

Studi costieri

Dinamica e difesa dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

N. 5
2002



Studi costieri

Dinamica e difesa dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

Collana diretta da:

Enzo Pranzini

Dipartimento di Scienze della Terra

Via J. Nardi 2 - 50132 Firenze

Tel. 055 243486 - Fax 055 241595

E-mail epranzini@unifi.it

Comitato scientifico

Segreteria: **Pierluigi Aminti**

Dipartimento di Ingegneria civile

Via S. Marta 3 - 50139 Firenze

Tel. 055 4796224 - Fax 055 495333

E-mail aminti@dicea.unifi.it

Carlo Bartolini - Firenze

Edoardo Benassai - Napoli

Paolo Boccotti - Reggio Calabria

Antonio Brambati - Trieste

Leandro D'Alessandro - Chieti

Giuliano Fierro - Genova

Giovanni Battista La Monica - Roma

Alberto Lamberti - Bologna

Gianfranco Liberatore - Udine

Elvidio Lupia Palmieri - Roma

Giuseppe Matteotti - Padova

Alberto Noli - Roma

Arturo Ragone - Napoli

Giulio Scarsi - Genova

Umberto Simeoni - Ferrara

Sandro Stura - Genova

Ugo Tomasicchio - Bari

Adalberto Vallega - Genova

Marcello Zunica - Padova

Stampa

IGP INDUSTRIE GRAFICHE PACINI

Via Gherardesca

56121 Ospedaletto (Pisa)

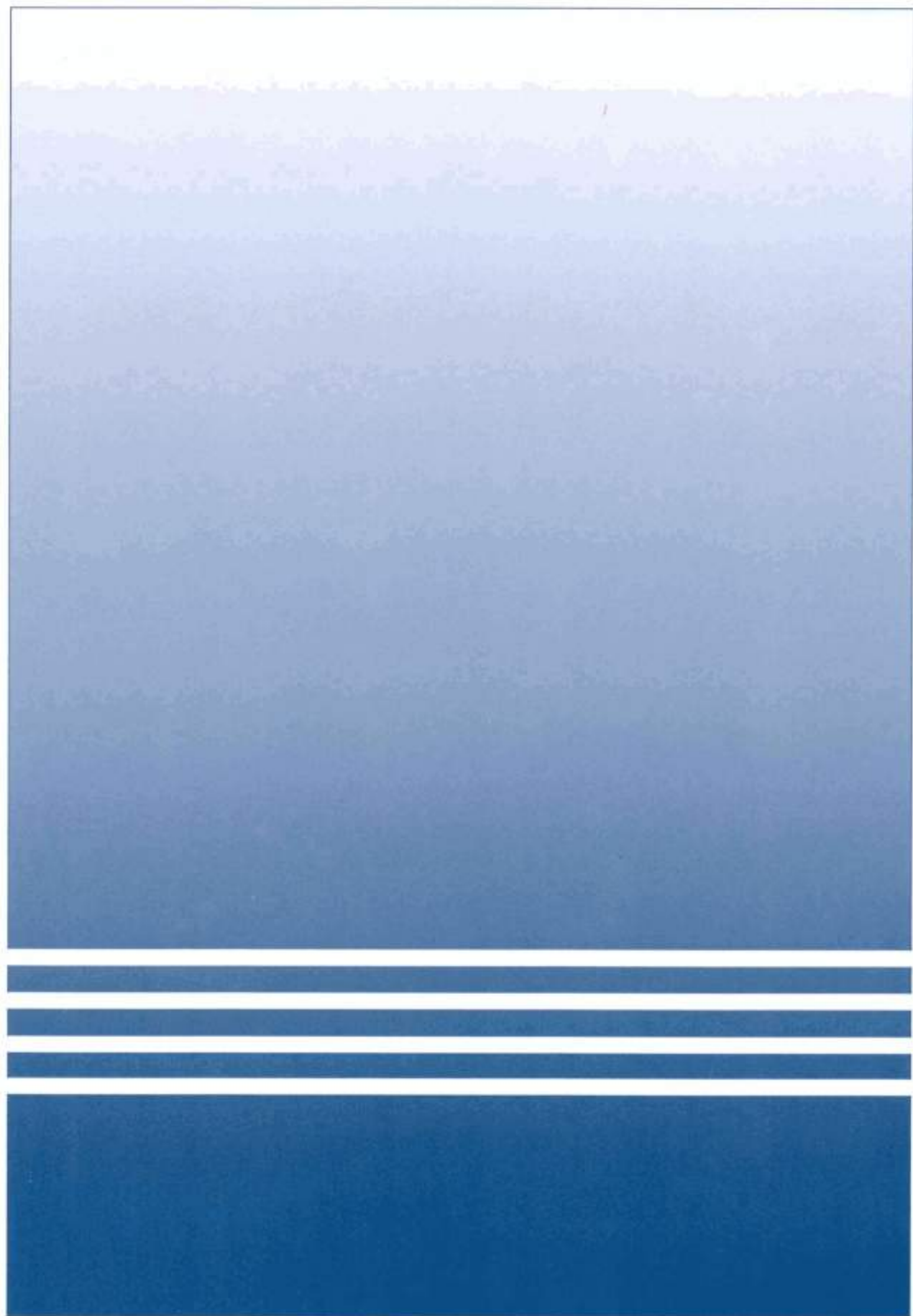
Studi costieri

Dinamica e difesa dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

Numero **5**

Indice

Sistema informatico per la raccolta dei dati bibliografici dell'ambiente marino-costiero Leda Pecci, Mattia Barsanti, Ivana Delbono, Ornella Ferretti, Stefania Furia e Renzo Valloni	pag. 3-7
Lineamenti e dinamica della costa pugliese Giuseppe Mastronuzzi, Giovanni Palmentola, Paolo Sansò	pag. 9-22
Composti organici persistenti in sedimenti marini costieri (Mar Tirreno centrale): un caso di studio di approccio multivariato Anna Maria Cicero, Maria Grazia Finoia, Elena Romano, Maria Celia Magno e Massimo Gabellini	pag. 23-34
Il sistema deltizio del Fiume Ombrone: determinazione delle velocità di sedimentazione mediante metodi radiometrici Giorgio Belluomini, Marilì Branca, Salvatore Improta, Luigia Manfra, Valerio Ruscito, Pierluigi Vesica, Mario Voltaggio	pag. 35-45
Evoluzione del profilo di spiaggia a seguito di un ripascimento artificiale in ghiaia su di una spiaggia altamente protetta Pierluigi Aminti, Filippo Pelliccia ed Enzo Pranzini	pag. 47-57
Proposta di un modello di sviluppo sostenibile per le spiagge e le aree costiere dell'Isola di Sant'Antioco (Sardegna SO, Italia) Annalisa Arisci, Jo De Waele, Felice Di Gregorio, Ivan Ferrucci, Roberto Follesa, Giuseppe Piras	pag. 59-75
La riabilitazione delle infrastrutture marittime: il caso delle dighe a gettata Edoardo Benassai e Giuseppe Paoletta	pag. 77-82
Trasmissione ondosa a tergo di scogliere a cresta bassa Mario Calabrese, Diego Vicinanza e Mariano Buccino	pag. 83-96
Note tecniche Il Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste del Politecnico di Bari Leonardo Damiani, Antonio F. Petrillo e Gennaro Ranieri	pag. 97-106
Ripascimento di spiagge con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna Mentino Preti	pag. 107-134
Medcoast '03	pag. 135-139
Norme per gli autori	pag. 141-143



Sistema informatico per la raccolta dei dati bibliografici dell'ambiente marino-costiero

Leda Pecci ¹, Mattia Barsanti ², Ivana Delbono ¹, Ornella Ferretti ¹,
Stefania Furia ¹ e Renzo Valloni ²

¹ ENEA CRAM S. Teresa, Centro Ricerche Ambiente Marino, C.P. 224, 19100 La Spezia.

² Università degli Studi di Parma, Dipartimento di Scienze della Terra, Area delle Scienze 157A, 43100 Parma.

Riassunto

Il presente lavoro fornisce uno strumento informatico utilizzabile in campo scientifico ed amministrativo per la ricerca bibliografica sull'ambiente marino-costiero.

La banca dati comprende il "Repertorio bibliografico delle pubblicazioni di dinamica dei litorali riguardanti le coste italiane", pubblicato nel numero 3-2000 di questa stessa rivista, e interessa i lavori sull'ecosistema costiero nella sua più ampia accezione multidisciplinare.

Il software originale qui sviluppato consente la convenzionale consultazione bibliografica secondo diversi campi di ricerca, introducendo alcune innovazioni quali (1) la possibilità di effettuare la ricerca anche per singolo autore, (2) la distinzione dei lavori anche per tipi di supporto, in modo da includere quelli informatizzati e (3) la possibilità di inserimento di nuovi titoli da parte dell'utente.

Parole chiave: ambiente marino-costiero, banca dati, Italia

Abstract

In this work the features of a bibliographic database on the coastal marine environment are presented. The database contains articles and reports on the coastal ecosystem in its wider concept and incorporates the collection of papers on coastal dynamics previously published in this journal (3-2000). The original software has been developed both for researchers and public administrators and offers the possibility to be updated by the user itself.

Key-words: coastal marine environment, database, Italy

Introduzione

Il software, sviluppato nell'ambito dell'Accordo di Programma ENEA-Ministero Ambiente, progetto *Il Mediterraneo Difesa del Mare e delle Coste*, nasce dalla collaborazione tra informatici ed esperti dell'ambiente marino. Il lavoro raccoglie gli studi più significativi a livello nazionale nelle differenti discipline applicate all'ambiente marino-costiero in un database che risponde alle necessità di archiviazione e ricerca delle referenze bibliografiche.

Il database, rivolto agli studiosi ed agli operatori del settore tecnico-gestionale delle regioni costiere, rappresenta uno stimolo per nuove iniziative di trasferimento dell'informazione e fornisce il complesso delle informazioni pregresse utilizzabili dalle amministrazioni locali per le scelte previsionali e le nuove ricerche. Più in generale, per la stesura di Piani Coste secondo i principi della Gestione Integrata della fascia costiera, è indispensabile disporre di strumenti per la conoscenza dell'ambiente marino-costiero a scala nazionale, regionale e locale. Il database può aiutare a impostare future banche dati bibliografiche che

assecondino questa visione di integrazione finalizzata allo sviluppo sostenibile e alla prevenzione degli squilibri ecologici.

Raccolta dei dati bibliografici

Il reperimento dei dati bibliografici relativi alle diverse discipline scientifiche applicate all'ambiente marino-costiero è stato sviluppato operando in diverse direzioni. Inizialmente sono stati e selezionati dati già inseriti in database ENEA (Bianchi et al., 1987; ENEA, 1990; Tunesi et al., 1990; ENEA, 1991; Meloni et al., 1993).

La fase più rilevante è tuttavia consistita nell'acquisizione del *Repertorio bibliografico delle pubblicazioni di dinamica dei litorali riguardanti le coste italiane* (La Monica e Pranzini, 2000) comprendente la produzione post-1981. Un risultato importante è scaturito dalla richiesta dei lavori pubblicati negli anni 1995-2001 agli esperti dei diversi settori. Da ultimo è stato deciso di inserire la produzione pre-1982 ritenuta fondamentale per la conoscenza dell'ambiente marino-costiero.

In conclusione, il database così ampliato si avvicina ai 1200 lavori. Ovviamente, questa raccolta non pretende di essere completa, ma vuole solo offrire ai singoli utenti un repertorio bibliografico di base da ampliare e personalizzare secondo le esigenze individuali.

Caratteristiche del database

L'obiettivo di questo lavoro è stato la creazione di uno strumento informatico facilmente fruibile da tutte le categorie di utenti. Le sue caratteristiche di base sono le seguenti:

- *completezza*, in termini di temi e modi di classificazione, per soddisfare le esigenze di chi lavora nei diversi settori dell'ambiente marino costiero, sia egli studioso, tecnico o amministratore;
- *semplicità di impiego*, per permettere a tutti gli interessati il facile accesso alle informazioni presenti nella banca dati senza una specifica preparazione in campo informatico;
- *versatilità*, per consentire l'utilizzo su personal computer con sistema operativo Windows che, ad oggi, è il più diffuso sul mercato;
- *flessibilità*, per consentire di implementare, modificare e confrontare i lavori presenti nel database.

Struttura del database

Per quanto attiene la progettazione, è stata adottata la metodologia di Albano et al. (1997). Il database contiene referenze bibliografiche ordinate per *area geografica*, *unità fisiografica*, *settore scientifico*, (tipo di) *supporto*, *anno* (di pubblicazione) e *rivista*. Essendo il software aperto all'implementazione e alla modifica dei dati, le informazioni sotto riportate sono gestibili dall'utente.

Autori. Contiene i nomi degli autori fino ad un massimo di 240 caratteri.

Titolo. Contiene il titolo del lavoro fino ad un massimo di 240 caratteri.

Anno. Contiene l'anno di pubblicazione del lavoro espresso con 4 caratteri.

Rivista. Contiene il nome del periodico nel quale è stato pubblicato il lavoro espresso con un massimo di 240 caratteri.

Locazione. Contiene le informazioni necessarie per reperire il lavoro all'interno del periodico espresse con un massimo di 240 caratteri. L'unione del campo Rivista con il campo Locazione rende inequivocabile il reperimento del lavoro.

Area geografica. Il lavoro viene riferito ad una delle seguenti voci precodificate:

Mari Italo-Mediterranei	Campania
Mare Ligure	Calabria
Mare Tirreno	Basilicata
Alto Tirreno	Puglia
Medio Tirreno	Molise
Basso Tirreno	Abruzzo
Mare Adriatico	Marche
Alto Adriatico	Emilia Romagna

Medio Adriatico	Veneto
Basso Adriatico	Friuli Venezia Giulia
Mare Ionio	Isola di Sardegna
Alto Ionio	Mare di Sardegna
Basso Ionio	Canale di Sardegna
Liguria	Isola di Sicilia
Toscana	Canale di Sicilia
Lazio	

Un dato lavoro può comparire in una sola Area geografica. Ad esempio, i lavori provenienti dalla ricerca Area geografica Mare Tirreno non comprendono quelli afferenti alle Aree geografiche Alto, Medio e Basso Tirreno.

Tipo di supporto. Il lavoro viene riferito ad una delle seguenti voci precodificate:

- Libro, volume e articolo pubblicato (comprese carte e mappe in testo);
- Relazione e rapporto di pubblica amministrazione (comprese carte e mappe in testo);
- Carta e mappa individuale o carta e mappa in appendice;
- Lavoro, scritto o grafico, su disco informatico o reperibile in rete.

Settore scientifico. Il lavoro viene riferito ad una o più delle seguenti voci precodificate:

- Meteorologia e Oceanografia fisica;
- Idraulica e Trasporto sedimentario;
- Petrografia e Mineralogia;
- Geochimica e Idrochimica;
- Biologia e Biogeochimica;
- Geologia e Geomorfologia;
- Morfodinamica e Sedimentologia;
- Telerilevamento e Cartografia storica;
- Impatti negativi e Vulnerabilità costa;
- Tecnologie rilevamento e Campionamento;
- Gestione costiera.

