livello del mare lungo la costa. Stima di Sea Level Rise. Correnti litoranee. Vento. Correnti costiere a scala regionale (per studi di dispersione dei sedimenti).
Coste Alte	Serie storiche di moto ondoso a scala costiera, da utilizzare per studi di impatto sulle coste alte. Statistica degli estremi d'onda	
Habitat ed ecosistemi marini e costieri	Serie storiche di moto ondoso a scala costiera, da utilizzare per studi di impatto sugli habitat e di interazione con le caratteristiche biologiche ed ecosistemiche della costa.	Serie storiche dati di livello del mare lungo la costa (stima escursione tidale). Correnti costiere.
Gestione rischio costiero	Previsioni meteomarine riguardanti parametri di onde integrati e non. Statistica degli estremi d'onda. Runup di onda.	Previsioni di correnti litoranee e rip currents. Dati di livello del mare lungo la costa.

Vi è un aspetto che si oppone ad una eccessiva estensione delle serie storiche per derivare il clima meteomarinario, cosa che teoricamente renderebbe la previsione degli eventi estremi più affidabile: quello legato alle variazioni climatiche.

In una fase di rapido cambiamento del clima, anche di quello ondoso, fare riferimento a dati troppo vecchi non consente di stimare la situazione attuale.

Particolare attenzione deve essere posta all'incremento nell'intensità degli eventi estremi, già rilevata per alcune aree (Ruggiero, 2013); ma oltre a questo, è in atto un cambiamento della direzione dei venti, e di conseguenza delle onde.

Ciò influenza non solo il dimensionamento delle strutture, ma anche i loro effetti sull'evoluzione dei litorali. Nell'ambito del Progetto MAREGOT si sta cercando conferma all'ipotesi che tale fenomeno possa aver spostato la posizione di una zona di convergenza del trasporto litoraneo: gli impatti sul trasporto sedimentario previsti per la costruzione di un porto – sulla base delle serie storiche disponibili al momento della progettazione – sarebbero stati in realtà inferiori. Alcune opere di difesa che intercettano il trasporto litoraneo, come ad esempio i pennelli, potrebbero dare una risposta diversa se la distribuzione direzionale dell'energia del moto ondoso dovesse cambiare.

È questo uno dei motivi che dovrebbero indirizzare verso una maggiore plasticità degli interventi di difesa, in modo che sia possibile adattarli a nuove condizioni climatiche.

## **Bibliografia**

Anfuso G, Bowman D., Danese C., Pranzini E., 2016. Transect Based Analysis versus Area Based Analysis to quantify shoreline displacement: spatial resolution issues. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188: 568.

Bartoletti E., Bini A., Marasco I., Mercantelli A., Boninsegni G., 2008. La spiaggia "urbana" in ghiaia di Cavo: interventi di protezione e ripascimento. Atti del Convegno "Costa, prevenire, programmare, pianificare". Maratea 15-17 Maggio 2008. Autorità di Bacino della Basilicata, p. 1-12.

Bowman D., Bresci D., Danese C., Ferri S., Pranzini E. e Rossi L., 2006. Risposta di una spiaggia all'applicazione di un drenaggio artificiale: il BMS di Alassio. Studi costieri 11: 133-144.

Cipriani L.E., Pranzini E., Vitale G., 2013. Coastal erosion in Tuscany: short vs. medium term evolution. In L.E. Cipriani Ed. Coastal erosion monitoring, Nuova Grafica Fiorentina, pp. 135-155.

Ruggiero P., 2013. Is the intensifying wave climate of the U.S. Pacific Northwest increasing flooding and erosion risk faster than sea-level rise? J. Waterw Port Coast Ocean Eng, 139:88-97.

Simonetti D., Pranzini E., 2008. Influenza del fattore scala sulla classificazione delle spiagge in base alla loro tendenza evolutiva. Studi costieri, 14: 14-38.



# L'uso dei dati per la pianificazione degli interventi

## *Premessa*

Una delle finalità principali dell'attività di monitoraggio dell'evoluzione dei litorali consiste nella identificazione delle cause e nella localizzazione e quantificazione dei processi erosivi, nonché nell'analisi della loro evoluzione nel tempo in funzione degli interventi antropici effettuati nei bacini idrografici, sulle coste alte e sulle spiagge stesse.

Quest'analisi deve avvenire sia a scala nazionale, sia regionale e locale, in modo da consentire ai decisori di effettuare, non solo la pianificazione dello sviluppo territoriale a scala vasta, e quindi la scelta se difendere, adattarsi o arretrare, ma anche di prevedere le risorse necessarie per gli interventi e le priorità di attuazione.

Questo richiede che i dati da confrontare siano omogenei come risoluzione temporale e spaziale, nonché come accuratezza, metodi di elaborazione e criteri d'interpretazione.

Determinante è la finestra temporale di osservazione, dato che il monitoraggio deve descrivere i processi in atto, mediando però quelli che abbiamo visto essere dovuti alla variabilità intrinseca di ciascuna spiaggia.

Un intervallo fra i rilievi troppo lungo potrebbe abbracciare fasi evolutive opposte, magari annullandone gli effetti, mentre uno troppo breve potrebbe determinare una sovrastima dei fenomeni.

Il litorale italiano è passato da una fase di generale progradazione, fino alla metà dell'800, ad una di prevalente erosione, che lo caratterizza ai giorni d'oggi. Il passaggio da una fase all'altra non è stato né istantaneo né sincrono su tutto il territorio. Ecco che un tratto di costa può risultare oggi in progradazione se il confronto viene fatto con dati molto vecchi, solo perché l'erosione in corso non ha ancora asportato tutto il territorio formatosi nella fase precedente di accumulo (Fig. 4.1).

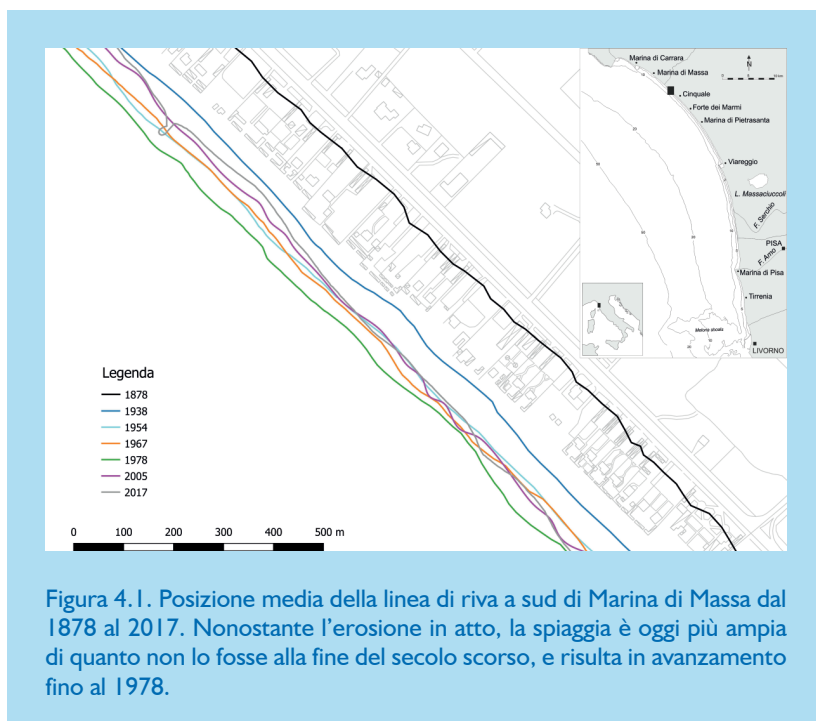


Figura 4.1. Posizione media della linea di riva a sud di Marina di Massa dal 1878 al 2017. Nonostante l'erosione in atto, la spiaggia è oggi più ampia di quanto non lo fosse alla fine del secolo scorso, e risulta in avanzamento fino al 1978.

L'analisi delle variazioni morfologiche del litorale deve necessariamente tener conto degli interventi realizzati lungo la costa, in modo da poter valutare il loro effetto; da qui la necessità di un archivio accurato delle strutture presenti su ciascun tratto costiero e delle modifiche ad esse apportate nel tempo.

Ciò consentirà di valutare l'efficacia e gli impatti delle varie opere di difesa nello specifico tratto costiero e di poter sviluppare progetti facendo tesoro dell'esperienza passata.

Una visione sinottica della realizzazione delle opere, affiancata dall'analisi del processo erosivo, consente anche una valutazione della loro efficacia e del loro impatto sulle spiagge poste sottoflutto, nonché un approfondimento dell'evoluzione dei principi e dei metodi a base della definizione del tipo di opere realizzate negli anni (Fig. 4.2).

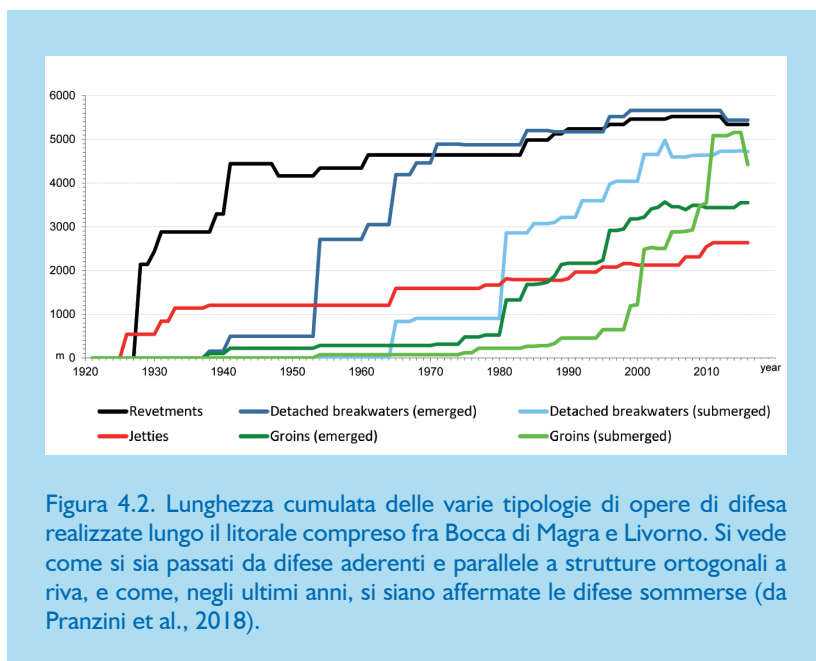


Figura 4.2. Lunghezza cumulata delle varie tipologie di opere di difesa realizzate lungo il litorale compreso fra Bocca di Magra e Livorno. Si vede come si sia passati da difese aderenti e parallele a strutture ortogonali a riva, e come, negli ultimi anni, si siano affermate le difese sommerse (da Pranzini et al., 2018).

Ovviamente, le priorità d'intervento non sono legate solo alla velocità del processo erosivo, ma risentono anche del valore economico, paesaggistico e sociale dei vari tratti di litorale.

Se da un lato è facilmente calcolabile il valore della spiaggia limitatamente alla componente relativa alle attività svolte sugli arenili dati in concessione per quanto riguarda l'affitto di ombrelloni e cabine, già più complessa è l'analisi del reddito indiretto ottenuto dai gestori per i servizi di ristorazione.

Ma la ricaduta economica della spiaggia si allarga ad un'ampia fascia di territorio ed è generata anche dalle spiagge cosiddette libere (o meglio sociali). Alberghi e case in affitto sono beneficiari di una consistente quota del prodotto economico della spiaggia, così come tutti i settori del commercio rivolti ai turisti, nonché a quella parte di popolazione che vive sul territorio grazie alle attività svolte sulla spiaggia. Questa componente del valore della spiaggia non è di facile valutazione, ed ancor più difficile è valutare quanto e in che proporzione essa si estenda e si sfumi allontanandosi dalla costa. Una ricerca svolta nell'ambito del progetto CAMP-Italy ha stimato quanto i gestori dei vari esercizi commerciali valutino essenziale la spiaggia per la propria attività, e come questo valore si riduca allontanandosi dal mare: la presenza dell'arenile è risultata essenziale per molte attività e rilevante anche all'interno (Perna et al., 2017).

Uno studio effettuato nel progetto BEACHMED indicava in circa 30 euro/m<sup>2</sup> il fatturato medio prodotto annualmente da una spiaggia per il gestore della concessione, ma in circa 1.000 euro quello indiretto delle varie attività commerciali del territorio. Ovviamente molti sono i fattori che, portando a deviazioni rispetto a questi valori, non ultima l'ampiezza e la qualità dell'arenile.

Nell'ambito di una Componente del Progetto MAREGOT è stata analizzata la rete di attività economiche direttamente o indirettamente connesse con la spiaggia, andando quindi oltre alle tradizionali indagini sull'Economia del mare e su quella della spiaggia. Il tema è stato poi approfondito per l'area campione del delta del Fiume Ombrone (Comune di Grosseto), ottenendo un dato significativo: il 2,4% del Prodotto Interno Lordo del territorio, che si affaccia in minima parte sul mare, è generato da attività collegate con la spiaggia.

Nella gestione dell'erosione dei litorali è anche questo un aspetto da prendere in considerazione, sia che si voglia mantenere o potenziare l'offerta turistico-balneare tradizionale (3S = Sea, Sun, Sand), sia che si debba valutare un arretramento strategico, che dovrà comunque offrire analoghe opportunità economiche alle popolazioni residenti.

## Ancora sul valore della costa

Il valore paesaggistico, anche se non lo si volesse correlare solo a quello meramente economico, necessita comunque di una valutazione, non solo per definire le priorità d'intervento, ma anche per identificare quelle criticità che potrebbero essere superate con una migliore gestione.

In questa direzione va il Coastal Scenery Evaluation System (Buitrago, 2018) che, sulla base di 18 parametri fisici e 8 antropici, definisce un indice che consente di stimare la qualità paesaggistica dei vari tratti costieri. Analizzando il valore dei singoli parametri è anche possibile identificare quelli che abbassano il *rating* e valutare l'effetto che avrebbero gli interventi di riqualificazione.

Tutti questi dati devono essere messi a disposizione e discussi con i vari portatori d'interesse, affinché abbiano una visione olistica delle problematiche indispensabili per giungere ad una condivisione delle scelte.

Un altro aspetto rilevante nella pianificazione degli interventi di difesa (ed anche di adattamento o di arretramento) è fornito dall'analisi costi/benefici eseguita in parallelo fra vari progetti: diversi tratti di litorale soggetti ad erosione ugualmente intensa possono essere difesi con soluzioni di diverso impegno economico che derivano dalle loro differenti caratteristiche socio-economiche, paesaggistiche ed ambientali. In presenza di risorse economiche limitate, tale analisi può influenzare la scelta dell'area su cui intervenire, o, comunque, quale tipo di risposta dare al problema nei diversi settori.

Da considerare è anche il fatto che il valore di una spiaggia difesa con opere strutturali è inferiore a quello della stessa spiaggia in condizioni naturali.

In molti casi un arretramento pianificato è la soluzione ambientalmente ed economicamente più vantaggiosa. Non sono pochi i casi nel mondo in cui si sono abbandonate le difese che impedivano l'erosione o la sommersione del litorale incrementandone la resilienza, come ad Abbotts Hall Farm in Essex, UK dove una difesa vecchia di 200 anni è stata abbandonata. In questo caso la realizzazione del progetto è

stata preceduta da tre anni di monitoraggio e seguita da altri cinque per valutare se gli effetti fossero quelli previsti (Williams et al., 2017).

In Francia, dopo la tempesta Xynthia, che nel febbraio 2010 sulla costa atlantica della Francia causò 41 morti, lo Stato ha comprato le case poste oltre la linea di set back, diverse centinaia, e sta ora procedendo alla loro demolizione.

### Set back

*La modellistica numerica, sviluppata sui dati del monitoraggio, è lo strumento principe per definire le linee di set back.*

*Queste delimitano la fascia costiera sulla quale non devono essere costruite strutture stabili, o devono essere attuati programmi volti ad una loro demolizione o delocalizzazione.*

*Le zone di set back vengono generalmente destinate ad uso pubblico con libero accesso, e il conseguente valore sociale giustifica, almeno in parte, l'impegno economico richiesto.*

*Vi sono comunque strumenti idonei a minimizzare il costo immediato dell'intervento, come la defiscalizzazione e la concessione di una superficie edificabile maggiore di quella lasciata.*

*La distanza dal mare della linea di set back varia da un paese all'altro e anche nello stesso paese possono esservi indicazioni diverse in funzione della morfologia della costa. Fra i paesi che l'hanno adottata figurano Canada, Stati Uniti, Cuba, Polonia, Danimarca, Germania, Spagna, Turchia, Australia e Sri Lanka; i valori più frequenti si collocano fra i 50 e i 300 m.*

*La Legge Galasso (n. 431, 8 agosto 1985), che portava il limite di inedificabilità a 300 m dalla costa, era decisamente illuminata; purtroppo è stata quasi ovunque disattesa.*

*I Piani di Indirizzo Territoriali di alcune regioni, di recente o di imminente emanazione, cercano di ridefinire le zone di buffer.*

*Invece che porre limiti geometrici uguali all'interno di uno Stato o Regione, sarebbe più opportuno definire la linea di set back sulla base della morfologia della costa e dei tassi erosivi di medio termine e dei risultati dei modelli, ma ciò espone i pianificatori ad una continua trattativa, necessitando questa azione di una piena partecipazione da parte dei portatori d'interesse.*

Nell'analisi economica dell'arretramento deve essere incluso anche il valore sociale delle aree abbandonate, che possono rimanere a disposizione della comunità per attività che non richiedono strutture, o solamente strutture mobili.

La pianificazione degli interventi di difesa si sviluppa, non solo sulla base dello stato e delle necessità attuali, ma prioritariamente nell'ambito dello scenario identificato per il futuro. Questo è caratterizzato da una notevole incertezza, che si accresce ulteriormente non essendo possibile prevedere con esattezza l'effetto degli interventi stessi, con i processi di feed-back positivi o negativi che essi possono generare in uno scenario che non sarà quello attuale.

In funzione dello scenario utilizzato, determinati effetti di un processo (es. innalzamento del livello del mare, riduzione dell'input sedimentario, subsidenza, ...) vengono raggiunti in tempi diversi (Fig. 4.3). Un buon modello, calibrato sui risultati del monitoraggio, consente di effettuare le scelte opportune prima che l'intervento diventi tardivo o più oneroso in termini ambientali, sociali ed economici.

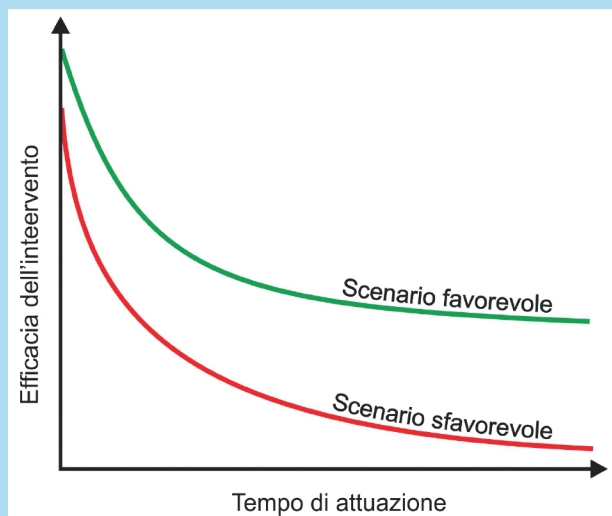


Figura 4.3. L'efficacia di un intervento di gestione del processo erosivo (difesa, adattamento o arretramento) dipende dal momento di applicazione, riducendosi progressivamente con il passare del tempo, fino a che esso non diventa praticamente inutile.

Di conseguenza la pianificazione (ma potremmo arrivare a dire anche la progettazione) deve essere estremamente elastica, in modo da potersi adattare alle condizioni che si presenteranno nel tempo.

Quindi, una delle caratteristiche degli interventi che si andranno a realizzare, siano essi di pianificazione, gestione o progettazione, dovrebbe essere la possibilità di un loro adattamento a condizioni diverse da quelle previste. Interventi che potremmo definire “resilienti”, la cui modifica, se necessaria, sarà tecnicamente ed economicamente sostenibile.

Questa caratteristica è richiesta anche ai singoli progetti, dato che durante la costruzione di opere a mare possono cambiare le condizioni al contorno (sia per la variabilità del sistema, sia per l'effetto di quanto stiamo costruendo). Il progetto andrà quindi adattato alle nuove condizioni. Costruire un'opera di difesa costiera non è come costruire un grattacielo: questo è estremamente più complesso, con le componenti strutturali, elettriche, idrauliche, ma se ben progettato potrà essere realizzato senza varianti in corso d'opera, dato che le condizioni fisiche al contorno non cambiano (ma potrebbero cambiare quelle dettate dal mercato, come può accadere per le spiagge!). Un'opera di difesa costiera è progettata su di una determinata morfologia del litorale e dei fondali, ma fra il momento della progettazione e quello della realizzazione può passare molto tempo, o le condizioni meteomarine precedenti l'inizio dei lavori possono aver cambiato la forma della spiaggia; di conseguenza il progetto andrà modificato all'ultimo istante sulla base di rilievi aggiornati. Ma anche durante i lavori, e spesso proprio a causa di questi, possono cambiare le condizioni del tratto costiero interessato e quindi il progetto dovrà essere adeguato alla nuova configurazione della costa.

Va osservato che anche le modalità di realizzazione di un progetto possono influire sulla risposta della spiaggia e porre nella necessità di una variazione progettuale, cosa non facilmente realizzabile per problemi amministrativi e finanziari. È quindi opportuno valutare questa eventualità e redigere il progetto in modo da minimizzarla. Realizzare le opere strutturali partendo dal punto non ancora interessato dall'erosione e procedere verso la zona maggiormente interessata è una pratica consolidata nell'ingegneria marittima.



### Un esempio di fasi costruttive sbagliate

*La costruzione di una serie di pennelli estesi come setti sommersi sul litorale posto a nord di Bocca d'Arno venne effettuata in fasi successive, nelle quali, dopo la realizzazione di una parte di ogni singolo elemento, si dava l'avvio alla realizzazione degli altri. Questi corti pennelli avevano l'estremità nella fascia dinamicamente più attiva del litorale, e in testa ad essi si formarono delle profonde buche. Quando si procedette al loro allungamento, si trovarono fondali assai maggiori che richiesero un volume di scogli superiore a quello previsto dal progetto esecutivo; cosa che rese impossibile il completamento delle opere.*

Tutto ciò non può che essere accompagnato da un monitoraggio tale da valutare le variazioni intervenute e spiegare i processi innescati dalle nuove opere, prima che questi diventino ingestibili.

Un buon monitoraggio, e dei buoni modelli di previsione degli scenari futuri, consentiranno inoltre di calibrare gli interventi in funzione delle reali necessità.

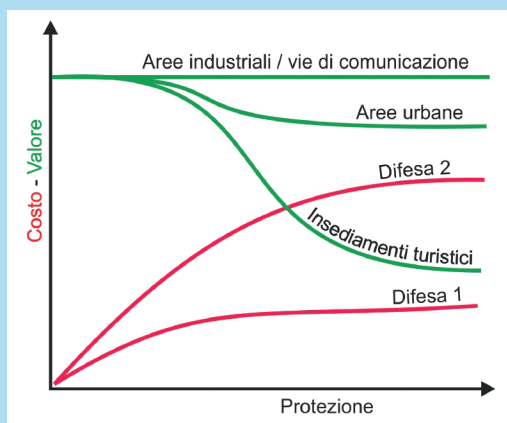


Figura 4.4. Perdita di valore dei beni costieri al crescere del livello di protezione del litorale. In alcuni casi il costo dell'intervento può superare il valore residuo del bene difeso.

Un'eccessiva protezione, oltre che costosa, determina infatti una riduzione di valore dei beni presenti lungo la costa (Fig. 4.4). Se questa riduzione può essere insignificante per le strutture industriali e le vie di comunicazione, diventa rilevante per le aree urbane, la cui fascia costiera perde di valore paesaggistico e spesso di fruibilità. Ma i tratti di litorale più penalizzati sono quelli a vocazione turistica, dove paesaggio, qualità delle acque e accessibilità sono requisiti fondamentali (Fig. 4.5).

Inoltre, una protezione eccessiva può rendere più difficile, se non impossibile, il cambiamento di strategia qualora dovessero mutare le condizioni al contorno.



Figura 4.5. Chiavari (Liguria) Una spiaggia turistica eccessivamente protetta perde di valore paesaggistico ed economico.

Si deve anche considerare che gli interventi di protezione del litorale, nonché quelli di ripascimento, possono spingere i privati o i gruppi economici ad effettuare investimenti che, se da un lato producono lavoro ed afflusso di capitali, rendono sempre più difficili futuri interventi di delocalizzazione.

## **Riferimenti bibliografici**

Mercier D., Chadenas C., 2012, La tempête Xynthia et la cartographie des «zones noires» sur le littoral français: analyse critique à partir de l'exemple de La Faute-sur-Mer (Vendée). Noris: p. 45-60.

Perna M., Brandini C., Cipriani L., Grasso V., Mammì I., Pelliccia F., Pranzini E., Vitale G., 2017. La percezione dell'impatto dell'erosione costiera da parte degli esercenti del litorale compreso tra la foce del F. Magra e Marina di Carrara. Studi costieri, 27: 17-34.

Rangel-Buitrago N. (Ed.), 2018. Coastal Scenery. Evaluation and management. Springer, Gewerbstrasse, Svizzera, pp. 247.



# Successi e insuccessi del monitoraggio

## *Il monitoraggio del monitoraggio*

Negli ultimi decenni le attività di monitoraggio dell'evoluzione costiera hanno impegnato i diversi livelli dell'amministrazione pubblica, anche destinandovi importanti risorse economiche.

Spesso i dati raccolti e le elaborazioni che su di essi sono state fatte hanno consentito di impostare correttamente i piani di difesa costiera o di valutare l'efficacia degli interventi realizzati, ed anche di apportarvi modifiche per una loro ottimizzazione.

In altri casi il monitoraggio non ha permesso di cogliere quegli aspetti dell'evoluzione del litorale la cui conoscenza avrebbe consentito una migliore gestione della fascia costiera. Ma si hanno anche progetti redatti solo sulla base di rilievi fatti per l'occasione, senza una conoscenza dell'evoluzione del litorale e, molto spesso, neppure delle cause del processo erosivo. Per non parlare dei casi in cui i monitoraggi, spesso limitati al solo rilievo topografico, sono stati dimenticati nei cassetti di qualche scrivania!

L'analisi dei successi e degli insuccessi di quest'attività consente di evidenziare i motivi che stanno alla base del raggiungimento o meno degli obiettivi prefissati.

Nelle pagine che seguono vengono riportati, per ogni territorio transfrontaliero, due casi di studio: uno in cui il monitoraggio ha consentito di impostare buone pratiche di gestione del processo erosivo o di va-

lutare l'efficacia di un intervento di protezione costiera; l'altro, in cui i dati disponibili, precedentemente raccolti o specificatamente rilevati, si sono dimostrati inadeguati per definire i piani d'intervento o per ottimizzare le strutture appena realizzate.

Preme sottolineare che le valutazioni che verranno date nelle pagine seguenti riguardano il monitoraggio dell'evoluzione del litorale e dell'efficacia degli eventuali interventi, e non quella dei progetti realizzati.

In un quadro nazionale, e non solo, si osserva che le informazioni sull'efficacia degli interventi, in particolare quando sono stati negativi, hanno avuto una circolazione limitata e spesso racchiusa nel mondo accademico, cosa che impedisce il ripetersi di errori da parte di altri soggetti predisposti alla difesa e tutela dell'ambiente costiero.

Vi sono poi molte soluzioni che necessitano ancora di una seria valutazione indipendente e che vengono proposte come innovative, mentre dovrebbero essere considerate sperimentali. Su queste i monitoraggi, se effettuati, spesso sono stati realizzati dagli stessi che ne promuovono la commercializzazione, o, se fatti da istituti di ricerca, trovano opposizione da parte del committente ad una loro pubblicazione.



## Il monitoraggio dell'intervento di ricostruzione del litorale di Ospedaletti

La spiaggia di Ospedaletti è situata nella Riviera ligure di ponente (Fig. 5.1). Questo tratto di costa, a partire dai primi anni del XX secolo, è stato interessato da numerosi interventi di difesa, soprattutto con lo scopo di proteggere la linea ferroviaria, realizzata nella seconda metà del XIX secolo, e in molti tratti costruita direttamente sulla spiaggia.

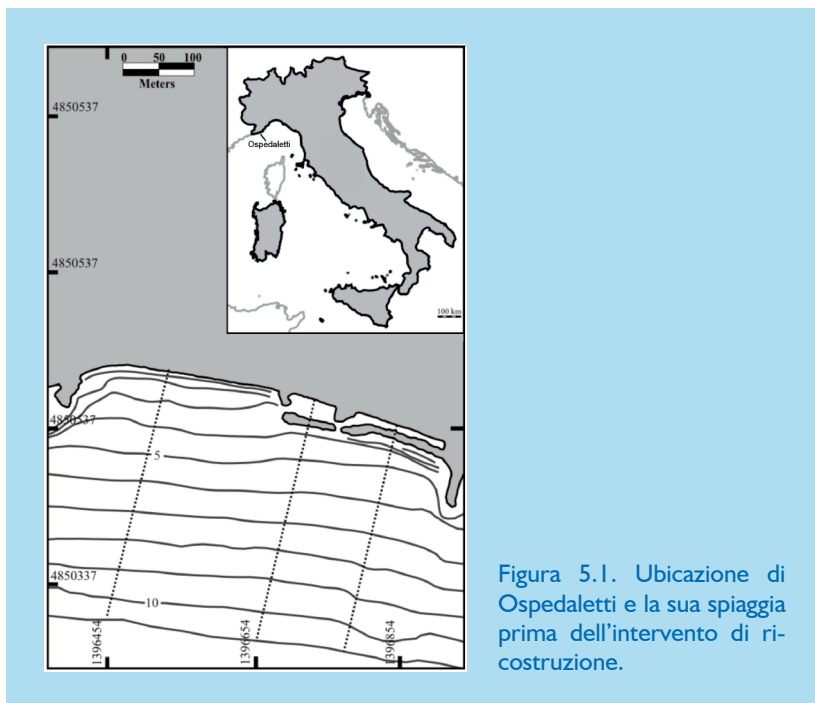


Figura 5.1. Ubicazione di Ospedaletti e la sua spiaggia prima dell'intervento di ricostruzione.

Il Comune di Ospedaletti, con il supporto di Regione Liguria, nel periodo 2008-2010 ha realizzato un intervento di recupero di un tratto di circa 250 metri di litorale.

Il progetto prevedeva l'eliminazione delle scogliere parallele presenti ed il versamento di circa 65.000 m<sup>3</sup> di materiale contenuto lateralmente da due strutture ortogonali. I lavori sono stati effettuati in due fasi distinte. Nella prima, inverno 2008-2009, sono state rimosse le strutture preesistenti e realizzate quelle previste nel progetto, inoltre è stato effettuato un primo ripascimento di circa 30.000 m<sup>3</sup>. Nella fase successiva, inverno 2009-2010, è stato completato il ripascimento con i restanti 35.000 m<sup>3</sup>. Il versamento in entrambe le fasi è stato effettuato con il metodo dei pennelli rifornitori.

La spiaggia di Ospedaletti è costituita da ghiaie e ciottoli nella porzione emersa e fino alla zona di frangenza; più al largo questi sedimenti sono sostituiti da sabbie medio-fini. Anche il materiale utilizzato per il ripascimento, proveniente dai sovralluvionamenti del Torrente Nervia, era costituito da una frazione ghiaioso-ciottolosa ed una sabbiosa, che generalmente non viene utilizzata nei ripascimenti perché ritenuta instabile. In questo caso, invece, entrambe le frazioni granulometriche sono state utilizzate, ipotizzando che la componente sabbiosa, ridistribuita dal moto ondoso, avrebbe contribuito ad alimentare la spiaggia sommersa oltre il limite della frangenza.

La stabilità del versamento nella zona più profonda è stata garantita da un setto sommerso in geotessile posto in continuità con il pennello di sottoflutto.

Allo scopo di valutare se questa scelta progettuale fosse adeguata, è stato predisposto un piano di monitoraggio avviato contemporaneamente alla realizzazione dell'intervento (Fig. 5.2). Il monitoraggio, con cadenza annuale, ha previsto indagini topografiche e batimetriche, prelievo di sedimenti mediante benna e carotiere manuale, oltre al rilievo della linea di riva.

Pertanto, sono state effettuate le indagini nei seguenti periodi:  
2006 – indagini di campagna propedeutiche all'intervento;



2008 – indagini di campagna eseguite al termine della prima fase;  
 2009 – indagini di campagna eseguite al termine della seconda fase;  
 2010 – indagini di campagna eseguite dopo un anno dall'intervento.

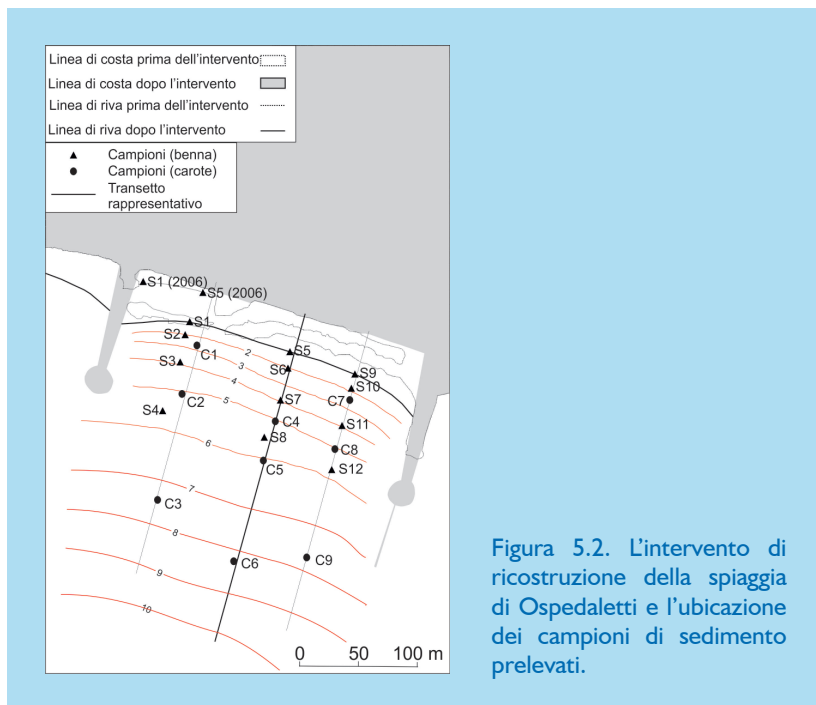


Figura 5.2. L'intervento di ricostruzione della spiaggia di Ospedaletti e l'ubicazione dei campioni di sedimento prelevati.

Il monitoraggio intermedio – effettuato al termine della prima fase – ha mostrato, attraverso i profili topografici e batimetrici, un avanzamento di circa 25 metri della spiaggia emersa, mentre la spiaggia sommersa mostrava un accumulo di sedimenti concentrato soprattutto tra la battigia e la zona di frangenza, posta ad una profondità compresa tra 3 e 5 metri (Fig. 5.3). Il fondale al largo mostrava anch'esso un modesto ma significativo innalzamento, ad indicare che la frazione sabbiosa aveva raggiunto la parte più esterna della spiaggia sommersa.

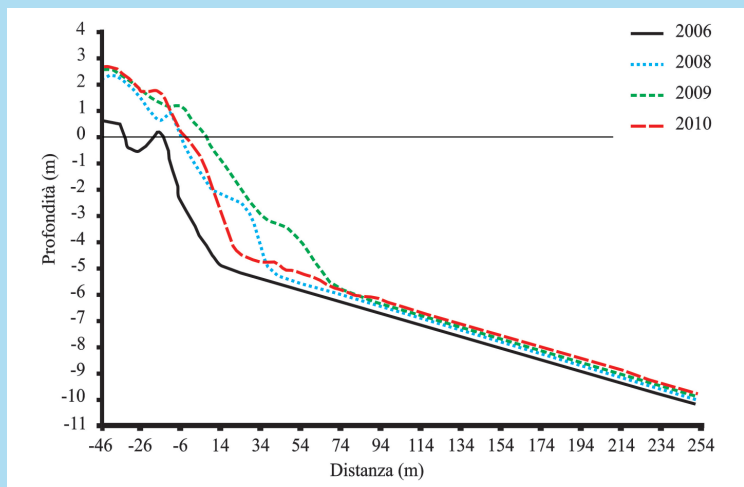


Figura 5.3. Evoluzione del profilo della spiaggia durante il periodo monitorato.