Unità fisiografica. Il lavoro viene riferito ad una o più delle seguenti voci precodificate:

- Bacino Fluviale
- Costa e Spiaggia emersa
- Spiaggia sottomarina
- Piattaforma continentale
- Scarpata e Bacino
- Isole minori

Ricerca sul database

Il programma consente di ricercare e selezionare i lavori del database nei seguenti modi: (1) sulla base di uno dei sei campi sopradetti (area geografica, unità fisiografica, settore scientifico, supporto, anno e rivista), (2) mediante la combinazione di tali campi tramite l'operatore logico AND (es., area geografica e settore scientifico; unità fisiografica e anno e rivista), e (3) effettuando una ricerca per autore.

In Figura 1 è mostrato l'aspetto della schermata per la ricerca multiparametrica, mentre in Figura 2 è riportato, come esempio, il risultato di una ricerca bibliografica. Ovviamente il programma permette di stampare il risultato della ricerca ed eventualmente salvare su file Excel il risultato stesso.

Personalizzazione del database, future versioni

Un aspetto innovativo del software qui presentato consiste nella possibilità di personalizzare il database per soddisfare le esigenze dei singoli utenti. Il programma (cf. Nota d'Appendice) permette di (1) arricchire il database bibliografico inserendo nuovi lavori e (2) cancellare e correggere i lavori presenti.

Figura 1 - Aspetto della schermata per la ricerca multiparametrica.

Figura 2 - Aspetto di una schermata con risultato della ricerca bibliografica.

Il presente software è alla sua prima versione (1.0). I possibili sviluppi di questo applicativo potranno consentire di:

- Fare modifiche e/o aggiunte alle voci delle aree geografiche, dei settori scientifici, delle unità fisiografiche e dei tipi di supporto;
- Eseguire una funzione di export dei dati contenuti con la descrizione della struttura del database per permettere l'implementazione delle informazioni su una banca dati diversa.

Nota d'Appendice

Il software, in versione Cd-Rom, è allegato al presente lavoro. Esso è corredato da un manuale di istruzioni in formato .pdf (Acrobat Reader file) e in formato .doc (Word file).

Bibliografia

Albano A., Ghelli G. e Orsini R. (1997) - *Basi di dati relazionali e a oggetti*. Zanichelli, Bologna: 1-416.

Bianchi C.N., Morri C., Peirano A., Romeo G. e Tunesi L. (1987) - *Caratterizzazione ecotipologica delle coste italiane - Bibliografia ecotipologica sul Mar Ligure. Elenco preliminare*. ENEA, Serie Studi Ambientali, Roma: 1-90.

ENEA (1990) - *Banca Dati Bibliografica del Mare Adriatico*. ENEA - Ministero degli Affari Esteri, Progetto Tecnologie Ambiente Marino, Centro Ricerche Energia Ambiente - S. Teresa - La Spezia.

ENEA (1991) - *Banca dati bibliografica ambiente marino costiero - Regione Sicilia*. Rapporto ENEA (Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente) per la Regione Sicilia.

La Monica G.B. e Pranzini E. (2000) - *Repertorio bibliografico delle pubblicazioni di dinamica dei litorali riguardanti le coste italiane*. Studi Costieri, 3: 103-140.

Meloni R., Boccali M. e Bruschi A. (1993) - *Banca Dati Bibliografici dei Mari Toscani*. In: *Arcipelago Toscano. Studio oceanografico, sedimentologico, geochimico e biologico*. ENEA, Serie Studi Ambientali, Roma: 341-400.

Tunesi L. e Peirano A. (1990): *Banche dati bibliografiche ambientali: struttura e applicazioni*. Atti S.I.T.E., 10: 139-141.

Manoscritto ricevuto il 10/6/2001, accettato il 15/9/2002.

Lineamenti e dinamica della costa pugliese

Giuseppe Mastronuzzi ¹, Giovanni Palmentola ¹, Paolo Sansò ²

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

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

Riassunto

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

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

Abstract

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

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

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

Introduzione

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

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

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

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

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

Lineamenti geologici, morfologici, idrologici e climatici

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

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

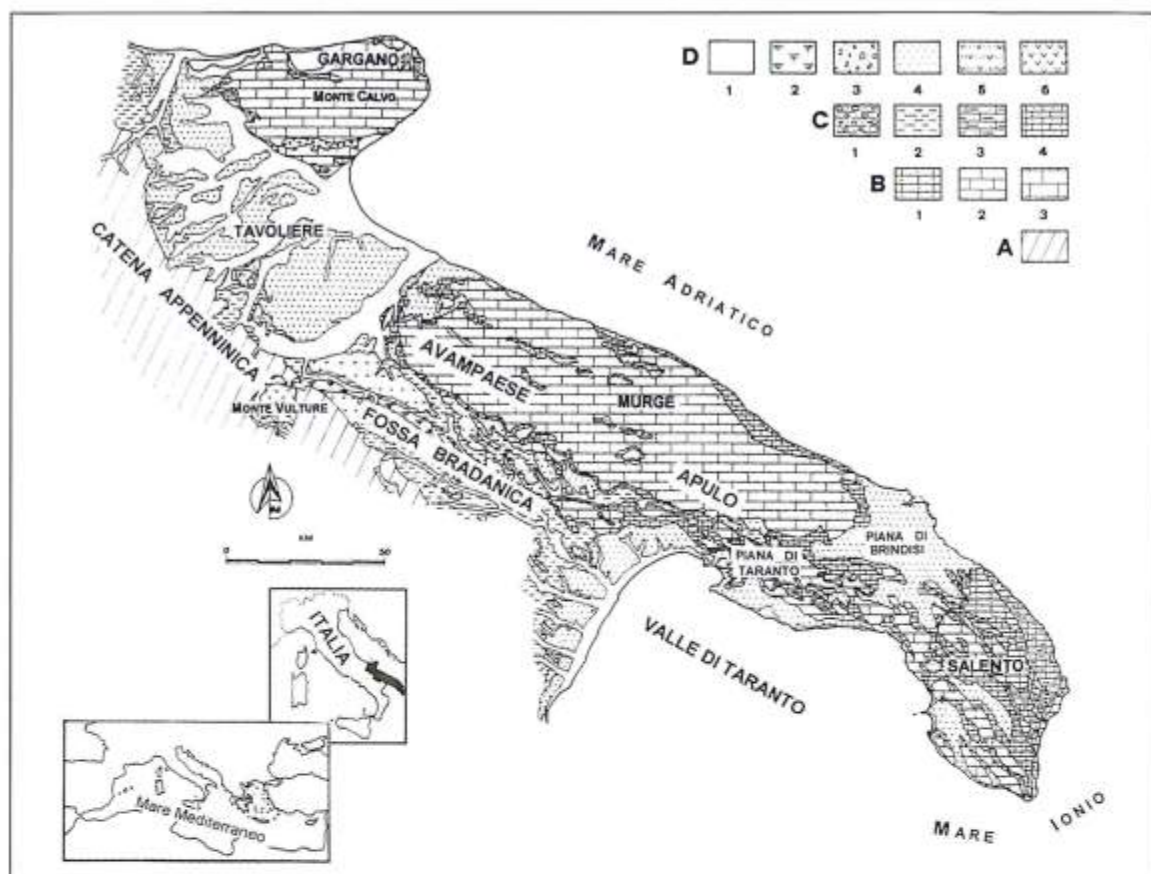


Figura 1 - Carta geologica schematica: A - Unità della Catena Appenninica; B - Unità dell'Avampaese Apulo: 1 - calcari e calcareniti (Miocene); 2 - calcareniti e calcari (Paleocene - Oligocene); 3 - calcari e dolomie (Cretaceo); C - Unità dell'Avanfossa: 1- sabbie e conglomerati (Pleistocene inferiore);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

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

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

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

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

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

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

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

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

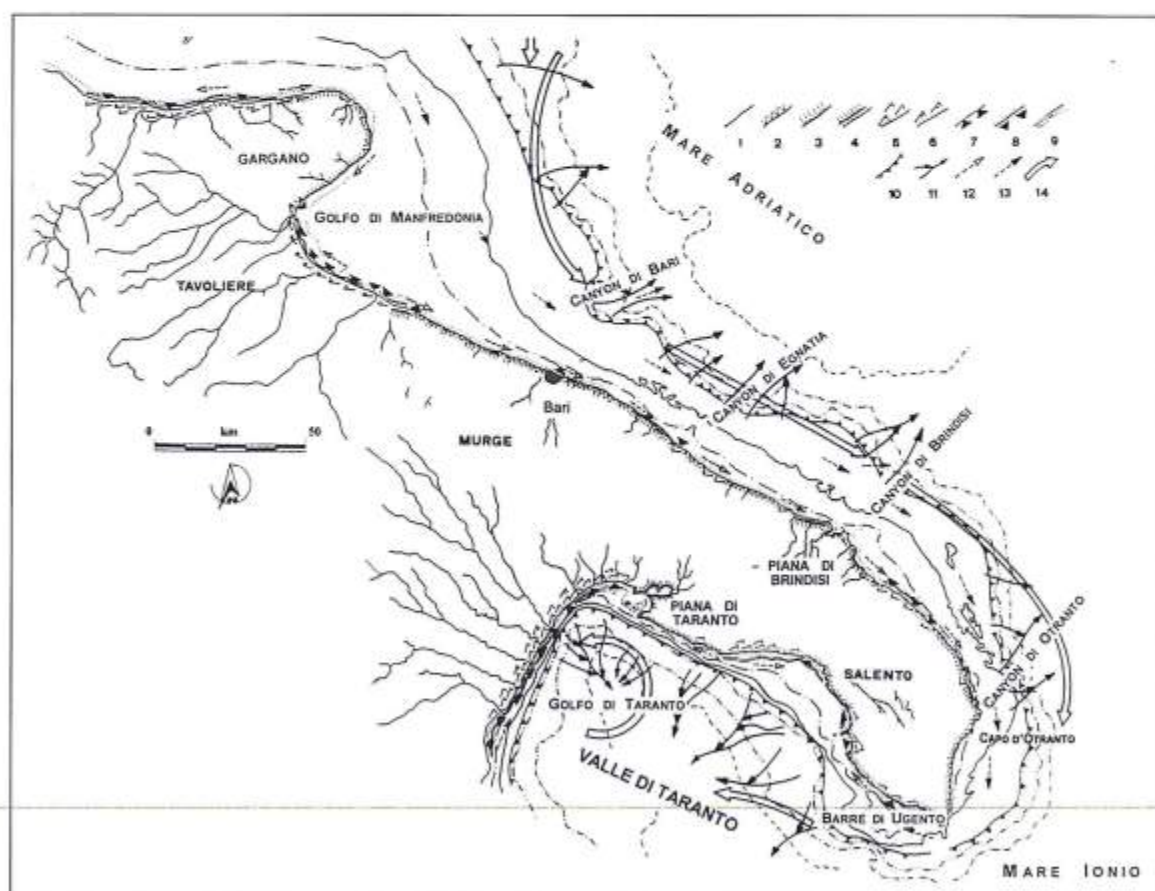


Figura 2 - Morfologia costiera e sottomarina e tendenza evolutiva: 1 - spiagge sabbiose e/o ciottolose; 2 - costa rocciosa digradante; 3 - falesie; 4 - falesie con spiagge al piede; 5 - cordoni dunari; 6 - cordoni dunari in corso di degrado ad opera dell'attività umana; 7 - linea di riva in arretramento;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

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

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

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

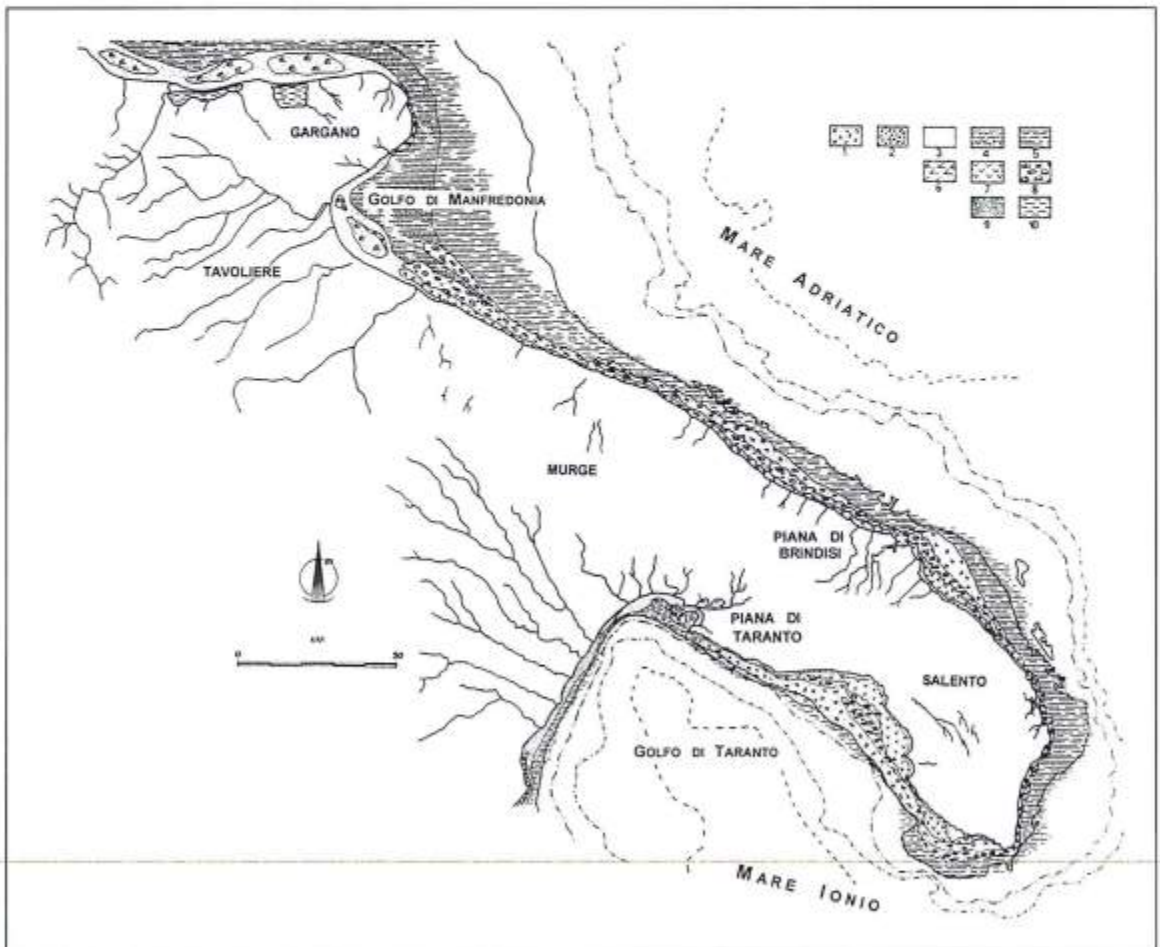


Figura 3 - Caratteri sedimentari e biocenosi bentoniche sulla piattaforma pugliese: 1 - fondali a detriti costieri (DC); 2 - spiagge ciottolose; 3 - fondali con sabbie fini ben sortite (SFBC); 4 - transizione tra SFBC e VTC; 5 - fanghi terrigeni (VTC); 6 - prateria a *Cymodocea nodosa*; 7 - prateria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

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

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

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

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

Tipi morfologici costieri e velocità dell'erosione

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

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

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

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

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

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

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

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

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

() Valore percentuale rispetto al totale delle coste sabbiose.