Le indagini sedimentologiche confermavano questa ipotesi, identificando sedimenti riferibili alle ghiaie ed ai ciottoli ubicati fino alla zona di frangenza e sedimenti sabbiosi nel settore esterno. Inoltre, le carote prelevate mostravano una marcata differenza tessiturale tra la porzione superiore e quella inferiore, ad indicare la presenza dei sedimenti provenienti dal versamento.

Anche il successivo rilievo, effettuato al termine dei lavori, ha confermato questa distribuzione dei sedimenti versati, avvalorando la bontà della scelta progettuale (Fig. 5.4). In questo caso l'avanzamento registrato era di circa 35 metri e l'accumulo principale nella spiaggia sommersa era ubicato in posizione più esterna e più profonda. Anche i dati sedimentologici confermavano la configurazione precedentemente descritta.

L'ultimo rilievo, effettuato dopo un anno dal termine dell'intervento, mostrava una spiaggia che aveva ormai terminato la fase di redistribuzione dei sedimenti e di riequilibrio del profilo trasversale, che si era assestato sulle posizioni previste nel progetto.

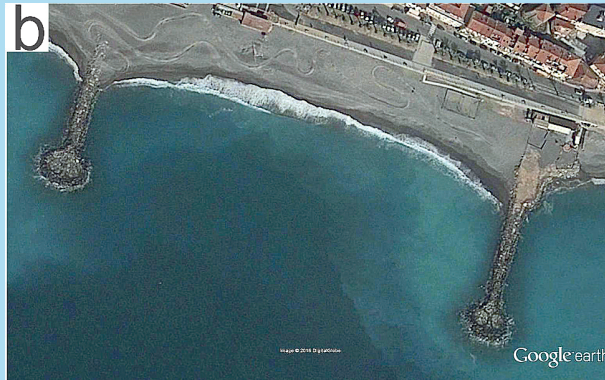
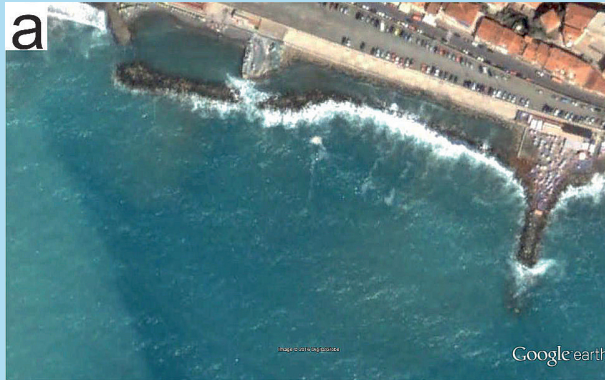


Figura 5.4. La spiaggia di Ospedaletti prima e dopo l'intervento di ricostruzione.

In particolare, era osservabile l'innalzamento di circa 0.5 metri della spiaggia esterna, che conseguentemente assumeva un assetto morfodinamico più dissipativo.

Negli anni successivi la spiaggia si è mantenuta sostanzialmente stabile e non ha registrato alcun fenomeno erosivo.

Marco Ferrari

# Liguria



## Riequilibrio delle spiagge di Ameglia e Marinella di Sarzana

Questo tratto di litorale, che costituisce la parte settentrionale dell'unità fisiografica che da Bocca di Magra si spinge fino a Livorno (Fig. 5.5), risulta in erosione dalla fine del XIX secolo, sia per l'abbandono dell'agricoltura nel bacino idrografico di questo fiume, sia per le intense escavazioni effettuate nel suo alveo nel dopoguerra.



Figura 5.5. Il litorale di Fiumaretta e Marinella di Sarzana con in primo piano il pennello di foce del F. Magra.

Già sulla tavoletta IGM del 1938 è presente una scogliera parallela a difesa del punto in cui la strada che proviene da Sarzana curva per disporsi parallelamente alla costa. Sono state successivamente costruite isole artificiali e pennelli, mentre alla foce del fiume è stato costruito, tagliato, richiuso e poi prolungato un molo guardiano; refluenti di se-

dimenti sono stati fatti dall'asta terminale del F. Magra. Tutto ciò senza che sull'effetto di questi lavori venisse mai fatto un monitoraggio, tanto che non è stato facile capire l'efficacia e le eventuali debolezze di questi interventi. Solo negli anni più recenti (1999-2002) l'Autorità di Bacino del Fiume Magra commissionò un monitoraggio al fine di valutare se la costruzione di nuovi pennelli avrebbe avuto conseguenze negative sul litorale di Marina di Carrara, posto immediatamente sottoflutto. I risultati indicarono che l'efficacia di queste opere era limitata e quindi anche i loro effetti sulla costa toscana non si fecero sentire.

Nel 2005, con fondi europei, i Comuni di Ameglia e Sarzana dettero inizio ad un nuovo progetto che avrebbe dovuto risolvere i problemi dell'erosione sulle loro spiagge, che costituiscono una base economica importante di questo territorio.

I lavori prevedevano la modifica di strutture presenti, l'estensione come setti sommersi di alcuni pennelli (Fig. 5.6) e il ripascimento con sabbia e ghiaia proveniente dal dragaggio dell'asta terminale del Fiume Magra.



Figura 5.6. Elementi prefabbricati per la costruzione dei setti sommersi pronti per essere messi in opera (Febbraio 2005).

Furono effettuati anche ripascimenti artificiali con circa 54.000 m<sup>3</sup> di sabbia proveniente dai depositi alluvionali del Fiume Po, mentre 5.000/8.000 m<sup>3</sup> furono refluiti dall'accumulo formatosi al riparo del molo di foce. Un ripascimento per circa 100.000 m<sup>3</sup> venne successivamente fatto prelevando i materiali dai fondali antistanti.

Inizialmente erano previste tre campagne di rilievi topo-batimetrici e uno sedimentologico (Fig. 5.7) da effettuarsi ad inizio lavori, a fine lavori e 6 mesi dalla data di conclusione degli stessi; successivamente la Regione Liguria chiese di estendere il monitoraggio per 3 anni dopo la chiusura dei lavori.

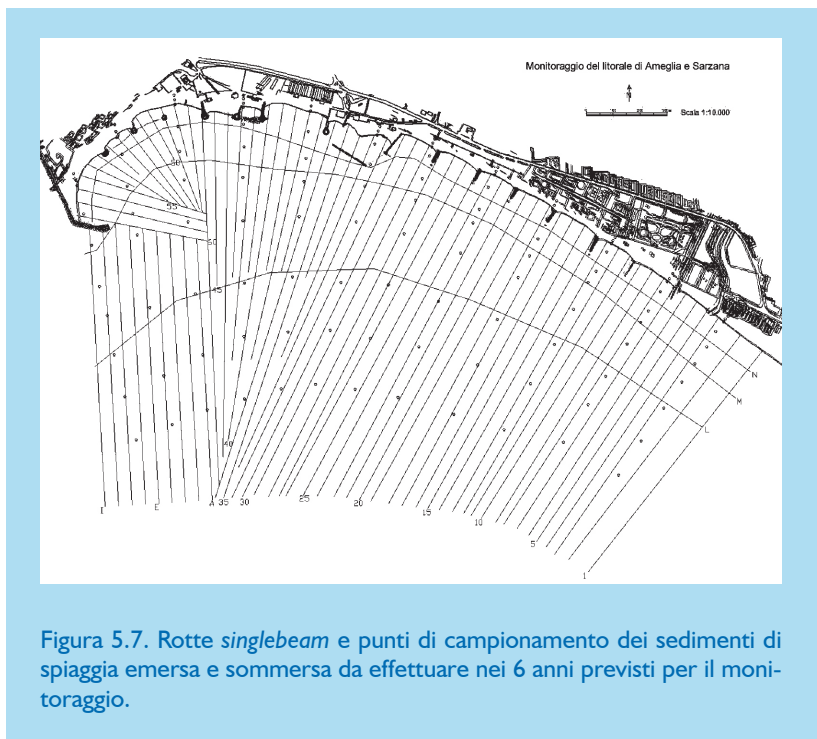


Figura 5.7. Rotte *singlebeam* e punti di campionamento dei sedimenti di spiaggia emersa e sommersa da effettuare nei 6 anni previsti per il monitoraggio.

Nel 2005 iniziarono i lavori con la rotazione di un pennello, e fra il 2005 e il 2007 furono realizzati quattro setti sommersi costituiti da elementi prefabbricati in calcestruzzo, per i quali fu previsto un monitoraggio di dettaglio (Fig. 5.8).

Per problemi tecnici legati alla gestione del finanziamento, i lavori non furono portati a termine ed anche il monitoraggio fu interrotto.

I dati acquisiti consentirono di valutare positivamente gli effetti immediati della rotazione del pennello e l'interazione dei setti sommersi con la dinamica costiera, ma non fu possibile analizzare la risposta complessiva all'intervento pur eseguito in modo parziale.

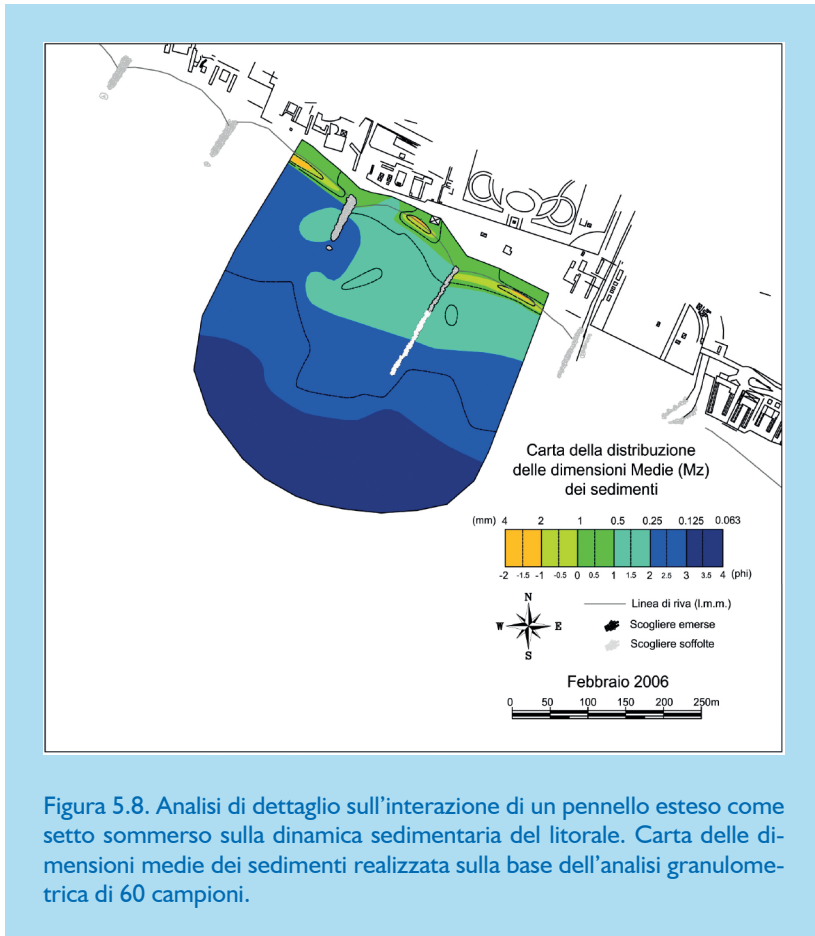


Figura 5.8. Analisi di dettaglio sull'interazione di un pennello esteso come setto sommerso sulla dinamica sedimentaria del litorale. Carta delle dimensioni medie dei sedimenti realizzata sulla base dell'analisi granulometrica di 60 campioni.

Successivamente, sono stati fatti ingenti refluenti di sabbia e ghiaia dall'asta terminale del F. Magra alle spiagge di questo settore, e risulta quindi impossibile valutare gli effetti sul medio e lungo termine dei lavori eseguiti, cosa che sarebbe indispensabile nel momento in cui si intendesse portare a termine il progetto o modificarlo per renderlo più efficace.

Carlo Cavallo e Marco Ferrari

# Toscana



## Il monitoraggio dell'intervento di riequilibrio del litorale di Marina di Carrara

Il litorale posto a nord del porto di Marina di Carrara (Fig. 5.9) si è avvalso dell'effetto pennello del molo di sopraflutto, che intercettando i sedimenti provenienti da nord (dalla foce del Fiume Magra e, più che altro, dall'erosione delle spiagge liguri di Fiumaretta e di Marinella di Sarzana) ha invertito la propria tendenza evolutiva che all'inizio del '900 minacciava con l'erosione queste spiagge. La progradazione della spiaggia ha raggiunto il suo massimo alla metà degli anni '80 del XX secolo, per poi passare ad una condizione di relativo equilibrio (Cipriani et al., 2001).

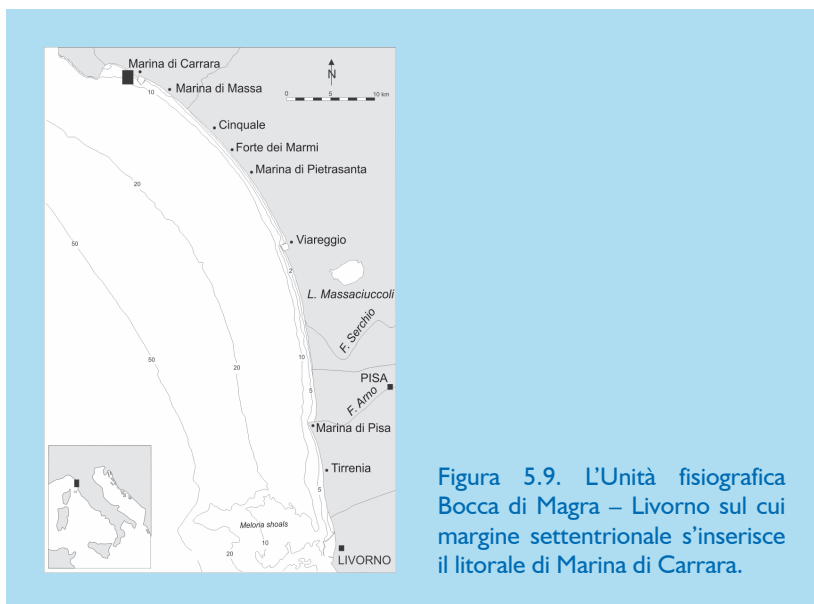


Figura 5.9. L'Unità fisiografica Bocca di Magra – Livorno sul cui margine settentrionale s'inserisce il litorale di Marina di Carrara.



Gli studi promossi dalla Regione Toscana negli anni 1998-2000 sull'Unità fisiografica Bocca di Magra – Livorno, e volti anche ad identificare le cause dell'erosione e a pianificare interventi sul litorale posto sottoflutto al porto (in particolare la spiaggia di Marina di Massa) misero in evidenza che l'afflusso dei sedimenti da nord si era attenuato e che l'arenile di Marina di Carrara era destinato ad una progressiva riduzione.

A seguito di ciò, questo tratto di litorale fu inserito dalla Regione Toscana nel Piano generale per la Difesa dei litorali, trasferendo direttamente al Comune di Carrara l'impegno della progettazione degli interventi necessari per il suo riequilibrio.

Il progetto si è sviluppato in tre fasi: nella prima (realizzata fra Dicembre 2005 e Maggio 2006) è stato effettuato solo un ripascimento artificiale con circa 60.000 m<sup>3</sup> di sabbia proveniente da una cava posta nella pianura del Fiume Po; nella seconda (eseguita tra il 2007 ed il 2008) è stato fatto un ripascimento di circa 40.000 m<sup>3</sup> più a nord, al confine con la Liguria; infine, nella terza, negli stessi settori della prima fase sono stati versati circa 34.000 m<sup>3</sup> fra Marzo e Giugno 2011 ed altri 10.000 m<sup>3</sup> fra Marzo e Maggio 2012. Nel progetto era prevista la possibilità di stabilizzare il ripascimento mediante opere sommerse.

Il primo intervento contemplava anche la rotazione di un pennello di foce che delimita la spiaggia verso nord e che induceva una riflessione delle onde tale da creare un *hot spot* erosivo.

Fin da prima dell'inizio dei lavori venne avviato un monitoraggio che prevedeva il rilievo mensile della linea di riva, semestrale dei fondali (Fig. 5.10) ed annuale delle caratteristiche tessiturali dei sedimenti di spiaggia emersa e sommersa (Fig. 5.11). Inoltre, era previsto il monitoraggio delle opere sommerse e delle biocenosi che su di esse si sarebbero potute sviluppare (Ferri et al., 2008).

Il monitoraggio della prima fase indicò che i sedimenti versati non raggiungevano la stabilità ottimale per garantire una ridotta dispersione (Indice di stabilità pari a 0,439; Pranzini et al., 2018). Fu quindi deciso di incrementarne leggermente le dimensioni nel secondo versamento (Indice di stabilità medio di 0,456) e di stabilizzarlo con una struttura sommersa a T da realizzare in geocontenitori (Fig. 5.12).

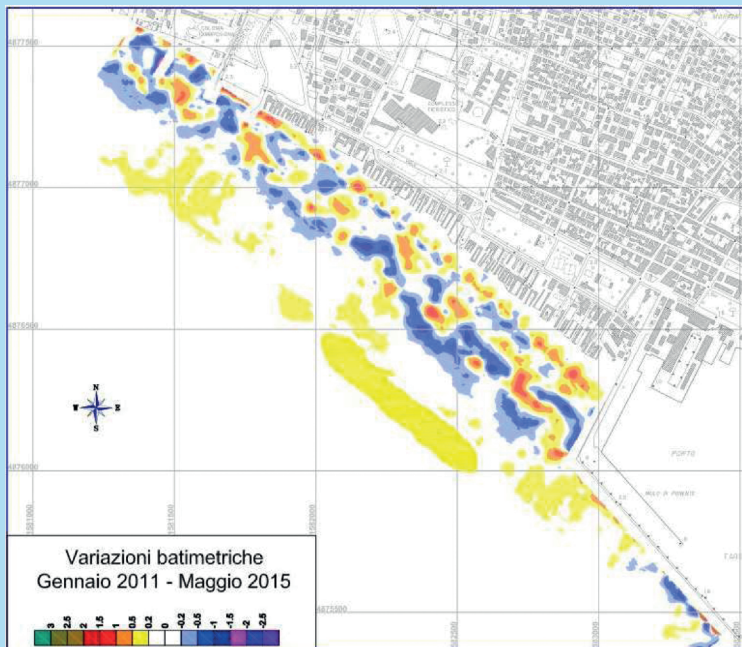


Figura 5.10. Variazioni topo-batimetriche fra Gennaio 2011 e Maggio 2015.

La prosecuzione del monitoraggio, che complessivamente è durato 6 anni, ha messo in evidenza una maggiore stabilità del litorale ed ha permesso di rilevare una errata disposizione di alcuni geocontenitori, nonché di evidenziare alcune loro successive rotture. Ciò ha consentito la correzione dell'opera e l'immediata sostituzione dei segmenti danneggiati.

Il monitoraggio biologico ha mostrato un significativo incremento della biodiversità in corrispondenza delle strutture sommerse.

I dati del monitoraggio vengono ora utilizzati per un piano di gestione di lungo termine dell'intervento.

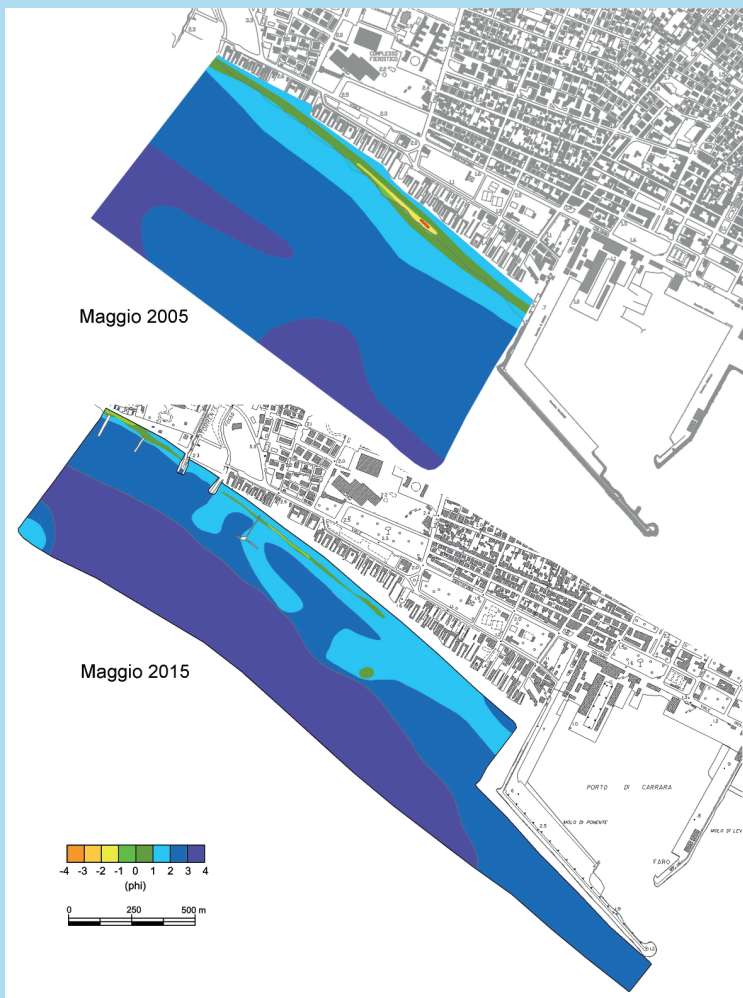


Figura 5.11. Dimensioni medie dei sedimenti nel Maggio 2005 e nel Maggio 2015.

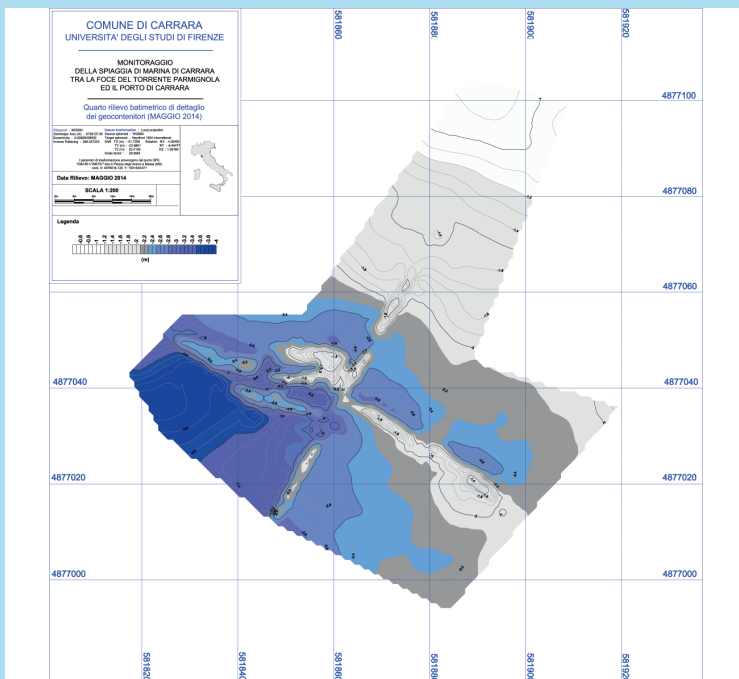


Figura 5.12. Rilievo multibeam nell'intorno della struttura sommersa.

### Riferimenti bibliografici

Cipriani L. E., Ferri S., Iannotta P., Paolieri F., Pranzini E., 2001. Morfologia e dinamica dei sedimenti del litorale della Toscana settentrionale. Studi costieri, 4: 119-156.

Ferri S., Pelliccia F., Pranzini E., Rizzo M., Vitale G., 2008. Prima risposta della spiaggia di Marina di Carrara ad un ripascimento artificiale non protetto. Studi costieri, 15: 3-20.

Pranzini E., Anfuso G., Munoz-Perez J.J., 2018. A probabilistic approach to borrow sediment selection in beach nourishment projects. Coastal Engineering, 139: 32-35.

Giuseppe Bruschi



## Erosione e difesa del litorale di Capalbio

---

La prima carta dell'evoluzione recente del litorale della Regione Toscana venne realizzata dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze nel 1989, e, sulla base della Carta Tecnica Regionale (scala 1:5.000), riportava la posizione della linea di riva degli anni 1938, 1954, 1973/79 e 1983/84. Per il litorale settentrionale era disponibile anche la linea del 1967, mentre quella del 1938 mancava per la costa della provincia di Grosseto.

Erano questi i dati a scala regionale sui quali venne formulato il Piano d'Intervento per la difesa costiera nel 2000, che ottenne un finanziamento nel 2003 e che è alla base di gran parte degli interventi realizzati fino ad oggi.

Dopo il 1984, per i tratti in erosione sono stati fatti numerosi studi ed aggiornamenti, mentre un vero e proprio monitoraggio (morfologico e sedimentologico) è stato effettuato solo laddove erano stati realizzati interventi di difesa costiera.

Il litorale di Capalbio (Fig. 5.13), che da Ansedonia si spinge fino alla foce del Torrente Chiarone – al confine con il Lazio – e che dai fiumi di questa regione riceve l'alimentazione, non presentava in quel momento problemi particolari.

Si evidenziavano oscillazioni della linea di riva (Fig. 5.14), in parte dovute alla migrazione delle megacuspidi che caratterizzano questa spiaggia, ma non vi erano preoccupazioni che motivassero interventi di difesa.

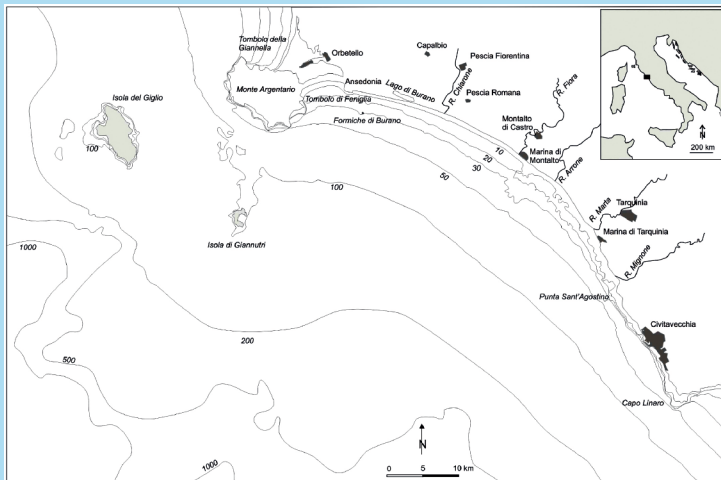


Figura 5.13. L'Unità fisiografica toско-laziale al cui limite settentrionale si estende la spiaggia di Capalbio.

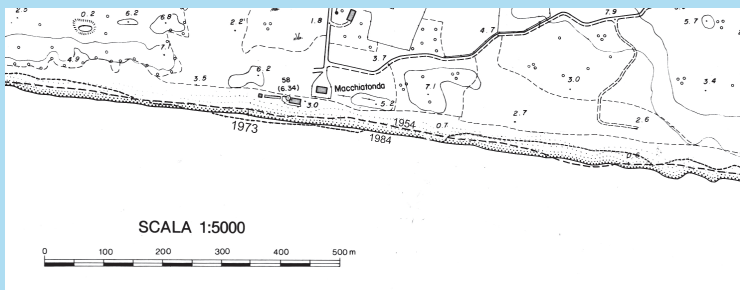


Figura 5.14. Stralci della Carta delle linee di riva della Regione Toscana (1989). Questo tratto corrisponde ai Settori n. 4, 5 e 6 del grafico seguente.

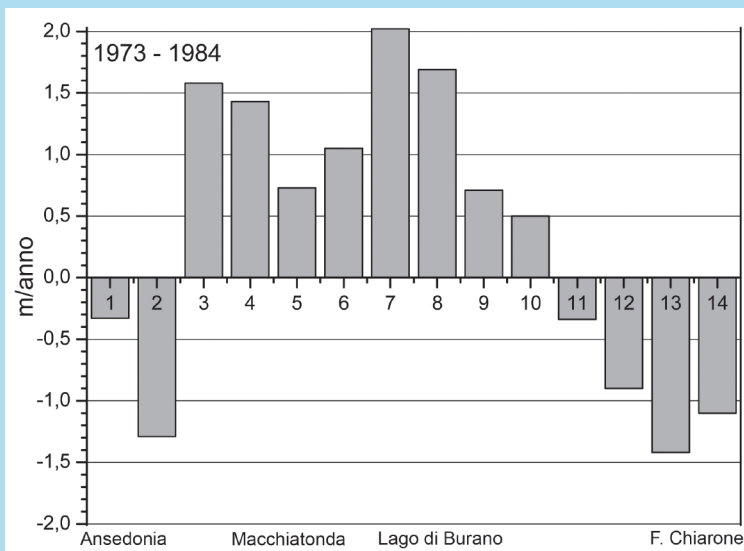


Figura 5.15. Tasso medio di spostamento della linea di riva fra il 1973 e il 1984 sul litorale di Capalbio.

La situazione però si stava modificando e in località Macchiatonda due stabilimenti balneari che, dopo una leggera progradazione avvenuta fra il 1973 e il 1984 (Fig. 5.15), distavano circa 40 metri dal mare, venivano sempre più spesso attaccati dalle onde, tanto che erano state poste delle difese in massi a protezione delle strutture.

Evidentemente i dati disponibili non avevano permesso di evidenziare questa criticità.

Nel 2004 la Regione Toscana inserì questo litorale nel Piano di difesa e la Provincia di Grosseto fece progettare un intervento nell'ambito del quale venne fatto anche un nuovo rilievo nel 2005. Il progetto venne basato sulla costruzione di tre setti sommersi realizzati in geocententori e su di un refluento di 140.000 m<sup>3</sup> di sedimenti dalla barra esterna alla riva; lavori che furono realizzati fra il Novembre 2009 e il Luglio 2010 su di 1 km di litorale.



Figura 5.16. La spiaggia di Macchiatonda nel 2007 (a sinistra) e nel 2012 (a destra) dopo due anni il ripascimento.

L'effetto dell'intervento fu positivo e duraturo (Fig. 5.16), ma purtroppo, anche in questo caso, non venne impostato un reale piano di monitoraggio per valutarne l'efficacia, in quanto la cifra a disposizione per i lavori non poteva essere utilizzata per azioni successive al collaudo. Furono così fatti rilievi occasionali, uno all'inizio ed uno alla fine dei lavori dalla ditta incaricata della realizzazione dell'opera (Ottobre 2009 e Luglio 2010), a cui fece seguito un rilievo effettuato da un'altra ditta su incarico della Provincia nel Maggio del 2011.

Nell'ambito del Progetto CAMP-Italy questo tratto di litorale venne inserito fra le zone di studio e nel 2016 venne realizzato un nuovo rilievo della linea di riva, dei fondali e dello stato dei geocontenitori.

Sebbene un'analisi accurata di quanto avvenuto non sia facile, i dati consentono di valutare positivamente l'intervento. È però evidente che mancano le informazioni per comprendere a pieno, prima come quell'erosione si sia sviluppata, e poi come l'intervento abbia modificato le dinamiche in atto. Ciò non rende possibile l'impostazione di un piano di manutenzione e il pieno utilizzo di questa esperienza per la redazione di piani di difesa analoghi in altre zone.

*Luigi E. Cipriani*





## Monitoraggio dello smantellamento del porto di Porticciolo

---

La spiaggia di Porticciolo, situata sulla costa orientale di Capo Corso, è una *pocket beach* molto incassata, delimitata lateralmente da una falesia frastagliata che presenta una notevole vulnerabilità. A causa di una mareggiata che, nel 2003, aveva distrutto la strada litoranea retrostante la spiaggia, il sito viene monitorato nell'ambito della ROL (Rete di Osservazione del Litorale Corso). La spiaggia è molto stretta e, fino al 2008, il piccolo porto posto a sud costituiva una profonda alterazione dell'equilibrio fra l'idrodinamica incidentale e la morfologia del litorale.

Il litorale presentava una grande variabilità interannuale (Fig. 5.17) legata alla presenza di cumuli di posidonia che, probabilmente, svolgono un ruolo importante nell'attenuazione dell'erosione costiera su questo sito.

A partire dal 2003, e fino al 2008, la spiaggia di Porticciolo (Fig. 5.18) è stata contraddistinta da una notevole variabilità morfologica e da una crescente vulnerabilità all'erosione del rilevato stradale della RD80 a causa di:

- il considerevole arretramento della linea di riva fra il 2005 ed il 2008;
- la progressiva scomparsa, a seguito della raccolta, dei cumuli di posidonia a fianco della scarpata della RD80, tanto che nel 2008 la posidonia era quasi assente dalla spiaggia;
- la scarsissima mobilità sedimentaria dell'avanspiaggia che può avere come conseguenza la difficoltà di ripristino naturale dell'arenile dopo episodi erosivi;
- un abbassamento dei bassi fondali compresi fra 0 e 2 m, e la scomparsa di un notevole accumulo sui fondali da 3 a 5 m nel 2008.

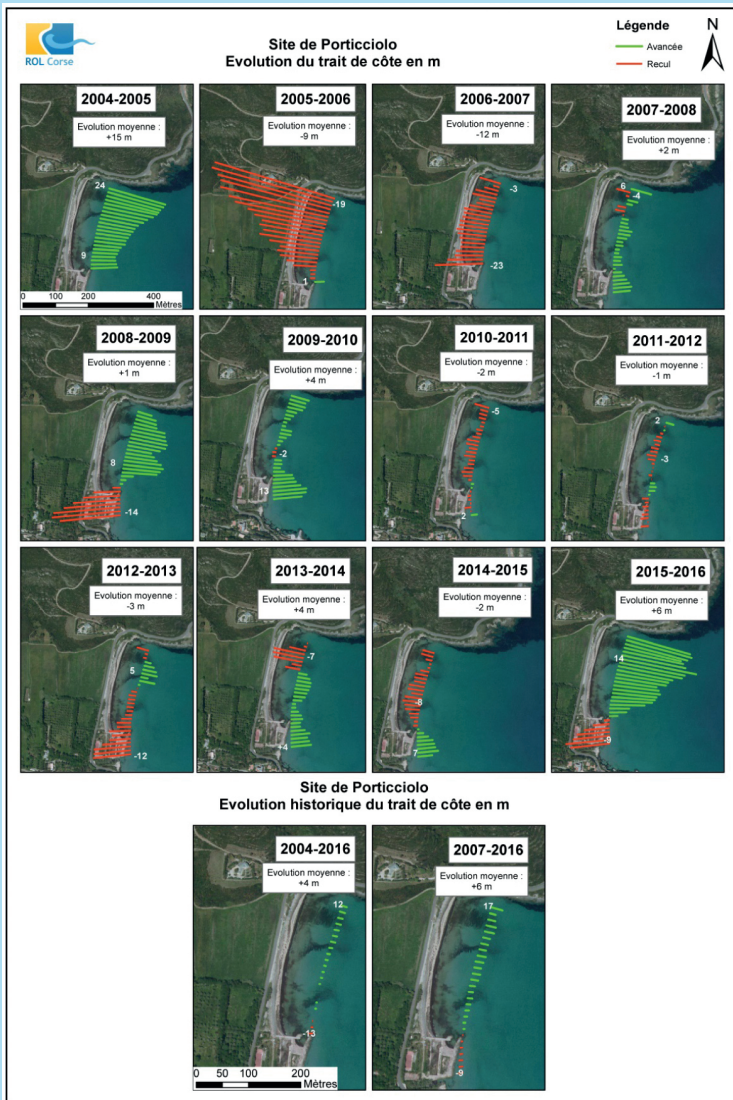


Figura 5.17. Il sito di Porticciolo: evoluzione storica della spiaggia.