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

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

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

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

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

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

Cause dell'erosione delle spiagge

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

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

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

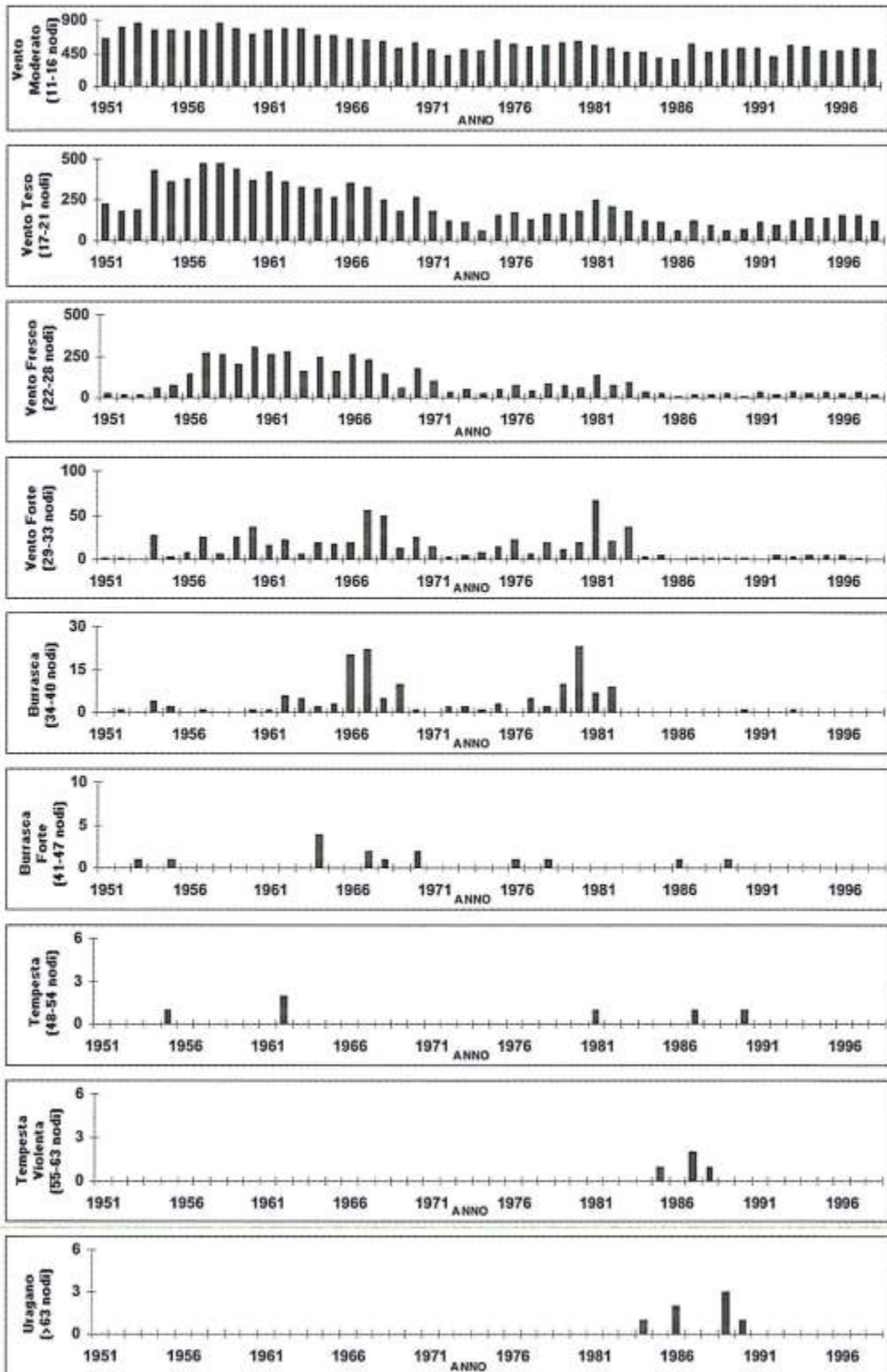


Figura 4 - Distribuzione del vento registrata nella stazione di Brindisi nell'intervallo di tempo 1952-1998.

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

Il più nocivo fra gli interventi, ancorché difficilmente evitabile, è stato la costruzione di dighe di ritenzione delle acque per uso irriguo, potabile e industriale. I bacini di drenaggio che influenzano la costa pugliese, dal Tavoliere (Candelaro, Cervaro, Carapelle ed Ofanto) all'area Ionica (Bradano, Basento, Agri, Sinni), sono caratterizzati da portate variabili legate alla grande differenza tra massimi e minimi valori delle precipitazioni durante l'anno. Ciò nondimeno, la portata solida in passato alta, a causa dell'elevato tasso di denudazione dei loro bacini di drenaggio, per lo più modellati in rocce particolarmente erodibili della Catena Appenninica e dell'Avanfossa, durante gli ultimi quaranta anni ha fatto registrare una sensibile diminuzione dovuta soprattutto, alle numerose dighe costruite lungo le aste fluviali nei bacini di drenaggio (Fig. 5). La loro costruzione ebbe inizio negli anni '50 e continua tutt'oggi; il fiume Ofanto, il maggiore fiume pugliese, lungo circa 134 Km, con un bacino ampio circa 2898 Km², è stato interessato dalla realizzazione di 20 dighe con grande capacità, alcune ancora in ultimazione (bacino del Locone, 105 Mmc; bacino del Capaciotti, 46 Mmc; bacino Rendina, 21 Mmc; bacino Conza, 54 Mmc), che possono immagazzinare complessivamente circa 250 Mmc di acqua. In conseguenza di questi interventi, l'Ofanto ha ridotto il suo apporto alla foce da circa 2×10^6 ton/anno durante il periodo 1935-1961, a $0,6 \times 10^6$ ton/anno nel periodo 1967-76 e a circa $0,2 \times 10^6$ ton/anno durante gli ultimi 20 anni (Caldara, 1996; Caldara et al., 1998) (Fig. 6).

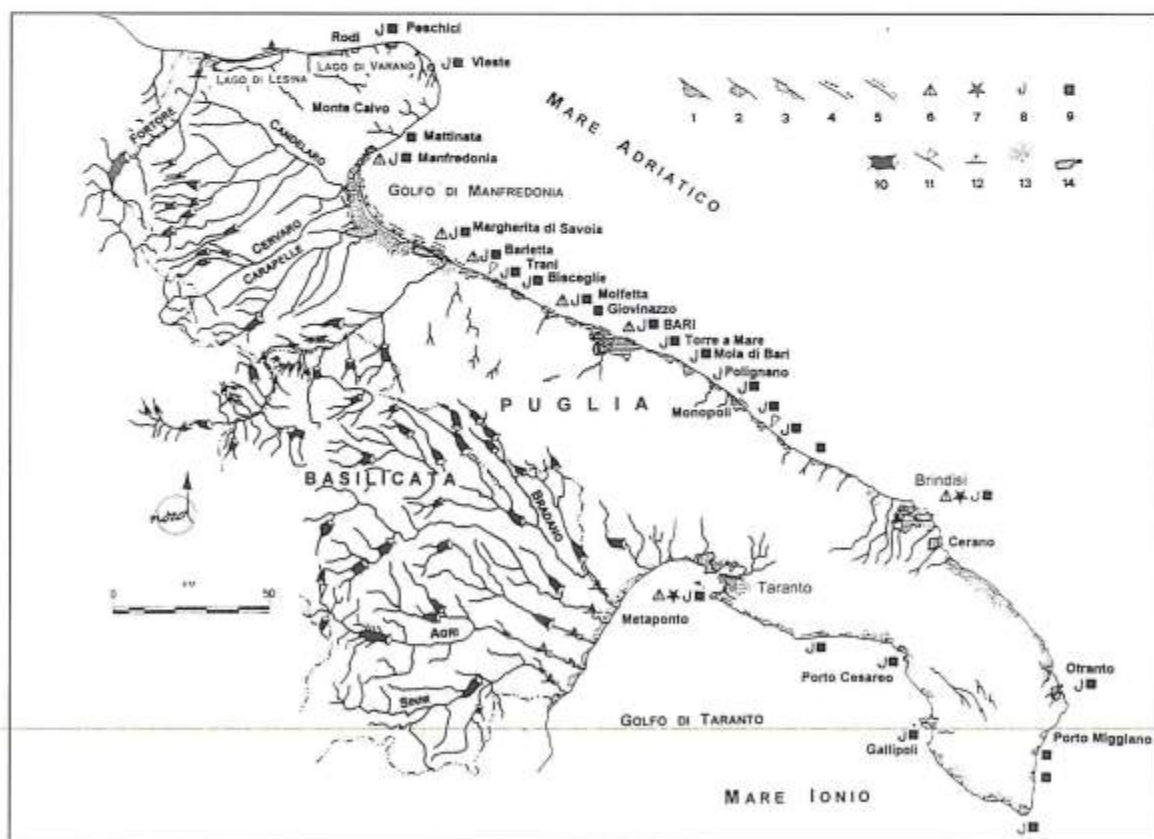


Figura 5 - Attività umane che influenzano la dinamica della fascia costiera pugliese: 1 - area costiera urbanizzata; 2 - grandi complessi industriali; 3 - insediamenti turistici permanenti; 4 - opere di difesa costiera aderenti; 5 - opere di difesa costiera parallele; 6 - porti industriali; 7 - porti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

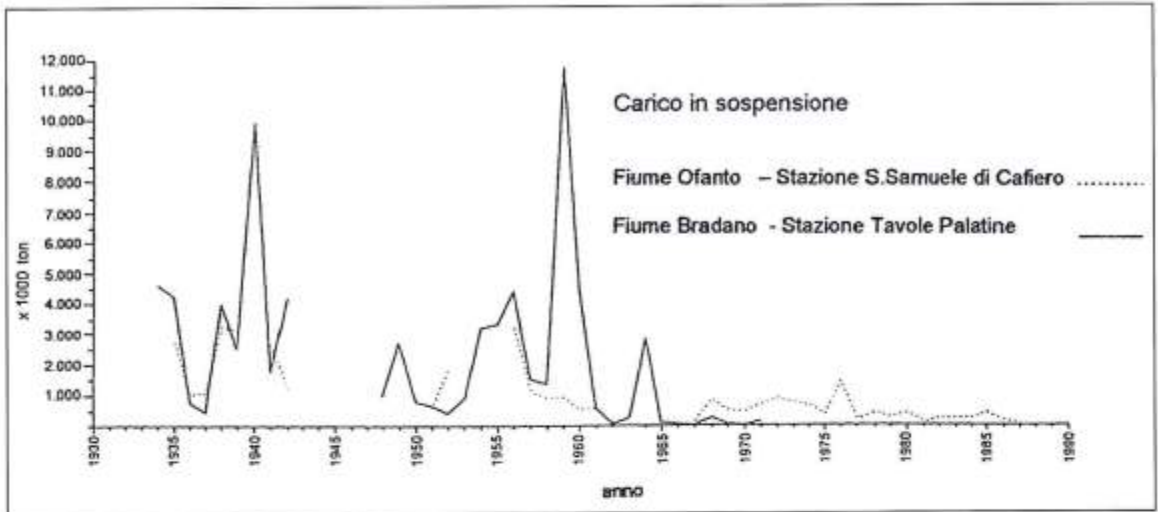


Figura 6 - Andamento del carico in sospensione misurato circa in corrispondenza della foce dell'Ofanto e del Bradano.

Una situazione simile si verifica lungo la costa ionica. Il fiume Bradano, lungo circa 120 km e con un bacino di drenaggio di circa 2760 km² modellato in prevalenza su una successione di sabbie argillose di età plio-pleistocenica era caratterizzato da portata torbida pari a circa $3,5-4 \times 10^6$ ton/anno al foce; la costruzione della diga di San Giuliano (107×10^6 mc di bacino) nel 1958 ha ridotto il carico solido a meno del 10% (Cotecchia et al., 1977). Lo stesso si è verificato per gli altri fiumi che sfociano nel Golfo di Taranto i cui bacini di drenaggio sono tutti interessati dalla realizzazione di dighe (Mastronuzzi e Sansò, 1993; Mastronuzzi et al., 1997).

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

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

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

Conclusioni

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

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

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

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

Ringraziamenti

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

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

Bibliografia

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

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

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

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

Composti organici persistenti in sedimenti marini costieri (Mar Tirreno centrale): un caso di studio di approccio multivariato

Anna Maria Cicero, Maria Grazia Finoia, Elena Romano,
Maria Celia Magno e Massimo Gabellini

Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ICRAM),
Via di Casalotti 300 - 00166 Roma.

Riassunto

Un crescente interesse rispetto alla tutela dell'ambiente marino viene riconosciuto all'impatto esercitato dai Persistent Organic Pollutants (POPs) (EU, 1998), classe di composti che include i Policlorobifenili (PCBs), indicatori di impatto industriale, ed i pesticidi organoclorurati, indicatori di impatto agricolo. A causa delle loro caratteristiche di persistenza e bioaccumulabilità, questi composti sono dei contaminanti ubiquitari degli ecosistemi marini. In particolare, i sedimenti rappresentano un comparto di accumulo molto importante, rispetto al quale meritano di essere approfonditi i fattori che intervengono nei processi di distribuzione di questi composti. In questa ottica, il lavoro presenta i risultati di uno studio pilota sull'applicazione di un modello statistico finalizzato ad evidenziare le eventuali correlazioni fra le concentrazioni di alcuni POPs, la tessitura ed i livelli di carbonio ed azoto organico presenti nei sedimenti di un'area costiera lungo il margine continentale Toscano (Tirreno centro settentrionale). In particolare, sono stati selezionati per l'indagine 8 congeneri di PCBs; il DDT e suoi prodotti di degradazione (DDs), l'Esaclorocicloesano (HCHs), l'Esaclorobenzene (HCB). L'area di indagine, localizzata fra il Promontorio dell'Argentario ed il Tombolo della Giannella, subito a sud del delta del Fiume Ombrone, è stata scelta perché compresa in un più ampio Progetto di ricerca sullo "Studio dei processi deposizionali in atto in ambiente costiero - caratterizzazione ed evoluzione recente del delta del fiume Ombrone" (Chiocci et al., 1997). I risultati ottenuti mostrano una predominanza di argille siltose; una presenza disomogenea della concentrazione di POPs lungo tutto lo strato considerato (0-20 cm), ed una diversificata contaminazione da POPs nell'area indagata. In particolare, i livelli di PCBs rilevati sono molto bassi mentre i livelli di pesticidi clorurati depongono per una contaminazione derivata dall'attività agricola abbastanza elevata, anche se non recente, e comunque predominante rispetto all'impatto "industriale". Non si evidenzia una correlazione significativa fra concentrazione di PCBs e dimensioni medie dei sedimenti, ad eccezione della correlazione evidenziata fra la frazione sabbiosa ed il PCB 137; viceversa, una correlazione significativa si osserva fra il valore del carbonio organico e la percentuale di frazione siltosa, la concentrazione di HCB, la concentrazione di γ HCH (lindano) e il valore dell'azoto organico; il valore dell'azoto organico risulta correlato anche al prodotto di degradazione del DDT, il DDD. In conclusione, e per l'area indagata, non sembra che la dispersione dei PCBs sia associata ad una specifica classe dimensionale del sedimento, mentre le frazioni di sedimento più ricche in sostanza organica e di dimensioni siltose appaiono correlate con alcune molecole di pesticidi (HCB, lindano, DDD). Per questa classe di composti, pertanto, può giocare un ruolo significativo ai fini della dispersione ambientale, la percentuale di sostanza organica presente e la classe dimensionale del sedimento.

Parole chiave: composti organici persistenti, sedimenti marini, Fiume Ombrone

Abstract

Increasing attention has recently been paid to the environmental impact on marine ecosystems of Persistent Organic Pollutants (POPs), such as industrial Polychlorinatedbiphenyls (PCBs) and Organochlorine Pesticides (EU, 1998). These compounds are highly ubiquitous, because of their persistence and bioaccumulation capacity. Human activities have enhanced the background concentration of these anthropogenic compounds. Particularly, sediments represent a very important sink for POPs, therefore it is crucial to understand which factors influence their distribution in marine sediments. The present work represents a pilot study on the application of a statistical package aimed at elucidating the relationship between POPs concentration, sediment texture, organic carbon and organic nitrogen content in sediments collected in a coastal area along the Tuscany region (Northern Tyrrhenian sea). The study area is located between the Argentario Promontory and the Giannella Tombolo, south of the Ombrone river delta. This area was selected because already investigated by a broader research project named "Present day sedimentary processes on Central Tyrrhenian continental shelf as result of a 20 KYR environmental evolution" (Chiocci et al., 1997). Results showed a predominance of silty-clayey sediments, non-homogeneous concentrations of POPs along the sediment layers (0-20 cm) and a variable POPs contamination on the investigated area. In particular, the PCBs concentrations were very low, suggesting a lower contamination from industrial sources; on the contrary, the high concentration of chlorinated pesticides might indicate an input from agricultural sources that occurred in the past. No significant correlation was observed between PCBs concentration and sediment texture, whereas a significant one was observed between organic carbon and the silty fraction, exachlorobenzene (HCB), γ HCH (lindane) and organic nitrogen. The organic nitrogen is well correlated with the DDT degradation product DDD. Finally, the sandy fraction is directly correlated with α -HCH, s -HCH, with o - p' DDT and with PCB 137. In conclusion, in the studied area, PCBs dispersion does not appear to be related to a particular sediment fraction. On the opposite, sediment fractions richer in TOC and silty are correlated with HCB, lindane and DDD: the diffusion of these compounds in marine sediments could be related to TOC and sediment texture composition.

Key-words: Persistent organic pollutants, marine sediments, Ombrone river

Introduzione

Un crescente interesse da parte degli Organismi sovranazionali rispetto alla tutela dell'ambiente marino viene riconosciuto all'impatto esercitato dalle molecole che sono Persistenti, Bioaccumulabili e Tossiche (P.B.T.). Fra queste meritano attenzione i POPs (Persistent Organic Pollutants), rispetto ai quali le Nazioni Unite e la stessa Comunità Europea hanno recentemente iniziato la negoziazione per più specifiche azioni di controllo dell'inquinamento, in generale, e dell'ambiente marino in particolare (EU, 1998).

A tale riguardo va ricordato che, in occasione della Conferenza ministeriale paneuropea sull'ambiente, del giugno 1998, sono stati firmati due protocolli finalizzati al controllo dell'inquinamento dovuto ai POPs ed ai metalli pesanti (Ministero dell'Ambiente, 1999), mentre uno specifico strumento legale per la riduzione dell'impatto è in corso di elaborazione (UNEP, 2001). L'impiego di questi composti ha comunque subito delle restrizioni di uso negli ultimi decenni, proprio in relazione alle loro caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche.

Nella classe di POPs sono inclusi numerosi composti quali i Policlorobifenili ed i pesticidi organoclorurati, considerati in questo lavoro.

I Policlorobifenili (PCB) sono una miscela di composti aromatici, usati commercialmente nell'industria sin dal 1930 come scambiatori di calore, ritardanti di fiamma e fluidi dielettrici nei trasformatori; il DDT ed i suoi prodotti di degradazione DDE e DDD (DD's), l'esachlorobenzene (HCB), l'esachlorocicloesano (HCHs) sono molecole clorurate usate in agricoltura come insetticidi, fumiganti e fungicidi (UNEP, 1996).

I POPs che, in quanto xenobiotici, hanno livelli di "fondo naturale" uguali allo zero (Laane, 1992), raggiungono l'ambiente marino attraverso 2 principali sistemi di rilascio: la deposizione atmosferica ed il trasporto fluviale (UNEP, 1996; Pièrard et al., 1996).

A causa delle loro caratteristiche di persistenza ambientale e capacità di essere bioaccumulati, tali composti sono contaminanti pressoché ubiquitari degli ecosistemi marini nei quali i sedimenti rappresentano un comparto di accumulo molto importante. Infatti, in conseguenza della loro idrofobicità, tali composti manifestano una particolare affinità per il materiale particolato e per i sedimenti più fini, che rappresentano, conseguentemente, un target di grande importanza nelle attività di valutazione della qualità degli ambienti marini rispetto alla contaminazione da questa classe di xenobiotici (Klamer et al., 1990; Canton e Grimalt, 1991; Piérard et al., 1996; Salau et al., 1997; Cicero et al., 2000a).

La determinazione dei livelli di presenza di questi composti in un dato ambiente e l'approfondimento dei meccanismi che possono influenzarne la distribuzione nei sedimenti rappresentano quindi una indispensabile base conoscitiva al fine di una corretta valutazione dell'impatto ambientale di questa classe di composti. In questa ottica il lavoro presenta i risultati di uno studio pilota sulla concentrazione e distribuzione di POPs di un'area costiera lungo il margine continentale toscano (Tirreno centro settentrionale), localizzata fra il Promontorio dell'Argentario ed il tombolo della Giannella, subito a sud del delta dell'Ombrone (Fig. 1).

Questa area è stata scelta perché compresa in un più ampio Progetto interdisciplinare di ricerca sullo "Studio dei processi deposizionali in atto in ambiente costiero – caratterizzazione ed evoluzione recente del delta del fiume Ombrone" (Chiocci et al., 1997).

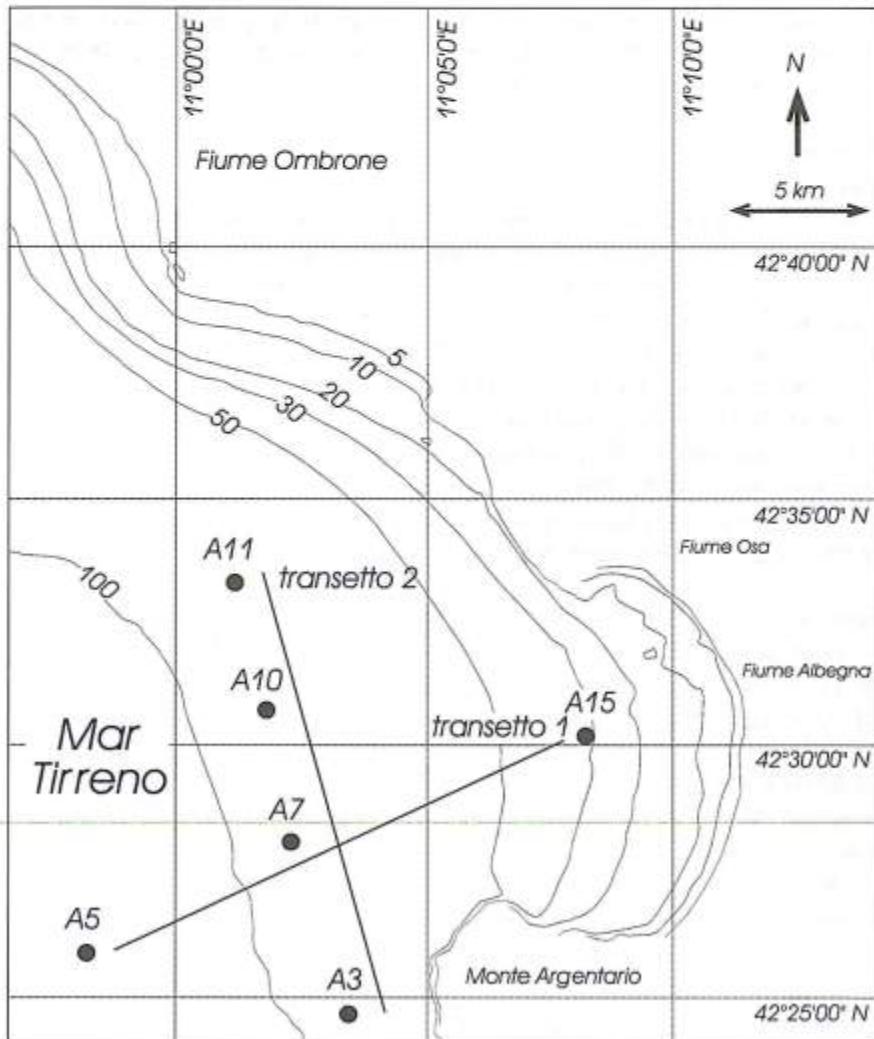


Figura 1 - Area d'indagine e stazioni di campionamento considerate.

L'area di studio, comprendente il tratto di piattaforma continentale tra il promontorio del Monte Argentario e la foce del Fiume Ombrone, è caratterizzata da tratti in cui si alternano settori di costa alta e rocciosa (Monte Argentario) a settori di costa bassa, con morfologie tipiche di ambienti lagunari (Tombolo della Giannella) e fluviali (foce Fiume Ombrone). Gli elementi che maggiormente influenzano le caratteristiche sedimentologiche dell'area, sono rappresentati dalla struttura del Monte Argentario nonché dagli apporti terrigeni del Fiume Ombrone e, in misura minore, dei fiumi Osa e Albegna. Nel settore settentrionale dell'area di studio si trova il bacino del Fiume Ombrone che, caratterizzato da un'estensione di oltre 3.000 km², drena terreni facilmente erodibili, come le argille plioceniche e i terreni della facies toscana. Il delta del Fiume è costituito da sedimenti prevalentemente fini, ad eccezione della zona immediatamente adiacente alla foce, dove si osservano intervalli grossolani (sabbiosi) alternati a livelli più fini. Superato il ciglio che separa la piana deltizia dalla scarpata di prodelta, la granulometria diventa sempre più fine con la presenza di qualche sporadico livello più limoso dovuto, verosimilmente, a momenti di piena o di tempesta i quali rimobilizzano i sedimenti posti alla foce e li trasportano più a largo (Celia Magno, 1997; Romano et al., 2001). Tra il delta dell'Ombrone e il Promontorio dell'Argentario, ad oltre 10 chilometri dalla costa, allungata in senso parallelo alle isobate, è presente una lente di materiale di probabile origine tiberina, con spessori massimi di circa 26 metri (Celia Magno, 1997; Ortolani, 2000).

Per le peculiarità descritte, nonché per gli studi interdisciplinari in corso di svolgimento, l'area in esame bene si presta come area pilota per l'applicazione di un modello statistico finalizzato ad evidenziare le eventuali correlazioni fra le variabili indagate, quali concentrazioni di POPs, tessitura, livello di carbonio ed azoto organico nei sedimenti.

Materiali e Metodi

Campionamento

I campioni di sedimento sono stati raccolti durante la crociera oceanografica "Maremma '96", a bordo della N/O Urania, dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma. I punti di prelievo sono stati posizionati su due transetti: uno costa - largo (transetto 1) ed uno in direzione delle correnti dominanti SE-NW (Leoni et al., 1995) (transetto 2), responsabili della dispersione delle frazioni più fini ed, eventualmente, più contaminate di sedimento (Fig. 1). La scelta di queste stazioni è stata fatta sulla base della presenza accertata da Celia Magno (1997) di un corpo sedimentario lenticolare orientato in direzione N-S (Romano et al., 2001). Il campionamento è stato condotto con box-corer; da ciascun campione è stata sub-campionata una carota di 20 cm di profondità e di 6 cm di diametro interno, con liner in PVC. Ciascuna carota è stata quindi conservata a -20°C fino al momento dell'analisi. Prima dell'analisi ogni carota è stata suddivisa in sub-livelli di 2 cm di lunghezza, omogeneizzati e analizzati singolarmente.

Analisi di laboratorio

Nel presente lavoro sono stati considerati i congeneri dei PCB a 3-7 atomi di cloro, selezionati fra quelli raccomandati nelle analisi ambientali e, precisamente, i congeneri IUPAC n. 28, 52, 101, 118, 137, 153, 180 e il decaclorobifenile (IUPAC n. 209).

I pesticidi considerati sono quelli comunemente indagati e per i quali è quindi possibile un confronto con i dati della letteratura nazionale ed internazionale: DDs (come somma di DDT, DDE, DDD); gli HCHs (come somma degli isomeri α , β , γ , δ -HCH); l'esaclorobenzene (HCB).

Le determinazioni quali-quantitative su ciascun sub-livello sono state condotte con metodo gascromatografico, utilizzando una colonna capillare ed un rivelatore a cattura di elettroni (ECD), seguendo il metodo descritto in Cicero et al., (1998; 2000).

Le analisi di carbonio organico totale (T.O.C.) e di azoto organico sono state condotte con Analizzatore elementare, secondo il metodo di Nieuwenhuize et al. (1994). Le analisi tessiturali sono state condotte per setacciatura ad umido e utilizzando un sedigrafo a raggi X secondo il metodo descritto in Romano et al. (2001).