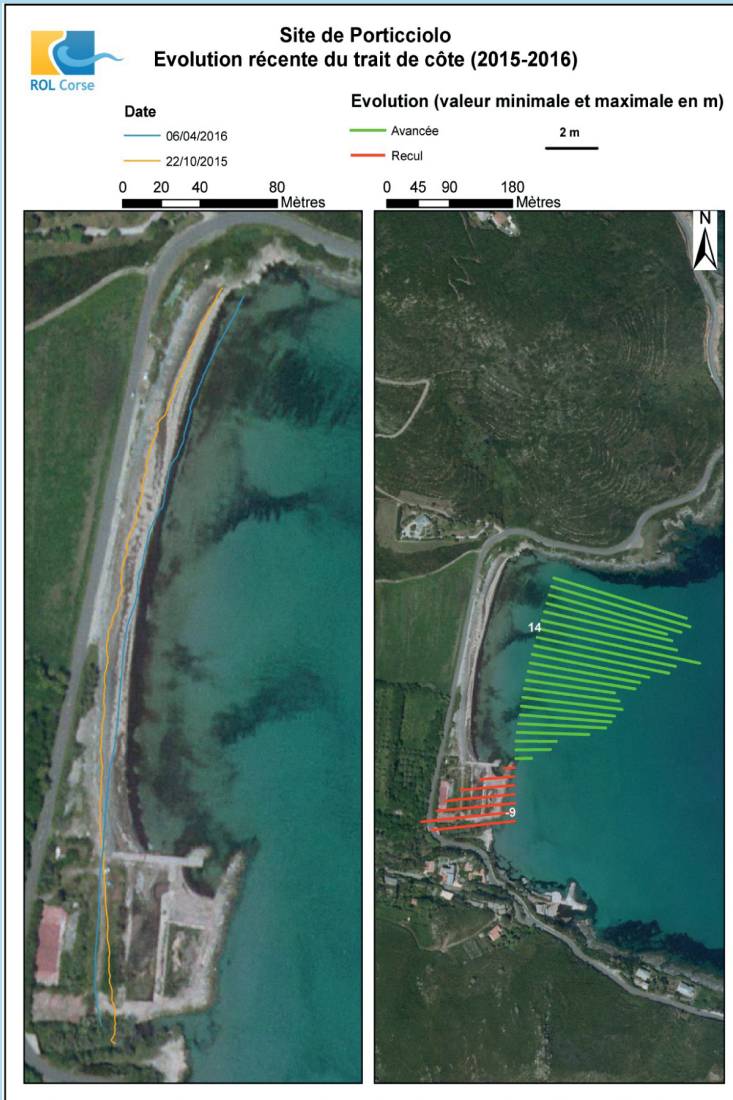


Figura 5.18. Il sito di Porticcio: evoluzione recente della spiaggia.

Nel 2008, è stato attuato un progetto al fine di ripristinare l'aspetto naturale del sito e per creare un tratto di costa più stabile della baia. Il porto è stato completamente smantellato.

A partire dal 2008, il sito è stato monitorato a cadenza annuale nell'ambito della ROL. Il monitoraggio ha consentito di evidenziare una maggiore stabilità del litorale, a seguito di una fase di adattamento caratterizzata dall'avanzamento del tratto di costa in tutta la baia.

Il monitoraggio realizzato viene anche utilizzato per stabilire delle raccomandazioni di gestione del sito, in particolare per quanto riguarda gli accumuli di posidonia.

I dati relativi agli ultimi 15 anni, sull'evoluzione della spiaggia emersa e dei fondali, sono a disposizione per l'impostazione di strategie di gestione di medio e lungo termine del litorale di Porticciolo e per la risoluzione delle problematiche del retrospiaggia.

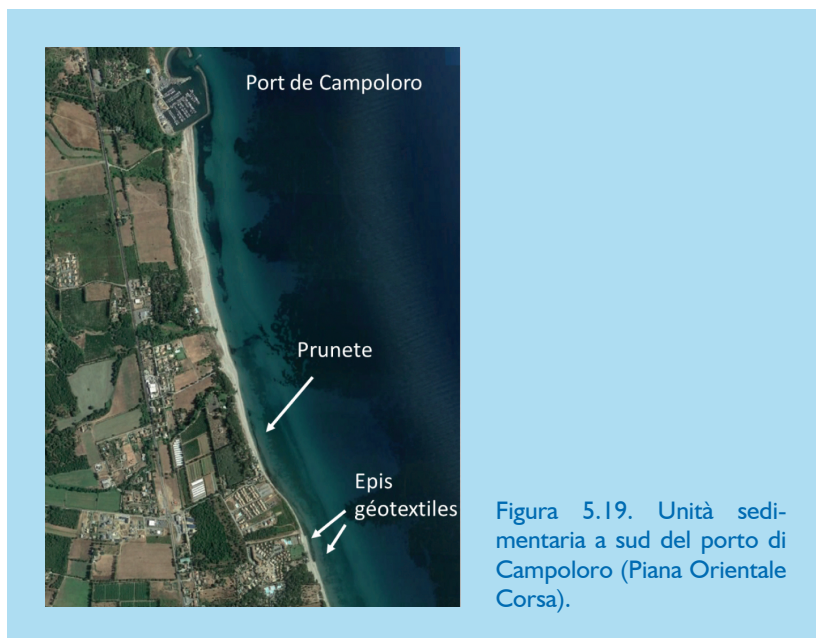
*Yann Balouin*

# Corsica



## Erosione e protezione della spiaggia di Prunete

La spiaggia di Prunete è ubicata sulla Piana Orientale Corsa, a sud del porto di Campoloro (Fig. 5.19), ed è monitorata nell'ambito della ROL a partire dal 2002. Storicamente, questo settore, posto sopraflutto rispetto al porto, trae vantaggio dall'intercettazione da parte di questa struttura dei sedimenti trasportati da sud verso nord dalla deriva litoranea. I rilievi realizzati all'inizio degli anni 2000 avevano evidenziato una buona stabilità del sito, con una spiaggia molto ampia a sud del porto (Fig. 5.20).





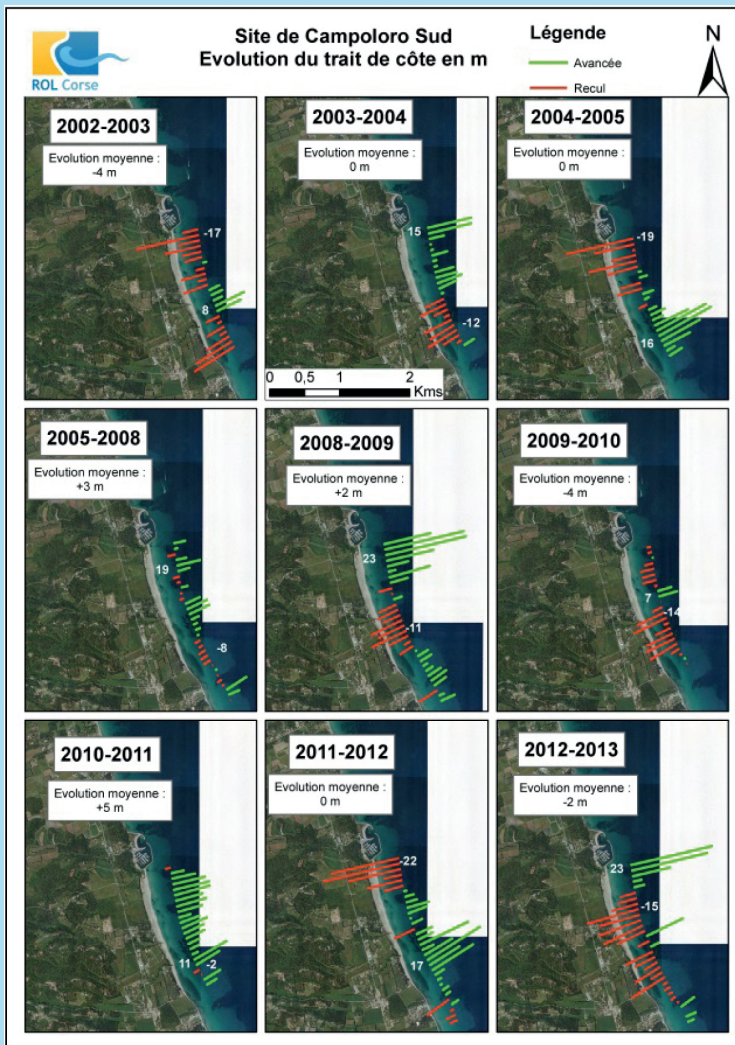


Figura 5.20. Evoluzione del tratto di costa nel settore posta a sud del porto di Campoloro.

Nel 2007, sono stati installati dei pennelli in geocontenitori nella parte meridionale della spiaggia, in corrispondenza dei campeggi che subivano una variabilità interannuale di larghezza dell'arenile, senza tuttavia presentare un'erosione preoccupante. Sono stati costruiti due pennelli trasversali al fine di limitare il trasporto di sedimenti verso nord, senza però la realizzazione di uno studio complessivo a livello di cella sedimentaria.

Malgrado non sia stato realizzato il monitoraggio specifico di queste opere, i monitoraggi della ROL hanno consentito di valutare l'evoluzione del tratto di costa a livello della cella idrosedimentaria.

Per quanto riguarda Prunete, il sito non trae più vantaggio dall'accumulo sopraflutto al porto, e la linea di costa, dopo una notevole espansione fino alla fine degli anni '90, è arretrata progressivamente nel corso degli ultimi 10 anni, ritornando, nel 2008, alla situazione del 1948. Nel 2009, vi è stata una leggera progradazione, forse in relazione all'inefficacia del pennello in geotessuto posto più a sud. Quest'ultimo, installato nel 2007, ha intercettato il trasporto verso nord (effetto visibile sulla linea di riva di 2008; Stépanian *et al.*, 2010, 2011), ma negli anni successivi la sua efficacia è probabilmente diminuita, determinando, in quel punto, la regolarizzazione della linea di riva nel 2009 ed il ripristino del trasporto sedimentario verso nord con l'alimentazione del settore di Prunete.

Malgrado non sia disponibile un'analisi specifica, i dati ottenuti nell'ambito della ROL evidenziano un'efficacia relativa della gestione con pennelli in geotessuto. Questi si sono deteriorati velocemente con le mareggiate, cosa che ha limitato l'intercettazione dei sedimenti e favorito l'alimentazione della spiaggia di Prunete. Tuttavia, la radice dei pennelli è sempre rimasta ben salda, e sembra aver avuto un effetto positivo sulla spiaggia meridionale, che ha mantenuto una buona larghezza. È ovvio che mancano le informazioni per comprendere il modo in cui la dinamica abbia potuto essere modificata da questi interventi o quale avrebbe potuto essere il dimensionamento più idoneo per le suddette opere. Resta difficile, in base a questo esempio, trarre insegnamenti per la gestione di altri settori con identiche problematiche di erosione.

*Yann Balouin*



## I geotessuti di La Capte

---

Le prime strutture di protezione costiera con geocontenitori traggono ispirazione da un'esperienza realizzata sulle rive del Lago Michigan (USA) alla fine degli anni '70. Il metodo è poi stato esportato in circa cinquanta Paesi. In Francia, tali strutture sono state installate per proteggere varie spiagge; sul litorale del Var, sono nati due progetti per la riduzione del moto ondoso con geocontenitori:

- nel 2008, una doppia struttura di tubi in geotessile è stata installata al largo della spiaggia di La Capte (Hyères);
- nel 2013, sacchi in geotessile sono stati disposti in modo da creare una diga sottomarina ad est della spiaggia di Cavalière (Lavandou).

### *I geocontenitori: descrizione ed obiettivi del metodo*

I geocontenitori sono strutture di ingegneria costiera e fluviale composte da una membrana (singola o doppia) in geotessuto riempite di sedimenti. Questa tecnica, ancora recente, è molto apprezzata per la sua grande reversibilità ambientale ed il costo di realizzazione, più economico di una struttura classica, in calcestruzzo o in scogli naturali. Questi criteri presentano anche dei vantaggi in un contesto di cambiamenti climatici con un ambiente in mutamento ed installazioni che diventeranno obsolete in futuro. Basati sullo stesso principio di funzionamento delle strutture classiche, i frangiflutti in geotessile, tuttavia, hanno caratteristiche diverse dalle strutture convenzionali e richiedono quindi studi specifici e riscontri sulle esperienze, per comprenderne il funzionamento.



A causa della sezione circolare e di un materiale composito più leggero rispetto a quello delle scogliere artificiali tradizionali, la questione della stabilità dei tubi in geotessile esposti al moto ondoso è stata affrontata in vari studi, analizzando i fenomeni di rotolamento, scivolamento e seppellimento. Tramite modellazioni, è stato dimostrato che una doppia linea di tubi in geotessuto presenta una migliore stabilità ed anche un maggiore assorbimento dell'energia del moto ondoso. La stabilità è inoltre influenzata dalle proprietà del materiale di cui è composto il tubo, dalla tensione della tela e dalla sua permeabilità, più che dalla forma del contenitore stesso. Anche la pressione esercitata sul geotessuto (relativa al suo tasso di riempimento) è un elemento di cui tenere conto, per evitare eventuali lacerazioni. Inoltre, la sezione semicircolare del tubo in geotessile implica fenomeni di riflessione e di dissipazione, ma anche di scalzamento.

I riscontri dalle esperienze coi tubi in geotessile sono ancora scarsi. Alcuni studi ne raccomandano l'installazione in zone a bassa energia e lieve escursione della marea. È inoltre necessario un determinato tempo di adattamento morfologico prima di poter trarre conclusioni. I geocontenitori hanno, a parità di forma, la stessa efficacia delle scogliere artificiali, ma consentono di limitare notevolmente i costi di installazione e di manutenzione. Le operazioni di posizionamento, in effetti, richiedono meno mezzi: sono necessarie poche attrezzature ed i materiali sono trasportabili con autocarri leggeri. Infine, i geosistemi sono installabili velocemente in caso di emergenza e consentono di ridurre al minimo i danni causati alla spiaggia in caso di forti mareggiate. Tuttavia, tali opere sono soggette a lacerazioni, in particolare durante le mareggiate. Le ispezioni possono riscontrare incisioni di entità minima, volontarie o meno, come nel caso di quelle prodotte dalle eliche di un'imbarcazione.

Infine, pur essendo più semplice rimuovere dei geocontenitori rispetto a strutture in calcestruzzo o scogliere artificiali, il costo dei lavori, tuttavia, può rivelarsi considerevole: secondo il BRGM, potrebbe essere pari alla metà del costo di installazione.

## Descrizione del sito di La Capte e problematiche

La spiaggia di La Capte è situata sul ramo orientale, molto urbanizzato, del doppio tombolo della penisola di Giens. Si estende su circa 2 km, fra il porto turistico di La Capte, a nord, e la spiaggia della Bergerie a sud (Fig. 5.21). Si tratta di una spiaggia sabbiosa a scarsa pendenza e dissipativa, che presenta sul proprio profilo una piccola barra vicina a riva. È tuttavia indebolita dall'assenza di cordone dunare e da una larghezza che non consente di assorbire gli eventi meteomarini più importanti: in effetti è delimitata da un muro di sostegno a protezione di alcune case aventi accesso diretto alla spiaggia. Inoltre, è esposta direttamente ad est, direzione dalla quale provengono mareggiate particolarmente intense.

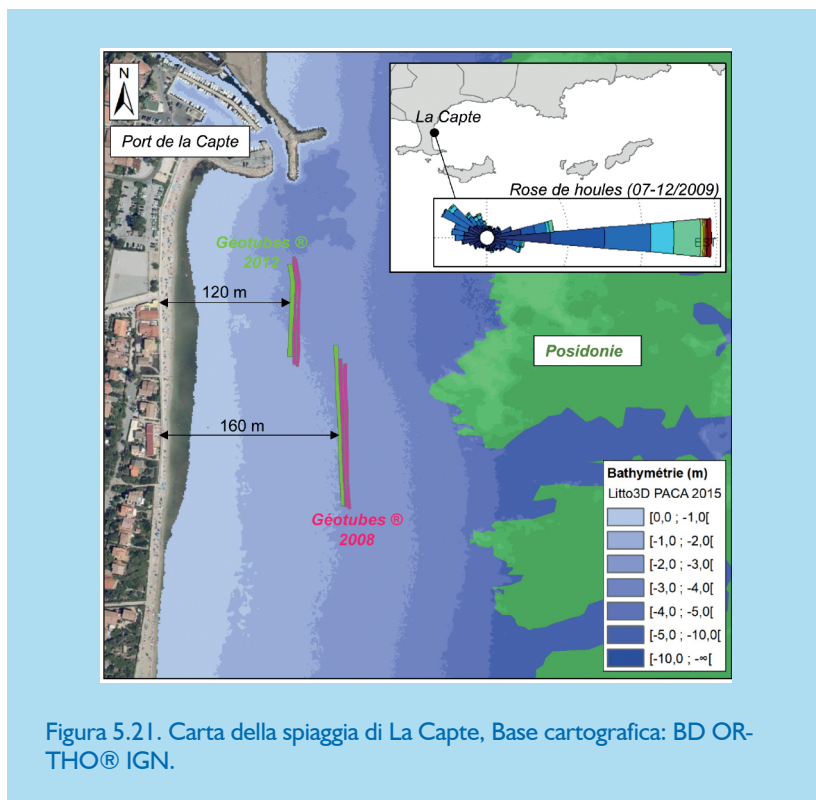


Figura 5.21. Carta della spiaggia di La Capte, Base cartografica: BD ORTHO® IGN.

La spiaggia di La Capte appartiene al sito classificato della penisola di Giens ed è situata nelle immediate vicinanze della “Pineta di La Capte”, area protetta in quanto Zona Naturale ad Interesse Ecologico Faunistico e Floristico (ZNIEFF). A poche centinaia di metri da riva vi è anche un’ampia prateria di posidonia oceanica: si tratta del sito Natura 2000 della Rada di Hyère, che ospita una delle 5 scogliere con posidonia del Mediterraneo.

La penisola è un luogo ad elevata frequentazione turistica durante la stagione estiva. Trae vantaggio dall’ambiente attraente della Costa Azzurra e dalla vicinanza delle riserve naturali di Port-Cros e Porquerolles. Questo turismo è basato, quindi, su punti di forza naturali, in particolare le spiagge, principalmente sabbiose e quindi idonee ad una utilizzazione di tipo balneare.