Trattamento statistico dei dati

L'elaborazione statistica dei dati, trasformati mediante standardizzazione, è stata condotta attraverso:

- l'applicazione dell'analisi delle componenti principali (PCA), allo scopo di spiegare le correlazioni tra le variabili osservate in funzione di un numero ridotto di componenti "latenti" e di trasformare l'agglomerato delle osservazioni in una struttura semplice ma informativa, quasi quanto quella di partenza;
- il calcolo del coefficiente di correlazione parziale di Pearson, volto a testare la significatività delle correlazioni delle variabili elaborate mediante la PCA;
- l'applicazione dell'ANOVA one way e del test per confronti multipli post hoc di Newman Keuls, per verificare l'esistenza di un trend nella distribuzione delle concentrazioni misurate lungo i transesti in studio;
- l'applicazione dell'analisi discriminante, allo scopo di verificare l'esistenza di variabili atte a discriminare significativamente i punti di campionamento.

Risultati

I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 1.

Le analisi tessiturali mostrano una predominanza di argille siltose; in tutte le frazioni considerate i valori della frazione sabbiosa risultano inferiori al 5%, con la sola eccezione della carota A3, che mostra i valori più elevati, ed in particolare, il valore più alto misurato (10,3%). I valori di TOC sono essenzialmente omogenei (0,76-1,24%) mostrando valori decrescenti con la profondità; i valori più alti sono osservati nel campione A7 (1,24%).

I valori dell'azoto organico sono compresi nel range 0,13-0,26%. Per quanto attiene ai livelli di POPs si osserva quanto segue.

PCBs

La concentrazione dei PCB è sempre di un ordine di grandezza inferiore di quella dei pesticidi clorurati.

Il livello superficiale (0-2cm) mostra valori molto bassi (0,03-0,6 µg/kg p.s.) o pari al limite di rilevabilità analitica (0,01 µg/kg p.s.) ad eccezione della carota A10, che presenta il valore più elevato in assoluto (69 µg/kg p.s.). Il livello di decaclorobifenile PCB 209 è costantemente inferiore al limite di rilevabilità nelle condizioni analitiche adottate (0,01 µg/kg p.s.)

Gli intervalli di concentrazione dei differenti congeneri variano da 0,02 µg/kg p.s. a 2,3 µg/kg p.s.. Unico valore "outlayer" è quello pari a 69 µg/kg p.s. (carota A10). I valori medi superficiali riportati dall'UNEP per il Mar Mediterraneo (1990) sono pari a 102 µg/kg.

DDs

I valori dei DDs depongono per una contaminazione non recente, essendo il DDT assente da tutte le carote ad eccezione della carota A7 (12-14 cm) che mostra un valore di o-p'DDT, pari a 0,6 µg/kg p.s. Il p-p'DDT è costantemente inferiore al limite di rilevabilità nelle condizioni analitiche adottate (0,01 µg/kg p.s.). I valori dei DDs sono pertanto da attribuire ai prodotti di degradazione del DDT, in particolare al DDE. I valori di tale composto variano da 0,2 a 17,6 µg/kg p.s. La carota A10 è, mediamente, quella più contaminata; la A5 la più pulita. I valori medi superficiali rilevati dall'UNEP sono pari a 4 µg/kg (UNEP, 1990).

HCHs e HCB

Le concentrazioni misurate sono essenzialmente attribuibili al γ -HCH o lindano, principale isomero degli HCH: l'intervallo di concentrazione di questo isomero misurato va da 1,1 a 4,8 µg/kg p.s. Il valore di concentrazione del β -HCH è costantemente inferiore al limite di rilevabilità nelle condizioni analitiche adottate (0,01 µg/kg p.s.). I valori rilevati nell'area indagata, ed espressi come somma di isomeri (o HCHs), sono nel range 0,8-7,9 µg/kg p.s.; i valori medi superficiali per il Mar Mediterraneo riportati dall'UNEP sono pari a 2 µg/kg (UNEP, 1990).

Per quanto attiene gli HCB, sono stati misurati valori nel range di 0,09-1,4 µg/kg p.s.

Tabella 1a - Risultati analitici dei parametri considerati per i diversi livelli di campionamento dei sedimenti.

Liv. (cm)	Parametri analitici	A3	A5	A7	A10	A11	A15
(0-2)	Argilla (%)	51,4	61,0	57,5	64,3	66,6	55,3
	Sabbia (%)	3,5	1,0	2,3	1,8	1,2	0,3
	Silt (%)	45,1	37,4	40,2	33,9	32,2	44,4
	T.O.C. (%)	0,98	0,99	1,24	1,02	1,00	0,99
	N (%)	0,15	0,10	0,19	0,15	0,21	0,14
	DDs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	9,40	0,01	0,01	5,00	0,01	1,41
	HCB ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,75	1,34	1,38	0,48	0,01	0,44
	HCHs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	4,80	0,01	1,10	1,96	4,50	0,01
	PCBs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,03	0,01	0,01	69,4	0,01	0,65
(2-4)	Argilla (%)	48,6	68,6	63,2	62,0	67,0	52,7
	Sabbia (%)	10,3	0,6	1,7	2,4	0,6	1,1
	Silt (%)	41,1	30,8	35,1	35,6	32,4	46,2
	T.O.C. (%)	1,00	1,03	1,06	0,98	0,96	1,03
	N (%)	0,10	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16
	DDs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	8,50	0,80	1,00	23,5	15,5	2,00
	HCB ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,70	0,69	0,77	0,99	0,01	0,01
	HCHs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	7,90	0,02	1,50	0,01	0,01	0,01
	PCBs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	1,20	0,12	0,95	1,99	1,60	0,57
(4-6)	Argilla (%)	46,8	63,0	58,7	63,4	66,0	57,2
	Sabbia (%)	10,3	1,7	4,1	1,7	1,5	1,4
	Silt (%)	42,9	35,3	37,2	34,9	32,5	41,4
	T.O.C. (%)	0,97	0,97	1,11	0,94	0,88	0,90
	N (%)	0,15	0,16	0,26	0,14	0,15	0,13
	DDs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	1,06	0,01	21,0	21,0	25,4	0,01
	HCB ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	0,67	0,01	0,20	0,09
	HCHs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	1,49	0,01	0,85	0,01
	PCBs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,42	0,01	2,30	0,01	0,01	0,41
(6-8)	Argilla (%)	54,2	6,7	59,7	4,5	67,0	55,0
	Sabbia (%)	9,8	1,1	3,9	1,0	3,8	3,9
	Silt (%)	36,0	32,2	36,4	33,9	29,2	41,1
	T.O.C. (%)	0,92	0,96	1,08	0,93	0,87	0,90
	N (%)	0,14	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
	DDs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	1,70	0,96	0,40	11,7	0,01	1,10
	HCB ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,54	0,01	0,01	0,01	0,60	0,01
	HCHs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,43
	PCBs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,04	0,01	0,19	0,70	0,01
(8-10)	Argilla (%)	52,4	9,7	63,8	64,1	69,1	58,7
	Sabbia (%)	7,2	0,8	1,3	1,9	2,9	1,0
	Silt (%)	40,4	29,5	34,9	34,0	28,0	40,3
	T.O.C. (%)	0,92	0,89	1,05	0,92	0,82	0,92
	N (%)	0,18	0,19	0,15	0,13	0,14	0,15
	DDs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	1,40	0,96	1,80	14,8	0,01	0,01
	HCB ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,47	0,01	0,79	0,01	0,01	0,01
	HCHs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	2,50	0,01	0,01	0,01
	PCBs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tabella 1b - Risultati analitici dei parametri considerati per i diversi livelli di campionamento dei sedimenti.

Liv. (cm)	Parametri analitici	A3	A5	A7	A10	A11	A15
(10-12)	Argilla (%)	56,3	65,1	n.d.	n.d.	67,3	57,4
	Sabbia (%)	5,3	5,4	n.d.	n.d.	3,1	1,8
	Silt (%)	38,4	29,5	n.d.	n.d.	29,0	40,8
	T.O.C. (%)	0,91	0,82	1,05	0,93	0,93	1,01
	N (%)	0,14	0,18	0,15	0,18	0,20	0,15
	DDs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,42	0,21	7,40	37,0	0,77	1,41
	HCB ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,58	0,01	0,27	1,00	0,01	0,01
	HCHs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	1,50	0,01	3,00	1,60	1,40	0,13
	PCBs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,03	0,01	0,09	3,23	0,02	0,24
(12-14)	Argilla (%)	56,1	70,8	n.d.	n.d.	67,3	52,5
	Sabbia (%)	7,6	1,5	n.d.	n.d.	2,7	0,6
	Silt (%)	36,3	27,7	n.d.	n.d.	30,0	46,9
	T.O.C. (%)	0,92	1,03	1,02	0,89	0,77	0,88
	N (%)	0,15	0,19	0,13	0,13	0,13	0,13
	DDs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	2,06	0,80	1,20	6,00	1,47	0,01
	HCB ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,69	0,01	0,01	0,01	0,35
	HCHs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,02	0,01	0,01	0,48	0,01
	PCBs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,53	0,12	0,01	0,03	0,03	0,44
(14-16)	Argilla (%)	n.d.	63,0	n.d.	n.d.	71,6	57,2
	Sabbia (%)	n.d.	1,7	n.d.	n.d.	1,1	0,5
	Silt (%)	n.d.	35,3	n.d.	n.d.	27,3	42,3
	T.O.C. (%)	n.d.	0,97	n.d.	n.d.	0,84	0,82
	N (%)	n.d.	0,16	n.d.	n.d.	0,18	0,12
	DDs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,69
	HCB ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,15
	HCHs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,61
	PCBs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,17
(16-18)	Argilla (%)	n.d.	6,7	n.d.	n.d.	72,3	n.d.
	Sabbia (%)	n.d.	1,1	n.d.	n.d.	0,7	n.d.
	Silt (%)	n.d.	32,2	n.d.	n.d.	27,0	n.d.
	T.O.C. (%)	n.d.	0,96	n.d.	n.d.	0,76	n.d.
	N (%)	n.d.	0,16	n.d.	n.d.	0,17	n.d.
	DDs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,96	0,01	0,01	0,01	0,01
	HCB ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	HCHs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,55	0,01
	PCBs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,04	0,17	0,01	0,01	0,01
(18-20)	Argilla (%)	n.d.	9,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Sabbia (%)	n.d.	0,8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Silt (%)	n.d.	29,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	T.O.C. (%)	n.d.	0,89	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	N (%)	n.d.	0,19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	DDs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,96	0,01	0,01	8,40	0,01
	HCB ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,48	0,01
	HCHs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	PCBs ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = dato mancante

Correlazioni statistiche

I risultati del calcolo del coefficiente di correlazione di Pearson mostrano che le concentrazioni di HCHs e di HCB appaiono correlate con il TOC ($r = 0,47$; $p < 0,0001$ e $r = 0,304$; $p < 0,019$, rispettivamente), come evidenziato anche dall'applicazione della PCA (Fig. 2). Analogamente, risultano positivamente correlati i valori di TOC e di azoto organico ($r = 0,315$ $p < 0,015$).

Si evidenzia altresì una assenza di correlazione significativa fra dimensioni medie dei sedimenti e concentrazioni dei congeneri di PCB con l'unica eccezione della correlazione rilevata fra frazione sabbiosa ($> 63 \mu\text{m}$) e l'esaclorobifenile PCB 137.

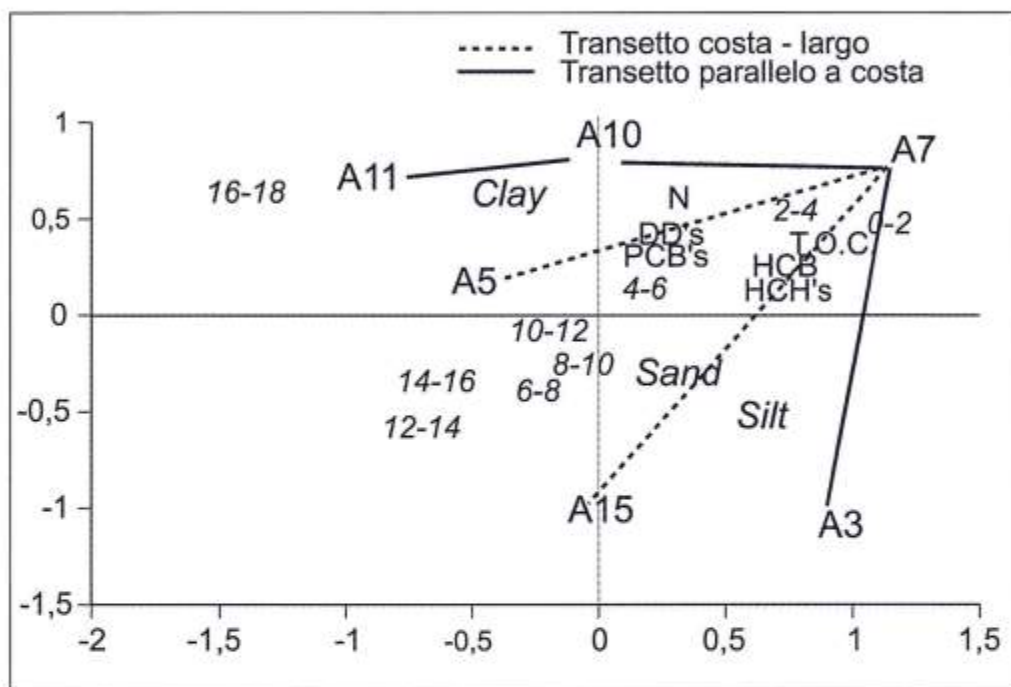


Figura 2 - Analisi fattoriale. Biplot del I e II fattore (variabilità spiegata 52,8%).

L'applicazione dell'analisi della varianza ad una via ha evidenziato la presenza di un significativo effetto "stazione di campionamento" ($p < 0,0001$) per tutte le variabili considerate ad eccezione degli HCHs e dei PCBs; in particolare, il risultato del test F di Fisher assume valori particolarmente elevati per le variabili TOC e silt ($F_{(6,37)} = 1120,2$ e $F_{(6,41)} = 1303,6$ rispettivamente) e per le variabili azoto organico e argilla ($F_{(6,41)} = 341,8$ e $F_{(6,41)} = 313,2$ rispettivamente).

Il test per confronti multipli di Newman Keuls evidenzia inoltre una significativa ($p < 0,05$) diminuzione della frazione argillosa lungo il transetto parallelo alla costa, nella direzione da nord a sud, ed una significativa ($p < 0,05$) diminuzione della frazione siltosa lungo il transetto costa-largo. La stessa comparazione mostra una significativa concentrazione di TOC, HCB e DDs rispettivamente nelle stazioni di campionamento più centrali, quali A7 ($p < 0,05$) ed A10 ($p < 0,05$).

Attraverso l'analisi discriminante è stato anche possibile definire quali, tra le variabili considerate, maggiormente discriminino i differenti punti di campionamento. I risultati mostrano che tutte le variabili considerate, ad eccezione di HCHs, PCBs e HCB, risultano essere altamente significative nel modello di discriminazione (Tab. 3; Figg. 3a e 3b) con la sola eccezione delle stazioni A5 ed A11, le quali rappresentano gli unici punti non bene discriminati.