### *Dinamiche sedimentarie precedenti*

Nel XIX secolo, l’attuale porto di La Capte era solo un canale che consentiva l’alimentazione con acqua di mare delle saline di Les Pesquiers. L’attività delle saline attualmente ha solo una funzione didattica ed ornitologica. Meulé (2010) rammenta che «il porto di La Capte, costruito fra il 1950 ed il 1955, a sud del canale di alimentazione delle saline di Les Pesquiers, contribuisce quindi al blocco del flusso sedimentario litoraneo. Dal 1971 al 1978 vengono costruite delle estensioni del molo di sopraflutto del porto per 80 m (Courtaud, 2000)». L’accesso alla darsena è protetto da due dighe, che hanno provocato una notevole erosione della spiaggia posta a sud del porto, ed un accumulo sedimentario a nord. In effetti, lungo il ramo orientale del tombolo, il trasporto sedimentario dominante avviene da nord verso sud (Capanni, 2011).

L’erosione si manifesta anno dopo anno con il restringimento della spiaggia emersa, che raggiunge un’estensione minima al termine della stagione invernale. I venti da est provocano uno spostamento dei sedimenti verso il porto di La Capte, dove ora sono posti i geocontenitori, mentre più a sud, fuori dall’area d’influenza del porto, i sedimenti si accumulano un po’ più al largo e, nel periodo estivo, possono tornare

verso riva. Per contro, i venti da nord-est accentuano la deriva litoranea, spostando la sabbia verso sud, che è quindi definitivamente persa per La Capte.

Dal 1999 al 2007, nel mese di maggio, il comune ha provveduto a realizzare ripascimenti di sabbia proveniente dall'accumulo sedimentario ad est del porto di La Capte (12000 m<sup>3</sup>/anno). Tuttavia, la sabbia di tale accumulo è più fine ( $D_{50}$  di 0,12 mm) rispetto a quella naturalmente presente sulla spiaggia, il cui  $D_{50}$  è di circa di 0,25 mm.

### *Messa in opera dei geocontenitori*

Nel 2006, BCEOM ha realizzato uno studio per conto del comune ai fini di proporre un'alternativa duratura ai ripascimenti della spiaggia, avente, lo scopo di:

- limitare gli impatti degli interventi di mantenimento del tratto di costa sulla prateria di posidonia;
- trovare il modo di risparmiare rispetto ai ripascimenti annuali di sabbia sulla spiaggia;
- ridurre i fastidi dovuti ai lavori di riporto per le zone residenziali limitrofe;
- stabilizzare il tratto di costa.

È stata così proposta una difesa del litorale basata su geocontenitori posti sui fondali antistanti e paralleli alla costa.

Alla luce della natura sperimentale delle strutture proposte da BCEOM, la città di Hyères ha voluto coinvolgere un istituto scientifico al fine di comprendere al meglio la modifica dei processi idrosedimentari connessi con l'attuazione di questa soluzione. Per tale scopo, il Comune ha finanziato il progetto IMAHGEO (Installazione di Attenuatore di Moto Ondoso in GEOTessile) coinvolgendo il CEREGE<sup>1</sup>.

Lavori di ricerca e rilievi sul campo sono stati effettuati prima del posizionamento dei tubi, fra il 2007 ed il 2008, e completati da un monitoraggio successivo all'installazione fra il 2008 ed il 2009: la relazione

---

<sup>1</sup> Centro Europeo di Ricerca e di Insegnamento in Geoscienze Ambientali (CNRS, Università di Aix-Marsiglia).

finale di IMAHGEO è stata pubblicata nel 2010 (Meulé, 2010). A completamento di questa collaborazione, il progetto comprende anche un monitoraggio regolare dell'evoluzione della prateria effettuato dal GIS Posidonie.

Al momento del posizionamento dei geocontenitori, la spiaggia di La Capte ha tratto vantaggio da un abbondante riporto di sabbia di cava, spianata e lavata, con un  $D_{50}$  pari a 0,44 mm (in conformità con le raccomandazioni espresse dal BCEOM). Tuttavia, la relazione stilata nel 2015 mostra che tale sabbia è stata velocemente spostata verso il largo dai fenomeni di erosione: solo la porzione del riporto presente sulla parte alta della spiaggia, fuori dalla portata *run-up* delle mareggiate, è rimasta al proprio posto.

Le caratteristiche iniziali dei geocontenitori installati sono descritte in dettaglio da Meulé (2010) come segue: «I Géotubes® sono composti da due sezioni di lunghezza differente (sezione nord di 100 m; sezione sud di 150 m). Ogni sezione è a sua volta formata da 2 tubi affiancati in geotessile da 1,80 m di diametro, ed un'altezza finale di circa 1,00 m. L'insieme dei tubi è adagiato su di un tappeto antiscalfamento (della larghezza di 10,50 m, affiancato da tubi di ancoraggio da 0,50 m di diametro)» (Fig. 5.22) La sommergezza è, in media, di 1,15 m (nord) e 1,50 m (sud). Gli elementi sono riempiti con sedimenti provenienti dalla spiaggia posta a nord del porto di La Capte.

Il monitoraggio topobatimetrico realizzato nel 2009 ha consentito di constatare l'efficacia del tappeto antiscalfamento, in quanto le quote riscontrate sulla cresta delle due strutture sono state di 1,12 m (nord) e 1,36 m (sud) in media, a dimostrazione, quindi, di una notevole stabilità dei tubi (Meulé, 2010).

Il monitoraggio idrodinamico pone in rilievo che «le strutture in geotessuto hanno effetti diversificati a seconda dell'intensità del moto ondoso. Le onde superiori a 80 cm subiscono un fenomeno di *shoaling* seguito da una dissipazione, che porta ad una riduzione dell'altezza significativa di 25 cm. Le onde più basse risentono in modo minore delle strutture. Di conseguenza, il tubo geotessile potrà esercitare la propria azione di attenuatore in caso di mareggiate decennali o secolari, ma la sua azione sulle mareggiate annuali sarà limitata» (Hyères, 2017).

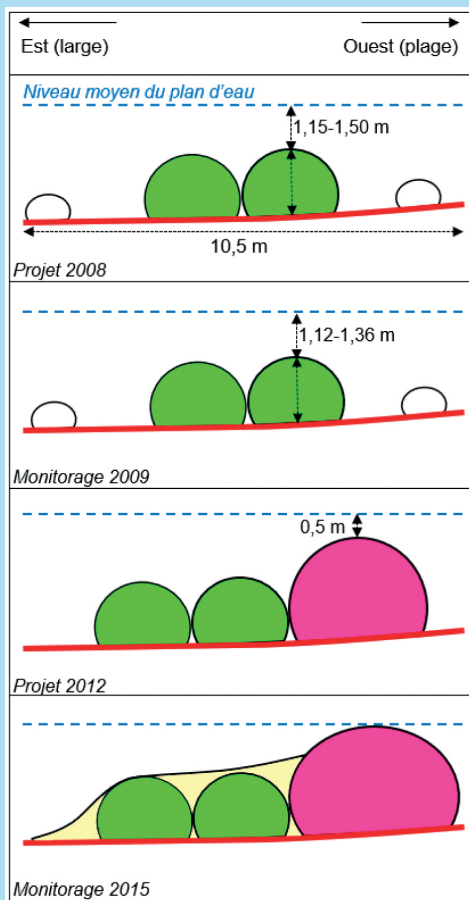


Figura 5.22. Sezione schematica dei Géotubes® di La Capte: comparazione fra situazione progettata e monitorata.

A seguito di diversi studi, il Comune ha deciso di provvedere, nel 2012, ad una modifica del progetto aggiungendo una terza fila di tubi in geotessuto, di dimensioni maggiori – 3,00 m di diametro – che vanno ad affiancare sul lato spiaggia i tubi posizionati nel 2008 su 250 m (100 + 150 m). L'altezza della colonna d'acqua prevista al di sopra dei tubi è di 50 cm (mentre è superiore a 1,00 m per il geosistema iniziale).

Un'ispezione nel 2015 ha riscontrato che tale terza fila di tubi è affiorante e che la loro altezza dopo la posa è di 1,80 m, per una larghezza di 3,80 m (Bessières e *al.*, 2015). Ma soprattutto, i tubi in geotessile iniziali installati nel 2008 sono seppelliti per il 95% sotto uno strato di sedimento.

Il monitoraggio della prateria di posidonia non ha rivelato alcun impatto del progetto: non c'è stata regressione della loro superficie e la stabilità temporale dei parametri vitali misurati sembra indicare l'assenza di danni strutturali.

In definitiva, il sistema di tubi in geotessile di La Capte è stato oggetto di un monitoraggio completo (topobatimetria, biocenosi, idrodinamismo): malgrado sia ovviamente perfezionabile, questo monitoraggio consente di valutare l'impatto dei Géotubes® sulla spiaggia di La Capte.

*Nastassia Bateau, Morgane Jolivet, Benjamin Kulling*



### *Il drenaggio della spiaggia: descrizione e principi del metodo*

Il drenaggio della spiaggia è stato concepito negli Stati Uniti negli anni '70, poi brevettato nel 1991 in Danimarca. In Francia, vari progetti pilota di Ecoplage® sono stati attuati a partire dalla fine degli anni '90. Due sono situati sul litorale del Var: sulla spiaggia di Agay, a Saint-Raphaël, e sulla spiaggia della Garonnette, a Sainte-Maxime.

#### *Obiettivi*

La procedura Ecoplage® consiste nel sotterrare un tubo drenante parallelo a riva in corrispondenza della battigia, ad una profondità variabile a seconda delle condizioni del sito. Il tubo di drenaggio è collegato ad un pozzo in cui una pompa preleva l'acqua e la riversa al largo (Fig. 5.23). La desaturazione della sabbia favorisce l'infiltrazione dell'acqua di *run-up* e quindi la deposizione dei sedimenti. Questa procedura consente di soddisfare vari obiettivi:

- aumentare la larghezza della spiaggia emersa, favorendo la sedimentazione di sabbia a livello della zona intertidale;
- limitare l'arretramento della linea di riva, riducendo la superficie di impatto dell'onda tramite un abbassamento del livello della falda;
- favorire lo sviluppo naturale del profilo della spiaggia, senza l'apporto esterno di sedimenti.

#### *Campi di applicazione*

Come tutti i sistemi morbidi di lotta contro l'erosione, il drenaggio della spiaggia non può essere applicato su qualunque tipo di litorale.



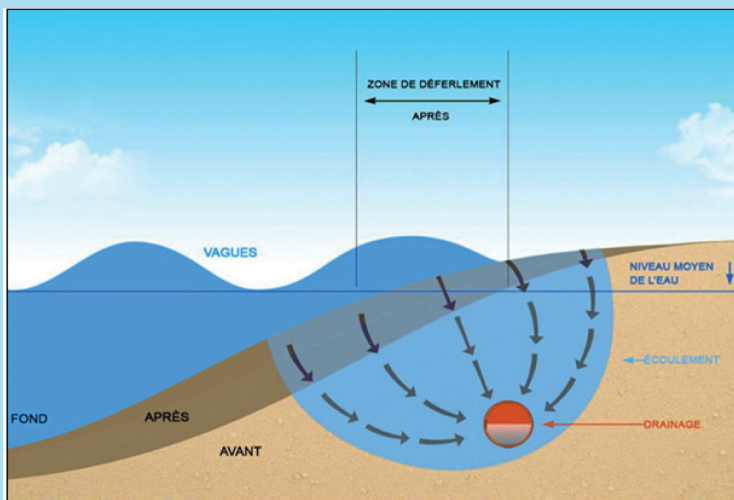


Figura 5.23. Schema di funzionamento del condotto di drenaggio della spiaggia Ecoplage®.

Per consentire il buon esito del progetto, devono essere presenti le seguenti condizioni:

- esposizione alle onde da lieve a moderata;
- regime di marea microtidale;
- scarse variazioni stagionali del profilo della spiaggia;
- erosione minima a lungo termine.

Pertanto, la procedura può essere applicata solo su di una spiaggia che subisce una lenta erosione, ma le cui problematiche economiche, ambientali o umane rendono necessaria l'adozione di misure per proteggerla.

#### *Contributi e limiti del metodo*

I sistemi di drenaggio dipendono dall'alimentazione elettrica: in caso di evento meteorologico estremo, un'interruzione di corrente implica l'arresto del sistema, quando non ne viene direttamente danneggiato. Inoltre, durante i lavori di posizionamento, la trincea realizzata per collocare il tubo drenante può provocare l'indebolimento della spiaggia ed un'erosione a breve termine. Questo problema, tuttavia, non

riguarda solo Ecoplage®: qualunque opera di protezione implica effetti dovuti ai cantieri.

Il principale vantaggio di questo sistema di difesa del litorale consiste nella totale assenza di impatto visivo, salvaguardando quindi la qualità paesaggistica e l'attrattività del sito.

### Descrizione del sito di Agay e problematiche

Lambert *et al.* (2007) forniscono questa descrizione del sito: «La spiaggia di Agay presenta una forma ad arco di cerchio caratteristica delle *pocket beach*. Si sviluppa in senso ovest-est ed è quindi aperta verso sud. È delimitata su entrambi i lati da formazioni rocciose che impediscono qualsiasi sviluppo laterale e bloccano la redistribuzione delle sabbie della spiaggia. Si estende per circa 1 km di lunghezza, per una distanza da un margine all'altro di 825 m. La spiaggia emersa confina, per tutta la sua estensione, con pareti riflettenti: edifici ad ovest della foce, per 650 m dal muro di sostegno della strada dipartimentale 559, poi da una scarpata rocciosa ad est. Questi elementi rigidi limitano la larghezza della spiaggia emersa, che si restringe, da più di 35 m a soli 2 m, procedendo da ovest verso est. L'Agay, che fiancheggia la spiaggia sul lato occidentale, costituisce il principale apporto sedimentario, ma ha una scarsa capacità di portata solida» (Fig. 5.24).

Le caratteristiche idrodinamiche del sito sono *a priori* ideali per l'adozione di un sistema Ecoplage®: la posizione al fondo della baia tende ad attenuare l'azione del moto ondoso ed il regime di marea è di tipo microtidale, con un'escursione massima di 0,4 m. Inoltre, la spiaggia subisce una notevole pressione antropica a causa della sua posizione in zona urbana e della sua attrattività turistica.

Alle suddette problematiche umane ed economiche, si vanno ad aggiungere vincoli ambientali: in effetti, la rada di Agay è registrata come sito classificato Natura 2000; in particolare, ospita degli esemplari di *Pinna Nobilis* così come una barriera di scogli con posidonie: si tratta della «quinta struttura di questo tipo nota nel Mediterraneo ed è una delle meglio conservate»<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> <http://esterel.n2000.fr/site-natura-2000-de-l-esterel/cap-au-large>.

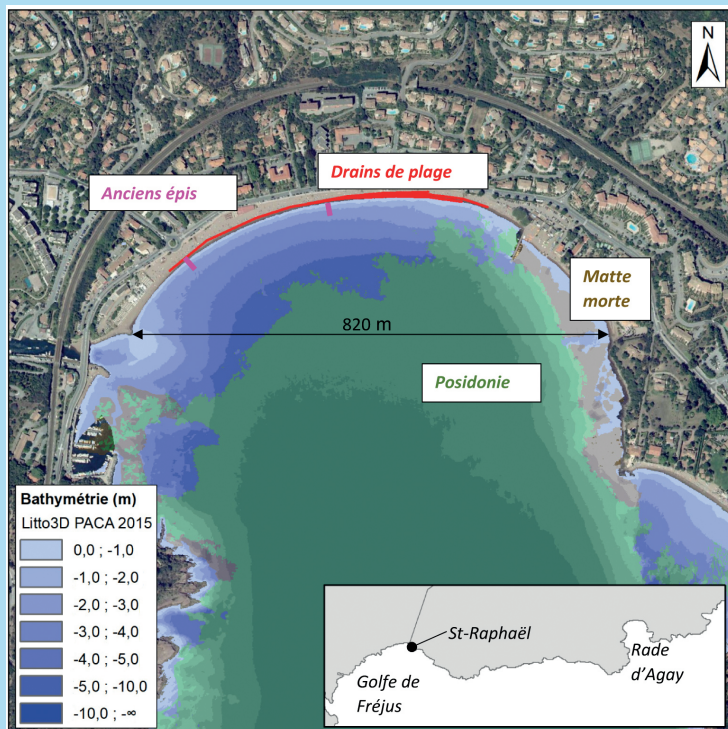


Figura 5.24. Carta schematica della baia di Agay. Base cartografica: BD ORTHO® IGN.

Tuttavia, la vegetazione sottomarina è deteriorata dagli ancoraggi delle barche da diporto e dalle operazioni consecutive di ripascimento della spiaggia a partire dagli anni '70.

La spiaggia di Agay è quindi un sito ideale per l'Ecoplage®: non subisce un'erosione critica, ma i suoi aspetti economici ed ambientali ne consigliano la salvaguardia.

## Dinamiche sedimentarie precedenti

Nel corso degli anni '70 sono stati realizzati i primi interventi sulla spiaggia del golfo ai fini di contrastare una notevole dinamica erosiva: dal 1950 al 1975, mediamente la spiaggia è arretrata di 5 m nel lato orientale della baia, e di 25 m su quello occidentale (Lambert *et al.*, 2007). Questa constatazione ha incentivato la realizzazione di due pennelli nel 1976 e l'attuazione di interventi di ripascimento dell'entità di 3.000 m<sup>3</sup>/anno in media.

Fra il 1976 ed il 1998, la linea di riva è avanzata verso il largo, in media di 1,5 m rispetto al 1950. Questo dato, tuttavia, presenta delle irregolarità: la parte occidentale e centrale della spiaggia, dove sono stati installati i pennelli, è avanzata di 7 m, ma ad est la tendenza erosiva è seguita con un arretramento dell'ordine di 2 m (Lambert *et al.*, 2007).

Gli interventi e i ripascimenti hanno compensato parzialmente l'erosione, ma hanno avuto un'efficacia estremamente localizzata ed esclusivamente a breve termine. In effetti, in totale, per il periodo 1950-1998, si riscontra un arretramento medio di 5 m.

## Posizionamento dell'Ecoplage®

Il sistema, installato a febbraio 2004, è composto da:

- un tubo drenante in PVC da 600 m sepolto ad una profondità di 2 m sotto la zona intertidale, abbinato ad un collettore a gravità;
- una pompa idraulica, per garantire il rigetto in mare dell'acqua a 50 m dalla costa attraverso una condotta sottomarina.