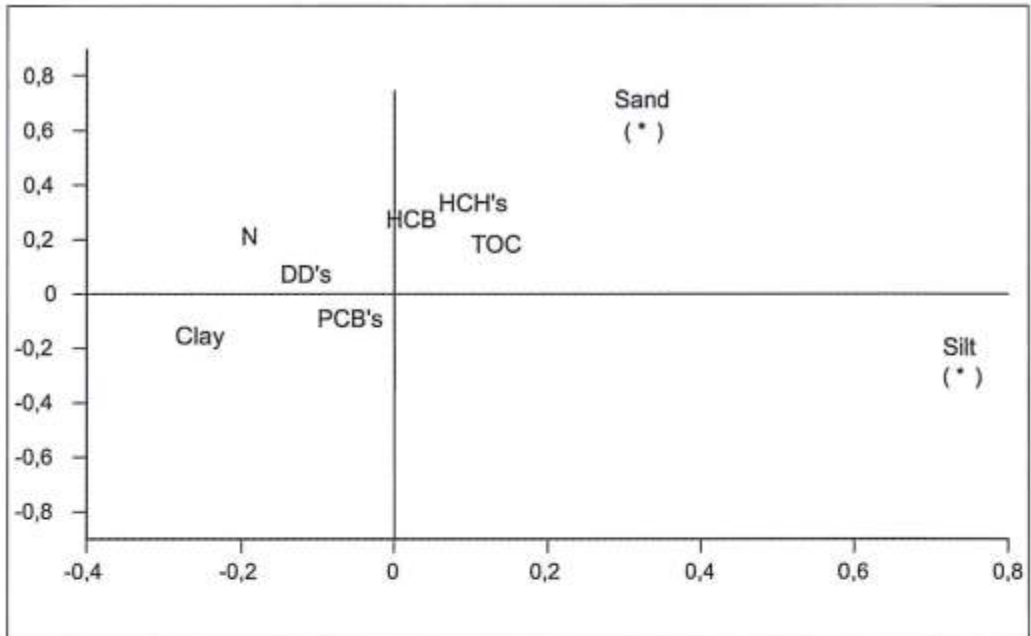


Figura 3a - Correlazioni comuni entro i gruppi tra variabili discriminanti e prima (asse X) e seconda (asse Y) funzione discriminante standardizzata. Variabili ordinate in base alla dimensione assoluta della correlazione entro la funzione (*) correlazione assoluta più grande tra ciascuna variabile e le funzioni discriminanti e variabili in neretto sono risultate significative nel modello al livello $p < 0,01$.

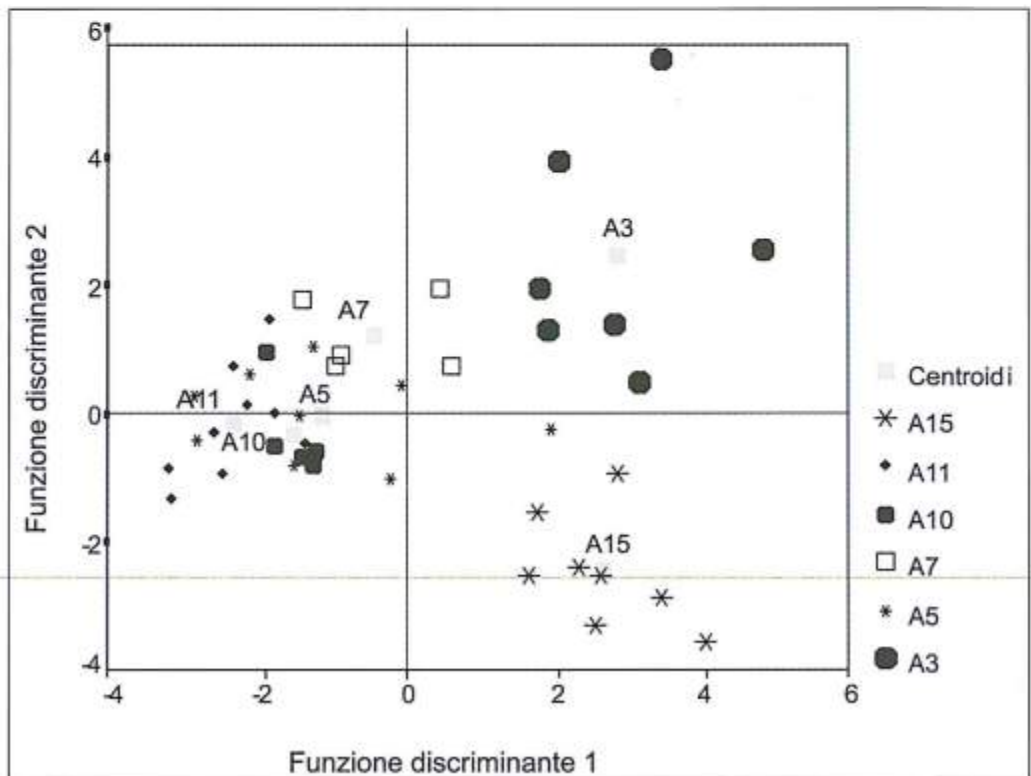


Figura 3b - Analisi discriminante. Rappresentazione delle prime due funzioni discriminanti canoniche.

Conclusioni

I livelli di concentrazione rilevati, misurati in peso secco di sedimento, sono indicativi di una diversificata contaminazione da POPs nell'area indagata.

In particolare, i livelli di PCBs rilevati nel range 0,02-2,3 µg/kg p.s. (con il solo valore di 69 µg/kg p.s. nel livello superficiale della stazione A10) corrispondono a valori molto bassi se comparati a livelli riportati in sedimenti del Tirreno (Cicero et al., in stampa; Romanelli et al., 1999) e in aree mediterranee (UNEP, 1990; Pièrard, 1996).

Viceversa, per i pesticidi clorurati i range rilevati dimostrano una incidenza di contaminazione derivata dall'attività agricola abbastanza elevata (UNEP, 1990) anche se non recente: infatti il DDT risulta assente, mentre sono presenti i suoi prodotti di degradazione DDE e DDD. Il confronto fra i livelli di concentrazione relativi ai pesticidi e quelli relativi ai PCBs depongono, infine, per una minore incidenza dell'attività industriale rispetto a quella agricola nell'area di indagine.

Per quanto più spesso si osservino valori pari al limite di rilevabilità analitica lungo gli strati più profondi della carota, pur tuttavia è possibile osservare che, dal livello superficiale e fino al livello 18-20 cm, manca un limite verticale al di sotto del quale è possibile affermare che siano sempre assenti i composti in studio: è piuttosto possibile osservare invece una presenza disomogenea della concentrazione lungo tutta la carota; questo comportamento, è stato interpretato, in particolare per i PCBs, come conseguenza di una loro possibile movimentazione verticale nel sedimento (Brown, 1990). Ove si consideri, infine, che valori di concentrazione di POPs sono stati osservati fino ad un livello verticale del sedimento di 20 cm, è possibile supporre che tale strato non corrisponda ancora, almeno per la classe dei pesticidi clorurati, al periodo "preindustriale".

Per quanto attiene alle relazioni fra le variabili indagate, una correlazione significativa si osserva fra TOC e frazione siltosa, valori di HCB, di γ -HCH (lindano) e di azoto organico; il valore dell'azoto organico risulta correlato anche ai DDD. La correlazione fra TOC e frazione siltosa è coerente con quanto rilevato da Pièrard (1996); in accordo con lo stesso Autore sono anche i nostri risultati di non correlazione osservata fra concentrazione di PCBs e valore di TOC nel sedimento, nonostante si possa in generale parlare di affinità fra TOC e PCBs (Pièrard, 1996).

Non si evidenzia una correlazione significativa fra concentrazione di PCB e dimensioni medie dei sedimenti, con l'eccezione sopra riportata per il PCB 137. Questo risultato necessita di ulteriori approfondimenti essendo coerente con quanto da noi già evidenziato in sedimenti portuali (Cicero et al., 2001) ma in parziale disaccordo con i risultati presentati da altri Autori in aree di piattaforma (Canton e Grimalt, 1991; Pièrard et al., 1996). È stato osservato, quindi, come l'analisi statistica permetta di evidenziare l'esistenza, nell'area indagata, di una disomogeneità nella distribuzione dei parametri in esame e una diversa correlazione fra gli stessi. Tali evidenze portano a concludere come non sembra che la presenza e, quindi, la diffusione dei Policlorobifenili sia associata ad una specifica classe dimensionale del sedimento né sia correlata alla presenza di sostanza organica, verso la quale, tuttavia, tali composti mostrano una certa affinità. Viceversa, il sedimento più ricco in sostanza organica e in frazione siltosa appare correlato ad alcune molecole di pesticidi, quali HCB, lindano e DDD. Per tali composti, pertanto, può giocare un ruolo significativo nella dispersione ambientale, la percentuale di sostanza organica e di silt nel sedimento.

In conclusione, i risultati emersi dallo studio in questione rappresentano una implementazione di elementi conoscitivi relativi ai livelli di presenza di POPs in ambienti costieri, nonché relativi ai parametri che possono influenzare la distribuzione di questi composti nel comparto sedimento.

L'applicazione di opportune tecniche statistiche gioca un ruolo importante nel discriminare i pesi relativi delle singole variabili coinvolte nel destino ambientale di queste classi di composti, così come nella interpretazione dei risultati ottenuti e nella formulazione di un giudizio sulla qualità chimica dei sedimenti indagati.

Bibliografia

- Brown J.F. Jr e Wagner R.E. (1990) - *PCB movement, dechlorination, and detoxication in the Acushnet estuary*. Environmental Toxicology and Chemistry, 9: 1215-1233.
- Canton L. e Grimalt J.L. (1991) - *Distributions of river-transported halogenated biphenils and terphenyls in coastal environments*. Chemosphere, 3: 327-341.
- Cicero A.M., Gabellini M., Morlino R. e Veschetti E. (1998) - *Livelli di contaminanti organoalogenati in sedimenti del porto di Piombino da sottoporre ad escavo: aspetti di gestione ambientale*. Biologia Marina Mediterranea, vol 5: 780-784.
- Cicero A.M., Pietrantonio E., Romanelli G. e Di Muccio A. (2000) - *Comparison of Soxhlet, Shaking and Microwave Assisted Extraction Techniques for Determination of PCB Congeners in a Marine Sediment*. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 65: 307-313.
- Cicero A.M., Finoia M.G., Gabellini M. e Veschetti E. (2000) - *Concentration and distribution of persistent organic pollutants (POPs) in harbour dredging sediments: a pilot study using a statistical approach for a more efficient characterization and management*. Environmental Monitoring & Assessment, 64: 607-616.
- Cicero A.M., Mecozzi M., Morlino R., Pellegrini D. e Veschetti E. (2001) - *Distribution of chlorinated organic pollutants in harbour sediments of Livorno (Italy): a multivariate approach to evaluate dredging sediments*. Environmental Monitoring & Assessment 71: 297-316.
- Chiocci F.L., La Monica G.B and Ombrone scientific party. (1997) - *Present day sedimentary processes on central Tyrrhenian continental Shelf as the results of a 20 KYR environmental evolution*. Abstract Volume International Progress in Oceanography of the Mediterranean sea: 263-264.
- EU. 1998. Doc.ECB4/33/98; Rev.1.
- Laane R.W.P.M. (1992) - *Background concentrations of natural compounds in river, sea water, atmosphere and mussels*. Report DGW-92.033. October, 1992.
- Leoni L., Sartori F. e Niccolai I. (1995) - *Metalli pesanti nei sedimenti attuali della piattaforma costiera toscana*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali. Mem., Serie A, Suppl., vol. CII: 23-60.
- Nieuwenhuize J., Maas Y. E. e Middelburg M. (1994) - *Rapid analysis of organic carbon and nitrogen in particulate materials*. Mar. Chem. 45: 217-224.
- Ministero dell'Ambiente (1999) - *Politiche Ambientali in Italia: un anno di attività del ministero dell'Ambiente*.
- Klamer J.C., Hegeman W.J.M e Smedes F. (1990) - *Comparison of grain size correction procedures for organic micropollutants and heavy metals in marine sediments*. Hydrobiologia, 208: 213-220.
- Ortolani U. (2000) - *Sismostratigrafia dei depositi recenti di piattaforma dal Canale di Piombino al Monte Argentario*. Tesi di laurea inedita in Scienze Geologiche. Università degli Studi di Roma "La Sapienza".
- Piérard C., Budzinski H. e Garrigues P. (1996) - *Grain-size distribution of Polychlorobiphenyls in Coastal sediments*. Environ. Sci. Technology, 30: 2776-2783.
- Romanelli, G., Pietrantonio E. e Cicero A.M. (2000) - *Composti organoclorurati in sedimenti marini di piattaforma dell'Italia Centrale: dati relativi ad un'area al largo di Fiumicino*. Biol. Mar. Medit, 7: 925-928.
- Romano E., Gabellini M., Pellegrini D., Ausili A. e Mellara F. (1998) - *Metalli in tracce e contaminanti organici provenienti da differenti aree marine costiere in relazione alla movimentazione dei fondali*. Atti 12° Congresso A.I.O.L. Isola di Vulcano 18-21 Settembre 1996, Vol. II: 473-486.
- Romano E., Finoia M.G., Cicero A.M., Ausili A., Schiavetti A., Spaziani R. e Gabellini M. (2001) - *Caratterizzazione chimico-fisica di sedimenti marini in un settore della piattaforma continentale costiera (Mar Tirreno centrale)*. Sottoposto Studi Costieri.
- Salau J.S.I.; Tauler R., Bayona J. M. e Tolosa I. (1997) - *Input characterization of sedimentary organic contaminants and molecular markers in the northwestern Mediterranean sea by exploratory data analysis*. Environ. Sci. Technology, 31: 3482-3490.
- UNEP/FAO/WHO/IAEA (1990) - *Assessment of the State of Pollution of the Mediterranean Sea by Organohalogen Compounds*. Map Technical Reports Series n°39. Athens.

UNEP (1996) - *State of the Marine and Coastal Environment in the Mediterranean Region*. MAP Technical Reports Series n° 100. UNEP. Athens.

UNEP (2001) - *International Legally Binding Instrument for Implementing International Action on Certain Persistent Organic Pollutants*. Conference of Plenipotentiaries on the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Stockholm, 22-23 May 2001.

Manoscritto ricevuto il 28/7/2001, accettato il 23/1/2002.

Il sistema deltizio del Fiume Ombrone: determinazione delle velocità di sedimentazione mediante metodi radiometrici

Giorgio Belluomini ¹, Marilù Branca ², Salvatore Improta ³, Luigia Manfra ⁴,
Valerio Ruscito ⁵, Pierluigi Vesica ¹, Mario Voltaggio ²

¹Istituto per le tecnologie applicate ai Beni Culturali, Area della Ricerca di Montelibretti (Roma), C.N.R.

²Centro di Studi per il Quaternario e l'Evoluzione Ambientale, Roma, C.N.R.

³Dipartimento di Fisica, Università La Sapienza, Roma.

⁴Dipartimento di Scienze della Terra, Università La Sapienza, Roma.

⁵ICRAM.

Riassunto

È stata determinata la velocità di sedimentazione nell'area antistante il delta del Fiume Ombrone applicando i metodi radiometrici del ¹⁴C, dei disequilibri radioattivi della serie del ²³⁸U e ²³²Th, dei radionuclidi da fall-out sia artificiali (¹³⁷Cs) che naturali (²¹⁰Pb).

La velocità media di sedimentazione nel periodo preistorico (9000-3000 anni B.P.) è risultata di circa 0,05 cm/anno, mentre quella attuale, riferita agli ultimi 50 anni circa, è risultata molto più elevata, pari a 0,3 cm/anno. Tale aumento riflette l'incremento di erosione, dovuto all'azione antropica, all'interno del bacino idrogeologico del Fiume Ombrone e degli altri corsi d'acqua più meridionali che concorrono con il loro materiale alla sedimentazione in questa zona. La distribuzione areale delle velocità di sedimentazione attuali mette in evidenza l'azione delle correnti nella sedimentazione e permette di valutare il volume annuo di materiale (4,4 milioni di metri cubi) che sedimenta nell'area dove sono stati prelevati i campioni analizzati.

Parole chiave: velocità di sedimentazione, radionuclidi, Fiume Ombrone

Abstract

The sedimentation rates in the area of the Ombrone River delta have been estimated by using the radiometric methods of ¹⁴C, of the radioactive disequilibrium of the ²³⁸U and ²³⁰Th series and of the artificial (¹³⁷Cs) and natural (²¹⁰Pb) fallout radionuclides. The average sedimentation rate in the prehistoric period (9000-3000 years B.P.) has been estimated to be close to about 0,05 cm/y about, while the present one, referred to the last 50 years, has proven to be much higher, i.e. about 0,3 cm/y.

This rise reflects the increase of the erosion due to the anthropic action inside the hydrogeologic basin of the Ombrone River and of the other more southern rivers which contribute with their material to the sedimentation of this area. The areal distribution of the rates of the present sedimentation highlights the action of the currents during sedimentation and it allows to evaluate the annual volume of the material (4,4 millions of m³) which settles in the sampled area.

Key-words: sedimentation rate, radionuclides, Ombrone River

Introduzione

Il Fiume Ombrone attraversa un territorio di natura litologica molto varia (i.e. sedimenti del complesso autoctono Toscano, argille con calcari palombini, calcari e marne Triassici della Falda Toscana,

gruppo del Verrucano Autoctono, trachiti quaternarie, etc.) ma esso insiste soprattutto su argille marose grigio azzurre plioceniche (*Structural Model of Italy*, Foglio n. 3, scala 1:500.000 - C.N.R., Progetto Finalizzato Geodinamica, 1992). Ne consegue che il materiale trasportato e scaricato a mare è alquanto fine, con un rapporto tra trasporto torbido e trascinamento al fondo intorno a 5,3 ed un deflusso solido totale annuo stimato attorno a 1.600.000 m³ (Bartolini, 1983).

Secondo Innocenti e Pranzini (1993), l'apparato deltizio nel periodo storico ha subito momenti di accrescimento ed arretramento: i primi corrisposero probabilmente a momenti di sviluppo demografico della Toscana meridionale, con incremento dell'erosione del suolo conseguentemente alla deforestazione ed espansione dell'agricoltura; i secondi, invece, potrebbero coincidere con crisi economico-demografiche che mitigarono l'azione antropica sugli equilibri naturali della zona.

I sedimenti apportati dall'Ombrone sono notevolmente soggetti all'azione delle correnti costiere, soprattutto quelle più forti dirette verso NO e generate dai venti di scirocco, tuttavia esistono anche correnti dirette verso SE, provocate da venti di ponente e libeccio, che possono portare il materiale solido fino alle coste dell'Argentario, come è stato messo in evidenza dagli studi sui percorsi compiuti da traccianti artificiali (Aiello et al., 1975).

Lo studio della velocità di accumulo dei sedimenti, nel bacino di sedimentazione marina prospiciente la foce del Fiume Ombrone, è stato quindi intrapreso innanzitutto per verificare se e quanto i fattori antropici attuali abbiano modificato l'apporto solido del fiume rispetto al periodo preistorico. Un altro obiettivo è quello di delineare l'andamento areale attuale della sedimentazione per tentare una correlazione con l'andamento delle correnti marine. A tale scopo sono stati utilizzati cinque differenti metodi radiometrici: il metodo del ¹⁴C, il disequilibrio radioattivo ²³⁰Th/²³⁴U, il metodo dell'eccesso del ²³⁰Th, i metodi basati sui radionuclidi da fall-out di prodotti di fissione (¹³⁷Cs) e da fall-out di radionuclidi naturali (²¹⁰Pb).

La velocità di sedimentazione off-shore in una certa area, in effetti, riflette sostanzialmente la velocità di erosione dei bacini idrogeologici dei fiumi che forniscono l'apporto solido in quella zona; pertanto la sua misura rappresenta un punto di riferimento per controllare l'andamento del fluviale ed anche l'efficacia dell'insieme delle singole azioni di difesa del suolo intraprese in quei bacini.

Campionamento e Metodi

I campioni analizzati in questo lavoro sono stati acquisiti nelle Campagne Oceanografiche Ombrone 1994 e Maremma 1996 per mezzo della nave Urania (Fig. 1).

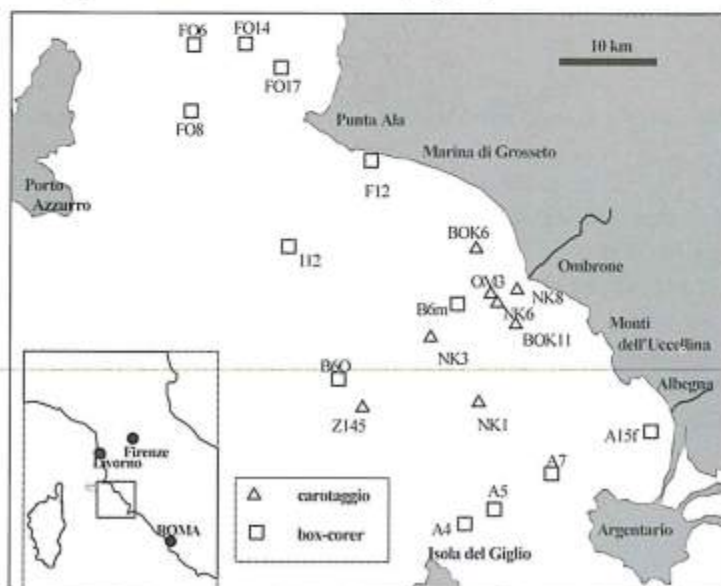


Figura 1 - Localizzazione dei campioni analizzati.

Radiocarbonio

Sono state eseguite più di 30 datazioni Radiocarbonio su sedimenti provenienti da 5 carote prelevate nella coltre sedimentaria del delta sommerso del Fiume Ombrone (NK8, NK6, OM3, BOK6, BOK11) e da 3 carote campionate al largo dell'apparato deltizio (NK3, NK1, Z145).

I campioni sono costituiti da limi argillosi nei quali è presente una frazione carbonatica e una frazione organica, quest'ultima spesso piuttosto scarsa. Le analisi al ^{14}C sono state eseguite col metodo dei contatori proporzionali e con quello dei contatori a scintillatore liquido. Esse sono state condotte, quando possibile, su entrambe le frazioni, tenendo presente che la sostanza organica costituisce un materiale di ampia affidabilità per quanto concerne le determinazioni cronologiche, mentre la datazione sulla frazione carbonatica, più che per scopi cronologici, può essere utile per valutazioni di carattere paleoambientale in quanto risente notevolmente degli apporti di carbonato continentale. Le date sono state calibrate secondo il metodo CALIB 3.0 (Stuiver e Reimer, 1993).

Disequilibrio radioattivo $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$

Sono stati prelevati due campioni di molluschi provenienti dal carotaggio NK3: un campione di *Ostrea* a 4 m di profondità e un campione di *Cassidaria echinophora* a 1,4 m di profondità (Fig. 2).

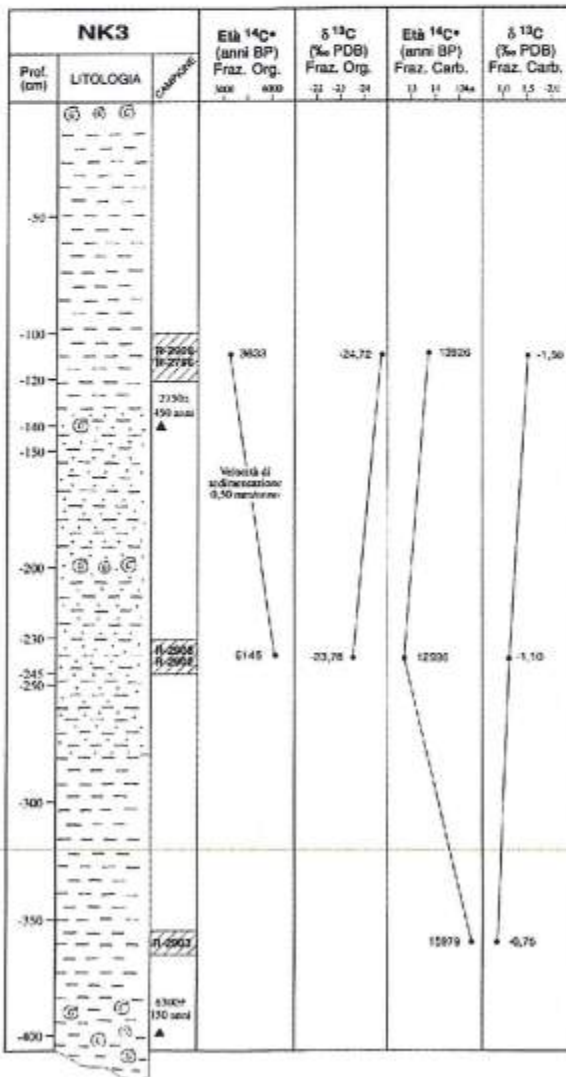


Figura 2 – Stratigrafia ed analisi radiometriche della carota NK3. Età apparente del fondale marino (top-age): 1433 anni. * Età media calibrata.

Il sistema può considerarsi chiuso da un punto di vista geochimico in quanto i campioni si trovavano all'interno di una matrice argillosa, poco permeabile quindi all'azione di fluidi diagenetici. I campioni sono stati trattati ed analizzati utilizzando la metodologia descritta in Romano et al. (1994).

Metodo dell'eccesso del ^{230}Th

Sono stati analizzati 8 campioni di sedimento provenienti dalla carota NK3 per la determinazione del rapporto di attività $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ e della quantità di Torio seguendo la procedura descritta in Goldberg e Koide (1962). Una delle assunzioni del metodo dell'eccesso del ^{230}Th è che la velocità di sedimentazione sia sufficientemente bassa da consentire l'adsorbimento sulle particelle argillose del ^{230}Th generato dall'Uranio presente nell'acqua di mare. Tuttavia i risultati degli altri metodi hanno messo in evidenza che le velocità di sedimentazione nella zona sono in realtà di due ordini di grandezza superiori a quelle presenti nei fondali oceanici, ambiente in cui il metodo è stato applicato con successo.

^{137}Cs e ^{210}Pb

I metodi radiometrici del ^{137}Cs e del ^{210}Pb per la determinazione delle velocità di sedimentazione *off-shore* consentono di coprire intervalli di tempo rispettivamente di circa 50 e 100 anni dal presente (Robbins e Edgington, 1975). Entrambi i metodi si basano sulla capacità del particolato fine di adsorbire con alti coefficienti di adsorbimento il Cesio ed il Piombo.

Nel caso del metodo del ^{137}Cs la velocità di sedimentazione è data dalla distanza in cm dei picchi di concentrazione corrispondenti a due momenti di massiccia introduzione nell'atmosfera di questo radioisotopo prodotto dalla fissione del ^{235}U : il 1963, per *fall-out* radioattivo da esperimenti nucleari nell'atmosfera, ed il 1986, per *fall-out* radioattivo dovuto all'incidente nucleare della centrale di Chernobyl (Fig. 3). Inoltre, quando il tasso di sedimentazione è molto elevato, si può calcolare, dalla larghezza del picco relativo all'evento di Chernobyl, il tempo medio di trasferimento del sedimento fine dal bacino fluviale al bacino di sedimentazione.

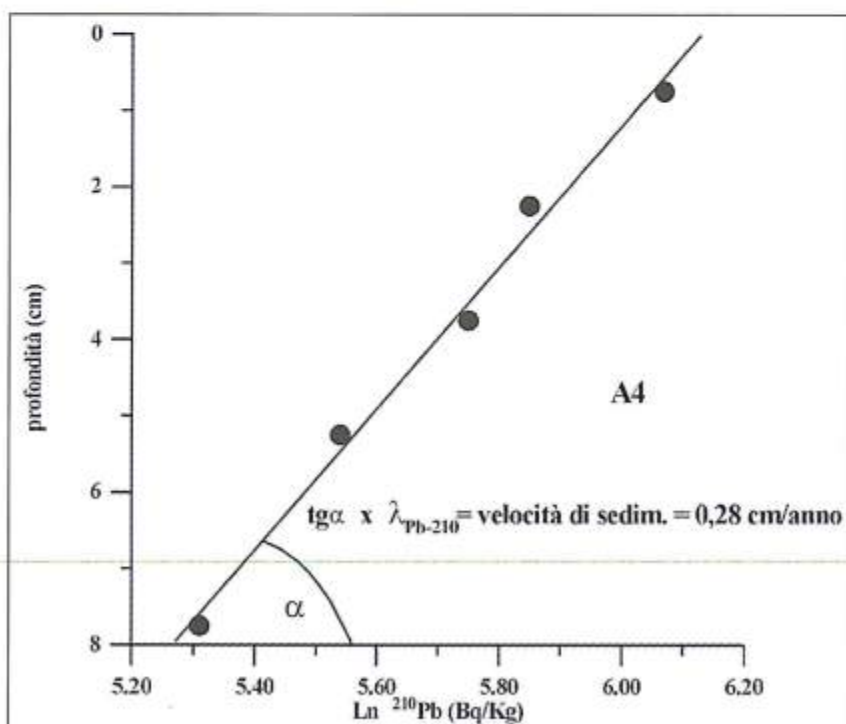


Figura 3 - Concentrazione di ^{137}Cs (Bq/kg) nella carotina B6O. I picchi di concentrazione degli anni 1963 e 1986 consentono di determinare la velocità di sedimentazione. Il ^{137}Cs presenta anche picchi minori, prima del 1963, dovuti alle esplosioni nucleari degli anni '50.