L'installazione dell'Ecoplage® è costata 710.000 € (esclusi studio di fattibilità, studio di impatto ambientale e monitoraggio); la manutenzione annuale della struttura (esclusi i lavori di riparazione) dovrebbe ammontare a 5-6.000 € (Lambert *et al.*, 2007). A titolo comparativo, il costo annuo degli interventi di ricarica della spiaggia è stimato in 80-120.000 €. Ci vorrebbero quindi dai 6 a 10 anni circa prima che il sistema sia vantaggioso rispetto al classico ripascimento.

Un monitoraggio topobatimetrico è stato realizzato per 2 anni, prima e dopo l'installazione del drenaggio (da gennaio 2003 a gennaio

2005), con 19 profili di spiaggia che vengono rilevati ogni mese. Questo monitoraggio è completato da una campagna di ricerca sul posto, molto localizzata, della durata di 4 giorni, in cui vengono realizzati dei MNT (*Modelli Numerici del Terreno*) ad alta risoluzione per analizzare accuratamente l'impatto del sistema di drenaggio sulle microforme sedimentarie e sulla falda freatica.

La particolarità del sistema di drenaggio, rispetto alle altre tecniche morbide, è che i suoi effetti sullo stato del litorale sono visibili molto rapidamente. In effetti, sulla base dell'MNT ad alta risoluzione, Lambert *et al.* (2007) hanno riscontrato che in sole 24 ore «la zona intertidale presenta un accrescimento verticale di circa quindici centimetri, mentre nel corso di tale periodo si ha un approfondimento della zona antistante. Ciò significa un avanzamento da un metro ad un metro e cinquanta circa del tratto di costa verso il largo». Allo stesso tempo, il livello della falda freatica nella spiaggia si è abbassato di 10 cm.

Secondo Lambert *et al.* (2007) «esiste quindi, una chiara correlazione fisica fra l'abbassamento della falda e lo stato del tratto di costa». Ma «queste conclusioni, tuttavia, sono state ottenute per un periodo di tempo relativamente omogeneo dal punto di vista delle dinamiche marine: l'altezza significativa del moto ondoso registrato all'esterno della baia è compresa fra 0,4 e 0,8 m per i 4 giorni di misurazione, mentre, per quanto riguarda l'escursione di marea, è stata inferiore a 0,25 m».

Nel 2007, Lambert *et al.* hanno concluso che «la prosecuzione del monitoraggio (...) rimane tuttavia necessaria per qualche altro anno, prima di potersi pronunciare sull'efficacia a lungo termine di questo metodo».

Malgrado le raccomandazioni, il monitoraggio topobatimetrico *in-situ* della spiaggia di Agay non è proseguito oltre il gennaio del 2005.

Tuttavia, l'analisi delle variazioni della linea di riva tramite fotointerpretazione fra il 1998 ed il 2014 mostra che la dinamica erosiva naturale è di nuovo dominante, con un accrescimento della parte occidentale della spiaggia a spese di quella orientale, in arretramento.

Inoltre, le osservazioni sul posizionamento del sistema Ecoplage® nella baia di Agay sono potenzialmente distorte da:

- la concomitante rimozione dei pennelli perpendicolari alla riva;
- un intervento di dragaggio realizzato accidentalmente nelle vicinanze della riva prima dei lavori.

Pertanto, è difficile valutare con precisione, da un lato, l'effetto del drenaggio della spiaggia, e dall'altro, della rimozione dei pennelli. Peraltro, l'analisi delle tendenze evolutive della spiaggia effettuata per lo studio di fattibilità implica anch'essa potenziali distorsioni alla luce degli "interventi regolari dei comuni" (Lambert *et al.*, 2007).

Per quanto riguarda l'aspetto paesaggistico, è complesso quantificare il plusvalore apportato da questo intervento, tanto più che i pennelli spesso sono ritenuti parte del paesaggio litoraneo.

Infine, va sottolineato che nel 2011 il sistema ha subito gravi danni a seguito di una mareggiata: il costo dei lavori di riparazione, effettuati due anni dopo, nel 2013, non è noto.

*Nastassia Bateau, Morgane Jolivet, Benjamin Kulling*

### Riferimenti bibliografici

BCEOM, 2006. *Studio per la salvaguardia della spiaggia di La Capte, relazione fase 3: definizione degli scenari di protezione.*

Bessières M., Chabran-Poete E., Fort G., Messineo G., Ortelli M., Paoli E., 2015. *Studio di impatto a seguito del rialzamento dei Geotubi® nel 2012 sulla spiaggia di La Capte a Hyères (83).* Memoriale di master I, Università di Aix-Marsiglia.

Capanni R., 2011. *Studio e gestione integrata dei trasferimenti sedimentari nel sistema Gapeau/rada di Hyères.* Tesi di dottorato, Università di Aix-Marsiglia.

Courtaud, J., 2000. *Dinamiche geomorfologiche e rischi litoranei. Caso del Tombole di Giens (Var, Francia meridionale).* Tesi di dottorato, Università della Provenza Aix-Marsiglia I.

Hyères, Comune di, 2017. *Piano triennale di riporto di sabbia sulle spiagge della cella idrosedimentaria La Badine – La Capte, 2017-2019.* Fascicolo di presentazione (Allegato richiesta di esame caso per caso F09317P0107).

Lambert A., Rey V., Provansal M., Samat O., Sabatier F., 2007. *Lotta contro l'erosione litoranea: efficacia dei metodi di stabilizzazione tramite drenaggio della spiaggia, il caso della baia di Agay, Var.* Mediterraneo, n° 108, pp. 105-117.

Meulé S., 2010. *Installazione di Attenuatore di Moto Ondoso in GEOTessile: Monitoraggio scientifico della spiaggia di La Capte, Hyères, Var: Strumentazione, Modellazione.* Relazione finale, 230 p.

Meulé S., 2010. *Implantation d'Atténuateur de Houle en GEOTextile : Suivi scientifique de la plage de La Capte, Hyères, Var: Instrumentation, Modélisation, Rapport final.*



Il progetto per la Messa in Sicurezza del Litorale antistante il Forte Village Resort, in Località S. Margherita di Pula (CA), è stato commissionato dalla M.I.T.A. Resort S.r.l., la società che gestisce questa struttura turistica, per porre rimedio alla riduzione dell'antistante arenile.

Al fine di attenuare l'energia delle onde di sud-est incidenti sul litorale, è stato studiato un sistema di barriere soffolte costituite da geocontenitori riempiti di sabbia da posizionare negli specchi acquei antistanti la struttura alberghiera.

Il progetto, dopo aver ottenuto tutte le autorizzazioni previste, è stato realizzato a partire dal 19 marzo 2009 e si è concluso il 9 giugno 2009.

Le ipotesi progettuali sono state supportate da analisi propedeutiche tra cui:

- rilevamento e monitoraggio diretto del moto ondoso e della corrente tramite un sensore acustico automatico effettuato dal 1 dicembre 2005 al 16 giugno 2006;
- rilievo batimetrico e morfologico dei fondali, nonché rilievo topografico della spiaggia emersa;
- caratterizzazione tessiturale del litorale con analisi dirette sui sedimenti;
- caratterizzazione bionomica del fondale marino;
- simulazione con modello numerico dei processi idrodinamici che caratterizzano il litorale, calibrato con dati raccolti nei punti di campionamento;
- simulazione con modello numerico di alternative progettuali per poter determinare la migliore condizione di equilibrio.

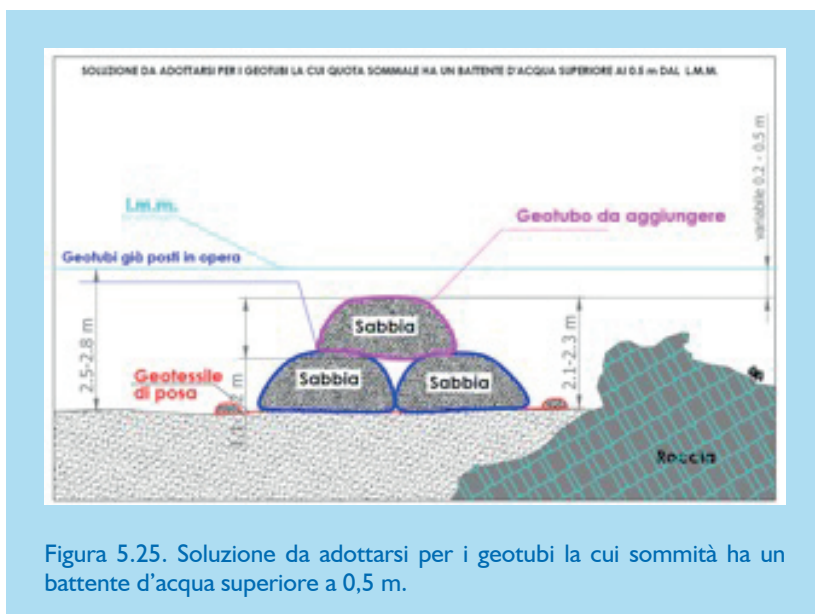


Figura 5.25. Soluzione da adottarsi per i geotubi la cui sommità ha un battente d'acqua superiore a 0,5 m.

Dopo l'esame di varie alternative, la soluzione ottimale è risultata essere la protezione del litorale con barriere soffolte orientate perpendicolarmente al flusso di energia del moto ondoso medio annuo ( $137^\circ$  nord) distanti mediamente 125 metri dalla linea di riva e imbasate ad una profondità media di 3 metri (Fig. 5.25).

Esse sono state posizionate in modo da completare il sistema di affioramenti rocciosi che in parte creano una protezione naturale del litorale. Ove possibile, sono state poste sul fondale sabbioso in modo da non interferire con l'ecosistema marino, così come indicato dal consulente biologo del progetto, e comunque in prossimità degli affioramenti rocciosi per limitare i fenomeni di erosione che si creano al piede delle barriere e che ne possono compromettere la stabilità e quindi l'efficacia.

Tra una barriera e l'altra erano previsti varchi per consentire il passaggio di natanti, la circolazione delle acque per evitare fenomeni di stagnazione, l'accumulo di sedimenti fini ed un corretto equilibrio tra la portata di tracimazione e quella di ritorno attraverso i varchi.

Il posizionamento dei rilievi topografici della spiaggia emersa, della linea di riva, dei punti di prelievo dei sedimenti e dei rilievi marini è sta-



to effettuato grazie all'utilizzo di GPS in modalità RTK. L'acquisizione della batimetria dei fondali è avvenuta in due distinte fasi lavorative che hanno richiesto l'utilizzo di due diverse tipologie di sonar. La prima, a causa della presenza di numerose secche affioranti e del basso fondale, è stata quella del rilievo della fascia batimetrica compresa fra 1.0 m e 2.5 m eseguito con un piccolo natante equipaggiato con un ecoscandaglio *singlebeam* ad alta frequenza; la seconda è consistita nel rilievo con un ecoscandaglio *multibeam* della spiaggia sommersa a partire dalla quota precedente fino alla batimetrica dei 25 m.

Il rilievo della linea di riva si è svolto contemporaneamente al monitoraggio del moto ondoso e delle correnti da esso indotte, ed è stato ripetuto più volte durante l'inverno all'interno di uno spazio-temporale di circa 6-7 mesi.

Con riferimento alla Delibera N. 33/7 del 5.9.2007 avente per oggetto la "Procedura di verifica ai sensi dell'art. 31 della L.R. 18.1.1999 n. 1 e s.m.i. e della Delib. G.R. 15.2.2005 n. 5/11 e s.m.i. relativa al "Progetto per la messa in sicurezza del litorale antistante il Forte Village Resort" proponente MITA Resort.", è stato svolto un piano di monitoraggio triennale della morfologia della spiaggia emersa e sommersa, della Posidonia oceanica e delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti.

L'area di monitoraggio di dettaglio ha compreso, per la spiaggia emersa, il tratto lungo 300 m direttamente difeso dalle barriere sommerse; un tratto orientale di ~ 300 m ed un altro occidentale di ~ 400 m per un totale di circa 1000 m per la spiaggia sommersa, una fascia di circa 600 m, tale a comprendere il limite di chiusura della spiaggia, ovvero estendersi a tutto il profilo attivo. La scelta di tale area è avvenuta in base ai risultati delle simulazioni numeriche effettuate ed alla comparazione della situazione ex ante ed ex post dell'intervento.

La conclusione della campagna di monitoraggio, iniziata nel marzo del 2009 e protrattasi per 3 anni con l'effettuazione di molteplici attività svolte ad intervalli di 3 mesi, ha consentito di poter fornire delle indicazioni affidabili sull'effetto che l'inserimento delle barriere soffolte ha avuto sull'ambiente circostante. Lo scopo principale del monitoraggio era quello di rilevare possibili interferenze negative sugli equilibri del litorale per sug-

gerire, eventualmente, rapide modifiche o interventi di ripristino. Oltre a ciò, esso aveva lo scopo di verificare l'efficacia delle barriere soffolte per consentire la definizione di ulteriori interventi futuri.

L'esame di tutti i dati registrati ha permesso di stabilire che non vi è stata alcuna alterazione sulla prateria di Posidonia: il suo stato di conservazione non ha mai fatto riscontrare variazioni significative della sua densità in prossimità delle opere sommerse. Le variazioni presenti, come dimostrato nei rilievi precedenti, mostrano un andamento dovuto principalmente alla variabilità spaziale della densità della prateria stessa.

Analoghe evidenze sono emerse per la sedimentologia: il confronto fra i dati acquisiti dimostra come il diametro medio sia rimasto sempre compreso nei valori delle sabbie, mentre per la classazione risulti una piccola riduzione tra la prima e le altre campagne di rilievo, pur rimanendo sempre nel *range* "scarsamente o moderatamente classata". Rilevante è il fatto che la percentuale di sedimenti fini (frazione < 63 micron) risulti minore nelle campagne successive alla prima. I parametri biologici registrati con BOD5 e COD hanno costantemente mostrato una sostanziale assenza di fenomeni proliferativi di origine biologica.

I rilievi batimetrici e topografici al termine dei tre anni hanno mostrato, seppure sia presente una ciclicità di arretramenti ed avanzamenti dovuta alla stagionalità degli eventi meteomarinari, un sostanziale miglioramento delle condizioni di stabilità del tratto di litorale protetto dalle barriere.

Il rilievo topografico effettuato nel giugno 2012 mostra, nel complesso, un ritorno alla posizione registrata all'inizio della campagna di monitoraggio, cioè la presenza di un avanzamento del tratto di litorale protetto dalle barriere di circa 8 metri rispetto alla situazione ante opera.

L'accumulo di sedimenti registrato nel 2010 nelle aree limitrofe rientra nei valori precedenti, ossia ai livelli del 2009.

Le ispezioni visive effettuate sulle barriere esistenti avevano evidenziato alcune lacerazioni con conseguenti cedimenti strutturali che im-

ponevano un'opera urgente di manutenzione e ripristino delle condizioni di progetto, eventualmente attraverso il posizionamento di nuovi geocontenitori al di sopra quelli già in opera.

La non realizzazione di questo intervento ha portato progressivamente all'attenuazione prima, e alla scomparsa poi, dei risultati benefici già ottenuti. Al netto dell'effetto favorevole stagionale, le barriere, oramai largamente rimaneggiate, hanno concluso la loro funzione.

L'esperienza operativa maturata, i dati raccolti e la durabilità dei geotubi sta portando il management del Forte Village ad un nuovo intervento per fasi, che prevede dapprima un *riporto* stagionale della sabbia secondo una logica di *manutenzione* che, a seguito di un ulteriore monitoraggio, qualora non risulti sufficiente verrà poi integrato con sistemi più stabili come quelli già realizzati.

*Alessandro Lai e Andrea Ritossa*

### **Riferimenti bibliografici**

Atzeni A., De Muro S., Di Gregorio F., Piras G., 2002. Carta del Rischio Geo-ambientale nelle coste della Sardegna. Univ. Cagliari, C.N.R., M.I.U.R., R.A.S. scala 1:300.000, SELCA Cagliari.

Komar, P. D., 1998. Beach Processes and Sedimentation, Ch. 04 - The Changing Level of the Sea, Prentice Hall.

Lucarini M., Del Gizzo M., Iadanza C., Cerri C., Berti D., Ligato D., Brustia E., Vittori E., Pasanisi F., Ferruzza G., Conti M., Cappucci S., Corsini S., 2007. Atlante delle opere di sistemazione costiera. APAT, Manuali e Linee guida 44, 169 pp.

MarTech Srl (2007). Relazione Monitoraggio – FASE 10 (2012) relativa al Progetto per la messa in sicurezza del litorale antistante il Forte Village Resort in località S. Margherita di Pula (Ca).

MarTech Srl (2007). Progetto per la messa in sicurezza del litorale antistante il Forte Village Resort in località S. Margherita di Pula (Ca).

Masselink, G., Hughes M.G., Knight J., 2011. Introduction to Coastal Processes & Geomorphology, 2nd edition ed., Hodder Education, London.

MATT & MEF, 2005. Analisi delle caratteristiche meteomarine al largo e a riva e valutazione dei processi evolutivi costieri. A cura di Noli A. & Mita M. pp. 367. I.P.Z.S. Roma

MATTM-Regioni, 2017. Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA.

Programma Azione Coste (2013) – Assessorato della Difesa dell'Ambiente RAS.

Tilocca G., Murrau A., 2003. Linee Guida per l'individuazione dei criteri generali per la difesa dei litorali. Assessorato dei Lavori pubblici, Servizio Difesa del Suolo, R.A.S. (con allegate schede tipo per creazione banca dati

Valloni R., Ferretti O., 2002. Rassegna tipologica e statistica degli interventi di ripascimento artificiale dei litorali italiani. Rel. Inedita, ENEA-Università di Parma.

# Sardegna



## Realizzazione di una spiaggia in ghiaia a Cala Gonone

---

A Cala Gonone, nel Golfo di Orosei, fra il 1994 e il 1997, è stato realizzato uno dei primi progetti, di cui si abbia notizia in Italia, per la costruzione di una spiaggia in ghiaia. Questo intervento ha ispirato altri ripascimenti simili condotti negli anni successivi in altre regioni, ma purtroppo la mancanza di un monitoraggio (cosa frequente in quegli anni) non ha consentito di fare pienamente tesoro di questa esperienza.

Cala Gonone è una piccola frazione nel comune di Dorgali dove, nel dopoguerra, si è gradualmente sviluppata una intensa attività turistico-balneare nonostante la scarsità di arenili prossimi al centro abitato. Molti turisti si spostavano, con un servizio di barche che partono dal porto, ad altre spiagge del golfo, alcune delle quali, come Cala Luna, inserite in un ambiente di eccezionale valore paesaggistico e naturalistico che non potevano reggere una così forte pressione turistica.

La Regione Sardegna finanziò quindi uno studio del litorale, la progettazione e la realizzazione di un intervento in grado di dare al paese una spiaggia con la quale supportare l'attività turistica e consentire una migliore gestione delle aree più sensibili.

L'impossibilità di rendere stabile una spiaggia in sabbia senza pesanti strutture di difesa indirizzò il progetto, redatto dallo Studio Volta di Savona, verso la realizzazione di spiagge in ghiaia stabilizzate da secche semi-naturali (Fig. 5.26). Queste furono costruite con blocchi di basalto arrotondati, spesso prelevati dai campi, che simulavano quelli

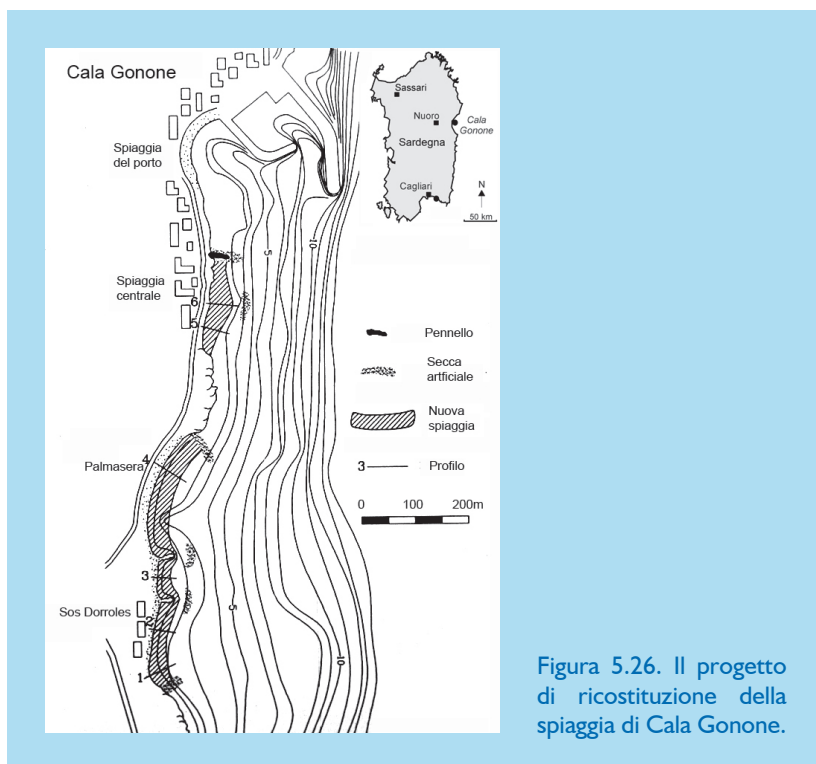


Figura 5.26. Il progetto di ricostituzione della spiaggia di Cala Gonone.

che frequentemente franano dalle falesie vicine. La funzione delle seche era quella di modellare la linea di riva in funzione della morfologia della falesia retrostante. Furono costruiti anche tre corti pennelli per il contenimento laterale del materiale.

Fra l'autunno 1994 e la primavera 1995 furono depositati i primi 23.000 m<sup>3</sup> di sedimenti, in gran parte provenienti da una cava di calcare e in misura minore dal dragaggio di un porto. Il materiale scaricato sulla spiaggia veniva spinto in mare con una pala meccanica, in modo che le onde potessero successivamente riportarlo a riva conferendo all'arenile un profilo naturale, mentre i granuli subivano un primo arrotondamento.

I lavori furono interrotti per problemi con la ditta appaltatrice e la spiaggia rimase per più di due anni con le strutture completate ma con un ripascimento inferiore a quello di progetto.

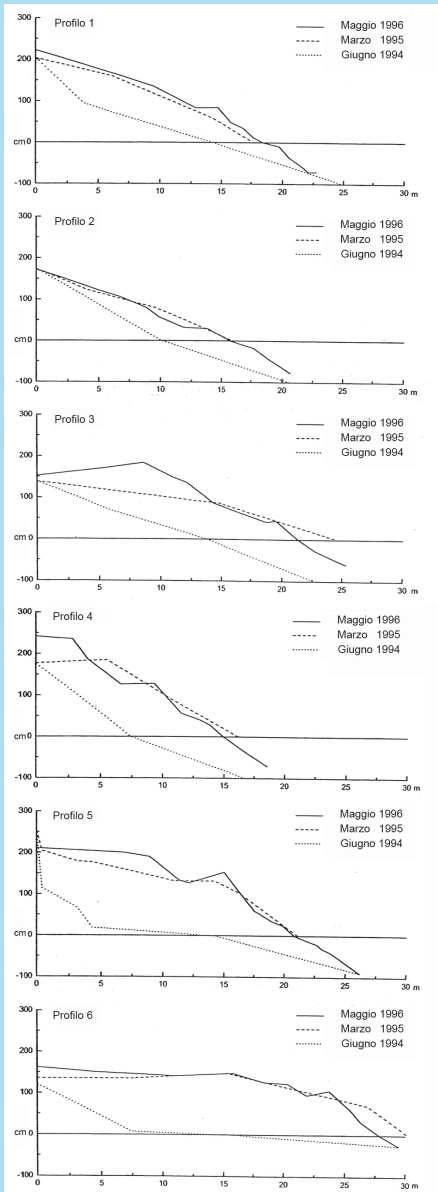


Figura 5.27. Evoluzione del profilo della spiaggia emersa fra il momento dell'inizio dei lavori, la loro interruzione e dopo oltre un anno (per la posizione dei profili vedi Fig. 5.26).

Dopo l'interruzione dei lavori, il ripascimento riprese nell'autunno 1997 e si concluse nel giugno 1997 dopo aver deposto e distribuito altri 57.000 m<sup>3</sup>, questa volta di granuli di granito rosa.

Pur non essendo previsto un monitoraggio, furono comunque eseguiti alcuni rilievi di spiaggia emersa prima dell'inizio dei lavori (giugno 1994), alla loro conclusione (marzo 1995) e nel maggio del 1996.

Da questi risultò come il materiale si spostasse verso riva, tanto che il rilievo del maggio 1996 mostrava una spiaggia più alta di come non fosse a chiusura dei lavori (Fig. 5.27); inoltre, i granuli si presentavano ben arrotondati e l'arenile mostrava un'eccellente fruibilità (Pacini et al., 1999). Nel settembre 1997 furono eseguiti rilievi del profilo della spiaggia fino alla profondità di 1 m, sulla cui base furono fatte stime della perdita di sedimenti sulle varie spiagge (Atzeni, 1999).

Nel novembre 1997 una mareggiata con tempo di ritorno stimato in 50 anni colpì la costa di Cala Gonone, procurando danni per circa 1 milione di euro al porto, ma la spiaggia ne uscì indenne.

Lo studio del litorale fu proseguito da Arba et al. (2002), che rilevarono la buona stabilità del ripascimento ed evidenziarono il diverso comportamento dei materiali carbonatici rispetto a quelli granitici. I primi subirono un forte arrotondamento, mentre i secondi andarono incontro ad una separazione dei singoli cristalli con una riduzione delle loro dimensioni.

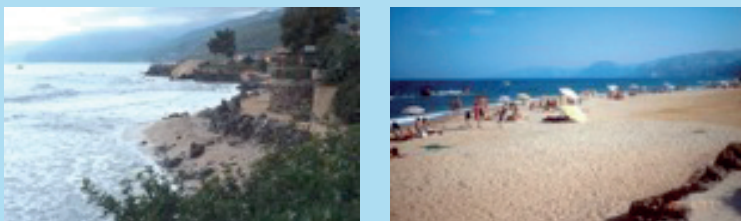


Figura 5.28. La Spiaggia centrale di Cala Gonone all'inizio dei lavori (si nota sullo sfondo l'inizio del versamento di ghiaia calcarea) e dopo il ripascimento con il materiale granitico.



Tutti questi studi furono fatti in ambito universitario per il grande interesse scientifico del progetto, ma non rientravano in un piano di monitoraggio predefinito e non godevano delle opportune risorse finanziarie. I dati raccolti, nel loro insieme sono frammentari, disomogenei e talvolta contrastanti, nonché riferiti a ridotti intervalli temporali.

Oggi non è quindi possibile ricostruire completamente l'evoluzione morfologica e sedimentologica di questo ripascimento e non si dispone di elementi validi per valutarne l'effettiva condizione di stabilità e per impostare un piano di gestione della spiaggia di medio termine.

Per le spiagge di Cala Gonone la Regione Sardegna ha recentemente finanziato un intervento, attualmente in fase di studio di prefattibilità, finalizzato alla manutenzione straordinaria dei ripascimenti realizzati tra il 1994 ed il 1997, al fine di assicurare l'importante funzione protettiva svolta nei confronti del piede delle falesie retrostanti le spiagge ed il riassetto della linea di riva. Nel progetto sono previsti interventi per il potenziamento delle secche artificiali e nuovi apporti di sedimento nelle spiagge. Rilievi di dettaglio forniranno indicazioni più precise sulle reali necessità.

*Mario Deriu e Mauro Farris*

### **Riferimenti bibliografici**

Arba P., Arisci A., De Waele J., Di Gregorio F., Ferrara C., Follesa R., Piras G. e Pranzini E., 2002. Environmental impact of artificial nourishment of beaches of Cala Gonone (Central-East Sardinia). Littoral 2002, 6th Int. Symp., Porto, Portogallo. Pp.465-468.

Atzeni A., 1999. Sul ripascimento di spiaggia con miscele composite di sedimenti: il caso delle spiagge di Cala Gonone (Dorgali, Sardegna). Studi costieri, 1: 57-73.

Pacini M., Pranzini E. e Sirito G., 1999. La ricostruzione delle spiagge di Cala Gonone. Studi costieri, 1: 43-55.

Pacini M., Pranzini E. e Siritto G., 1997. Beach nourishment with angular gravel at Cala Gonone (Eastern Sardinia, Italy). MEDCOAST '97, Qawra, Malta, 11-14 Nov. pp. 1043-1058.

Pranzini E., 2009. Protection studies at two recreational beaches: Poetto and Cala Gonone beaches, Sardinia, Italy. In: Beach Management, Allan Williams and Anton Micallef Eds., Earthscan publishers, pp. 287-306.

# Testi di riferimento

La letteratura sulla gestione della fascia costiera si è arricchita negli ultimi anni a seguito dell'aggravarsi dello stato dei litorali, delle pressioni a cui essi sono soggetti e degli scenari previsti in conseguenza del riscaldamento globale.

Parallelamente è cresciuta la consapevolezza delle istituzioni e dei singoli cittadini nei confronti delle tematiche ambientali.

Ciò ha spinto molti ricercatori a ridurre il proprio impegno nella ricerca, dedicando più attenzione alla divulgazione delle conoscenze già acquisite dalla comunità scientifica internazionale e delle esperienze condotte, con alterne fortune, nei diversi paesi.

Ragioni di mercato hanno spinto l'editoria verso la produzione di testi in lingua inglese, anche se non mancano esempi di ottima letteratura nelle diverse lingue nazionali.

Di seguito indicheremo alcuni testi di più facile consultazione le cui tematiche sono d'interesse di chi si occupa di gestione dell'erosione costiera, ben consapevoli della limitatezza di questo elenco e, forse, della sua casualità. Ciò significa che vi sono certamente altri ottimi testi che abbiamo dimenticato o che, per nostra colpa, non conosciamo affatto! Vengono aggiunte anche alcune riviste scientifiche che ospitano esclusivamente o prevalentemente articoli relativi alla morfologia, dinamica, protezione e gestione dei litorali. Anche questo elenco è decisamente riduttivo rispetto a quanto pubblicato nel mondo.

## Geomorfologia costiera e dinamica dei litorali

Bird E., 2016. Coastal cliffs: morphology and management. Springer, Dordrecht, 92 pp.

Carter R.W.G., 1988. Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural system Academic Press, London, 616 pp.

Ciavola P., Coco G. (Eds.), 2017. Coastal storms. Processes and Impacts. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 266 pp.

Dean R.G., Darymple R.A., 2002. Coastal processes with engineering applications. Cambridge University press, Cambridge, 475 pp.

Hslett S.H., 2001. Coastal systems. Routledge, London, UK, 218 pp.

Pranzini E., 2004. La forma delle coste. Geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa dei litorali. Zanichelli, Bologna, 246 pp.

Pranzini E. and Williams A.T., 2013. Coastal erosion and protection in Europe. Routledge, London & New York, pp. 476.

Shwartz M.L. (Ed.) 2005. Encyclopedia of Coastal science, Springer, Dordrecht, 1211 pp.

Simeoni U., Corbau C., Pranzini E., Ginesu S., 2012. Le Pocket beach. Dinamica e gestione delle piccole spiagge. Franco Angeli, Milano, 176 pp.

Woodroffe C.D., 2002. Coasts. Form, processes and evolution. Cambridge University press, Cambridge, 623 pp.

## Monitoraggio

Cipriani L.E. (Ed.), 2013. Coastal erosion monitoring, Nuova Grafica Fiorentina, 244 pp.

Milli M., Surace L., 2011. La linea di costa. Definizioni, riferimenti altimetrici e modalità di acquisizione dei dati. Alinea Editrice, Firenze, 79 pp. Davidson-Arnott R., Introduction to Coastal processes and Geomorphology. Cambridge University press, Cambridge, 442 pp.

Pranzini E., Wetzel L. (Eds), 2008. Beach Erosion Monitoring. BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, 230 pp.

## **Difesa dei litorali**

Aminti P. e Pranzini E. (Eds.) 1993. La difesa dei litorali in Italia. Edizioni delle Autonomie, Roma. pp. 326.

Bird E., Lewis N., 2015. Beach renourishment. Springer, Dordrecht, 137 pp.

Bruun P (Ed.) 2005. Port and coastal engineering. Journal of Coastal Research S.I. 48, 553

Cooper J.A., Pilkey O.H. (Eds.), 2012. Pitfalls of shoreline stabilization. Selected case studies, Springer, Dordrecht, 333 pp.

Dean R.G., 2002. Beach nourishment. Theory and practice. World scientific, New Jersey, USA, 399 pp.

French P.W., 2001. Coastal defences. Processes, problems and solutions. Routledge, London, pp. 366

Goudas C., Katsiaris G., May V., Karambas T. (Eds) 2003. Soft Shore Protection, Coastal Systems and Continental Margins, Kluwer Academic Publishers, 398 pp.

Herbic J.B., (Ed.), 1999. Handbook of coastal engineering. McGraw-Hill, New York, 1152 pp.

Schwartz M.L. (Ed.), 2005. Encyclopedia of coastal science. Springer, Dordrecht, 2111 pp.

Silvester R., Hsu J.R.C., 1993. Coastal stabilization. Innovative concepts. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 578 pp.

Sunamura T., 1992. Geomorphology of rocky coasts. John Wiley & Sons, Chichester, USA, 302 pp.

USACE, 2002-2015. US Army Coastal Engineering Manual <http://chl.erdc.usace.army.mil/cem>

## **Gestione Integrata delle Aree Costiere**

Botero C. M., Cervantes O. D., Finkl C.W. (Eds.), 2018. *Beach Management Tools - Concepts, Methodologies and Case Studies*, Springer, Dordrecht, 960 pp.

Cicin-Sain B., Knecht R.W., 1998. Integrated coastal and ocean management. Island Press, Washington, USA, 515 pp.

Clark J.R., 1996. Coastal Zone Management Handbook. Lewis publishers, Boca Raton, Florida, 694 pp.

Doody P., Ferriera M., Lombardo S., Lucius I., Misdorp R., Niesig H., Salman A., Smallegange, Cipriani L.E., Lanza S., Pranzini E., Randazzo G. (2007) – Vivere con l'erosione costiera in Europa – Risultati dello studio Erosion. Commissione Europea, 38 pp.

French P.W., 1997. Coastal and estuarine management. Routledge, London, UK, 251 pp.

Kay R, Alder J., 2000. Coastal planning and management. Spon press, London, 375 pp.

Nordstrom K.F., 2000. Beach and dune restoration. Cambridge University press, Cambridge, UK, 187 pp.

Nordstrom K.F., 2000. Beaches and dunes of developed coasts. Cambridge University press, Cambridge, 338 pp.

Pranzini E. (Ed.), 1986. La gestione delle aree costiere. Edizione delle Autonomie, Roma. 237 pp.

Rangel Biutrago\_N., 2018. Coastal scenery: evaluation and management. Springer, Dordrecht, 247 pp.

Williams A., Micallef A., 2009. Beach management. Principles & practice. Earthscan, London, 445 pp.

### **Riviste scientifiche**

Coastal Engineering

<https://www.journals.elsevier.com/coastal-engineering/>

Estuarine, Coastal and Shelf Science

<https://www.journals.elsevier.com/estuarine-coastal-and-shelf-science/>

Journal of Coastal Conservation

<https://www.springer.com/earth+sciences+and+geography/geography/journal/11852>

Journal of Coastal Research

<http://cerf-jcr.org/>

Ocean and Coastal Management

<https://www.journals.elsevier.com/ocean-and-coastal-management/>

Shore & Beach

<http://asbpa.org/publications/shore-and-beach/>

Studi costieri

<http://www.gnrac.unifi.it/rivista/rivista.ht>











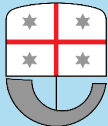


Finito di stampare in Italia nel mese di novembre 2019



# MAREGOT

MANagement des Risques de l'Erosion  
côtière et actions de GOUVERNANCE  
Transfrontalière



REGIONE LIGURIA



LE DÉPARTEMENT

REGIONE  
TOSCANA



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Office de l'Environnement  
de la Corse  
Utilità di l'Ambiente di a Corsica



Conservatoire  
du littoral



Aree Marine Protette delle Cinque Terre



Geosciences pour une Terre durable

brgm



Università degli Studi

Cagliari



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

DST  
DIPARTIMENTO DI  
SCIENZE DELLA TERRA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI GENOVA



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA  
AGENZIA REGIONALE PRO S'AMPARU DE S'AMBIENTE DE SARDIGNA  
AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELLA SARDEGNA  
ARPAS



S.D.I.S. 2B



CONSORZIO  
LaMMA