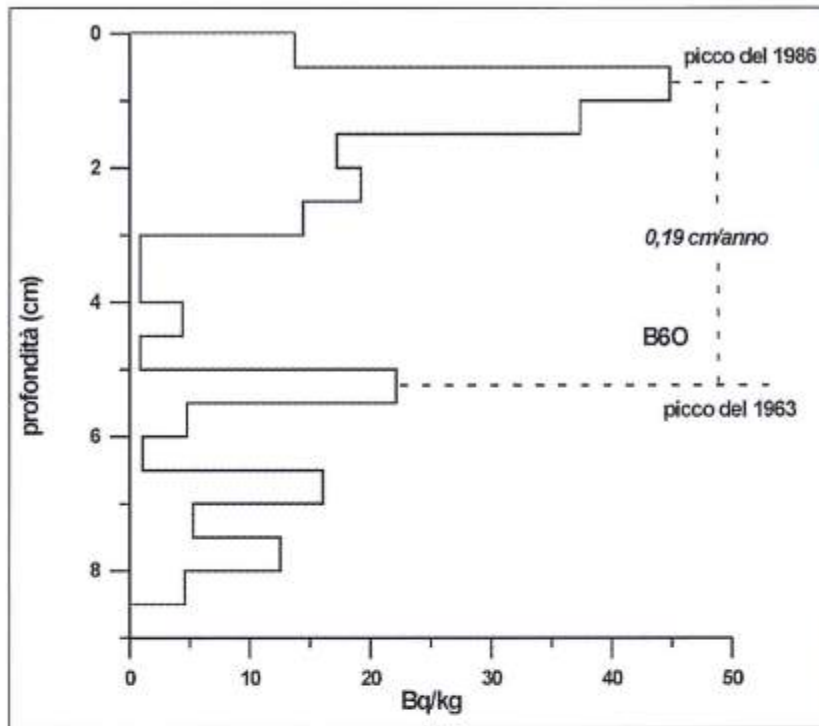


Figura 4 - Velocità di sedimentazione nella carotina A4 misurata con il metodo del ^{210}Pb . λ ^{210}Pb : $0,031 \text{ a}^{-1}$.

Il metodo del ^{210}Pb , radioisotopo prodotto dal decadimento del ^{222}Rn , si basa invece sull'assunzione che la quantità di ^{210}Pb apportato ogni anno dall'atmosfera al suolo attraverso la pioggia sia costante e che il particolato fine, mobilizzato dal bacino, contenga una quantità costante di ^{210}Pb nel corso del tempo. Se queste assunzioni sono rispettate, diagrammando il logaritmo dell'attività del ^{210}Pb contro la profondità del campione, si deve ottenere una retta la cui pendenza è funzione della velocità di sedimentazione (Fig. 4).

Poiché le carote non permettono di conservare i primi centimetri di sedimento che vengono perduti per l'azione meccanica del carotiere, le analisi di ^{137}Cs e ^{210}Pb sono state condotte sul sedimento indisturbato prelevato attraverso il metodo del box-corer, da cui sono state ottenute delle carotine di circa 25 cm di lunghezza.

I campioni analizzati in questo studio sono stati 121 subcampioni per il ^{137}Cs , provenienti da 8 carotine (FO14, B6M, B6O, I12, F12, A7, A4, FO17) e 41 subcampioni per il ^{210}Pb provenienti da 7 carotine (A15, FO6, FO8, A5, A7, A4, FO17).

Tre carotine (A7, A4, FO17) sono state analizzate sia per il ^{137}Cs che per il ^{210}Pb al fine di confrontare i due metodi, per cui le carotine, e quindi i punti per i quali è stata ottenuta la velocità di sedimentazione sono in totale 12 (Fig. 1).

Le analisi, eseguite su sezioni delle carotine aventi uno spessore in alcuni casi di 0,5 ed in altri di 1 cm, sono state effettuate mediante spettrometria gamma ad alta risoluzione utilizzando un rivelatore planare al Germanio Intrinseco (G.I.) per il ^{210}Pb ed un rivelatore coassiale al G.I. per il ^{137}Cs .

Risultati e Discussione

Radiocarbonio

Soltanto quattro carote (Z145, NK3, BOK6 ed OM3) presentano più di un livello databile con il radiocarbonio (Tab. 1), pertanto è stata calcolata la velocità di sedimentazione solo in queste carote.

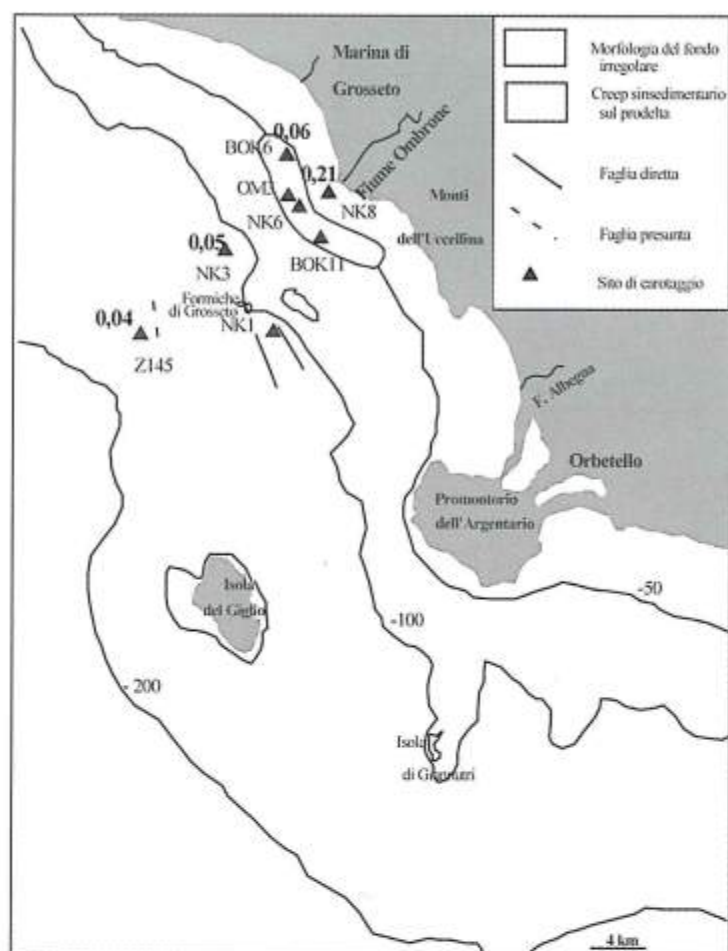


Figura 5 - Siti delle carote analizzate e velocità di sedimentazione preistoriche (valori in grassetto, cm/anno) ottenute con le datazioni C-14.

Infatti, un solo livello datato non permette di ricavare un valore attendibile della velocità di sedimentazione in quanto le top-ages (età dei livelli sedimentari superficiali) sono sempre diverse da zero: in particolare, l'apparente invecchiamento del fondale marino è causato dal tempo naturale di deposizione del Carbonio dalla colonna d'acqua sovrastante (effetto reservoir), da fenomeni di rimaneggiamento e bioturbazione, e dalla perdita meccanica di sedimento che avviene durante il carotaggio. Tale perdita è dimostrabile anche dall'assenza di ^{137}Cs nel livello sommitale delle carote esaminate. Le 4 carote databili sono quasi allineate lungo un transetto a distanza crescente dalla foce del fiume. Le carote OM3 ed BOK6 sono state ottenute ad una distanza rispettivamente di circa 3 e 6 km dalla foce, NK3 a circa 11 km e Z145, la più distale, a più di 20 km (Fig. 5).

Le velocità di sedimentazione risultano comprese tra 0,04 e 0,06 cm/anno tranne che per le carote OM3, per la quale si è ottenuto un valore di 0,21 cm/anno intorno ai 6000 anni B.P., e per la carota BOK6 nella quale, intorno ai 6400 anni B.P., si è avuta una deposizione quasi simultanea di sedimento per circa un metro di spessore. Questi valori sono dovuti probabilmente al fatto che le carote sono state prelevate all'interno di una zona di creep sinsedimentario sul prodelta del fiume Ombrone, zona che potrebbe essere stata interessata da accumuli improvvisi di materiale franato.

Le velocità di sedimentazione di tutte le altre carote si riferiscono ad un periodo compreso tra i 6000 e i 3000 anni B.P. circa, tranne che per la carota Z145, la cui velocità di sedimentazione si riferisce ad un periodo compreso tra 9000 e 5000 anni B.P. Le velocità di sedimentazione calcolate si riferiscono quindi ad un periodo in cui era assente una sensibile influenza antropica sull'ambiente e la loro distribuzione varia in modo congruente con la distanza dalla foce dei punti di campionamento.

Disequilibrio radioattivo $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$

I risultati delle datazioni sui campioni di molluschi della carota NK3 sono riportati in Tabella 2.

Le età ottenute sono rispettivamente di 2750 anni B.P. (*Cassidaria echinophora*) e 6300 anni B.P. (*Ostrea*), età da cui è possibile calcolare una velocità di sedimentazione pari a 0,073 cm/anno, coerente quindi con quella calcolata con il ^{14}C per la medesima carota anche se in un intervallo di tempo non identico (Fig. 2).

Tabella 1 – Radiocarbonio: risultati delle analisi.

Sigla lab.	Campione	Profondità (cm)	Età (anni BP)	Età calibrata (anni BP)	$\Delta^{13}\text{C}$ (PDB)
R-2799	C-NK8	121-140	20'937 ± 213	—	-1.68
R-3147'	O-OM3	170-180	4'850 ± 70	5'648 ± 5489	—
R-3148'	O-OM3	295-305	5'373 ± 69	6'278 ± 6'038	-24.78
R-2795	C-NK6	6-29	18'524 ± 152	21'891 ± 21'386	-1.40
R-2407	C-NK6	148-170	18'376 ± 105	21'665 ± 21'235	-1.66
R-2408	C-NK6	335-360	19'458 ± 140	—	—
R-2975	C-BOK11	2-27	18'920 ± 157	—	-1.41
R-2981	C-BOK11	132-160	17'620 ± 200	20'774 ± 20'082	-1.97
R-2983	C-BOK11	242-268	17'415 ± 183	20'463 ± 19'815	-2.13
R-3113	O-BOK11	242-268	5'465 ± 69	6'305 ± 6'196	-24.54
R-2982	C-BOK6	2-34	16'130 ± 159	18'795 ± 18'435	-1.75
R-2986	C-BOK6	122-150	17'580 ± 174	20'691 ± 20'057	-1.53
R-2987	C-BOK6	222-250	17'245 ± 165	20'185 ± 19'609	-2.08
R-2431'	O-BOK6	2-34	2'715 ± 51	2'854 ± 2'760	-25.62
R-2434'	O-BOK6	122-150	5'570 ± 75	6'410 ± 6'294	-26.02
R-2436	O-BOK6	222-250	5'625 ± 65	6'460 ± 6'313	-26.21
R-2796	C-NK3	100-120	12'339 ± 142	14'129 ± 13'723	-1.50
R-2902	C-NK3	230-245	11'485 ± 99	13'104 ± 12'892	-1.10
R-2903	C-NK3	355-365	13'746 ± 140	16'167 ± 15'792	-0.75
R-2909'	O-NK3	100-120	3'395 ± 193	3'873 ± 3'394	-24.72
R-2908'	O-NK3	230-245	5'390 ± 113	6'296 ± 5'995	-23.76
R-2794	C-NK1	0-23	13'207 ± 110	15'347 ± 14'886	-0.97
R-2797	C-NK1	120-143	10'795 ± 74	12'411 ± 12'149	-1.09
R-2911	O-NK1	120-143	2'857 ± 67	3'068 ± 2'865	-22.44
R-2995	C-Z145	4-32	8'760 ± 86	9'456 ± 9'326	-0.43
R-2996	C-Z145	164-192	10'945 ± 90	12'584 ± 12'344	-0.59
R-3100	C-Z145	364-392	29'790 ± 740	—	—
R-2438'	O-Z145	4-32	4'388 ± 94	5'211 ± 4'850	-23.55
R-2439'	O-Z145	164-192	8'034 ± 121	9'141 ± 8'650	-23.50
R-2440	O-Z145	364-392	>37'600	—	-25.00

O = frazione organica; C = frazione carbonatica; ' campioni utilizzati per calcolare il tasso di sedimentazione.

Tabella 2 - Risultati delle analisi su *Ostrea* e *Cassidaria Echinophora*. I rapporti isotopici sono espressi in termini di attività radiometrica. L'età è espressa in anni.

Campione	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	U_{ppm}	Profondità (cm)	Età ($\pm 1\sigma$)
<i>Ostrea</i>	0,057 ± 0,002	15,0 ± 1,5	1,126 ± 0,013	2,38 ± 0,06	-395	6320 ± 170
<i>Cassidaria</i>	0,025 ± 0,004	>30	1,170 ± 0,074	0,35 ± 0,02	-140	2750 ± 450
<i>Echin.</i>						

Metodo dell'eccesso del ^{230}Th

Dalla Figura 6 si osserva che la concentrazione di Torio è inversamente correlata al rapporto di attività $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$. Inoltre tale rapporto tende a diminuire nei livelli più superficiali. Questo andamento è l'opposto di quello teorico che si avrebbe se il Torio fosse principalmente di origine marina.

In realtà, il torio presente nei sedimenti è riconducibile totalmente a quello terrigeno, che nella zona tosco-laziale è prevalentemente associato alle vulcaniti quaternarie alcalino potassiche a contenuto in Th assai elevato (Locardi e Siriana, 1985) presenti nei bacini di alimentazione dell'Ombrone e degli altri corsi d'acqua immediatamente a sud dell'Ombrone (Albegna, Fiora, Mignone, Tevere) il cui carico solido può essere trasportato verso la zona in studio. Quindi l'andamento potrebbe essere spiegato con l'aumento nel tempo dell'erosione delle vulcaniti dell'area per azione antropica.

^{137}Cs e ^{210}Pb

Le velocità di sedimentazione misurate vanno da un minimo di 0,07 cm/anno ad un massimo di 0,60 cm/anno con una media di circa 0,28 +/- 0,16 (^{210}Pb) e 0,27 +/- 0,16 (^{137}Cs) cm/anno (Tab. 3).

Le velocità misurate nelle tre carotine di confronto differiscono tra il 3 ed il 24%, una differenza che può ritenersi pienamente accettabile tenendo presente le assunzioni fatte precedentemente.

La distribuzione spaziale delle velocità di sedimentazione ricostruita con il metodo di interpolazione del *kriging ordinario* (Franceschi et al., 1996) (Fig. 7), consente di osservare un massimo di velocità a SE della foce dell'Ombrone, immediatamente a NO del Monte Argentario, ed una tendenza costante al decremento in direzione NO e O. In sostanza le linee di isovelocità tendono a disporsi quasi perpendicolarmente rispetto alla linea di costa a Nord della foce dell'Ombrone per poi assumere un andamento parallelo alla costa in prossimità della stessa foce.

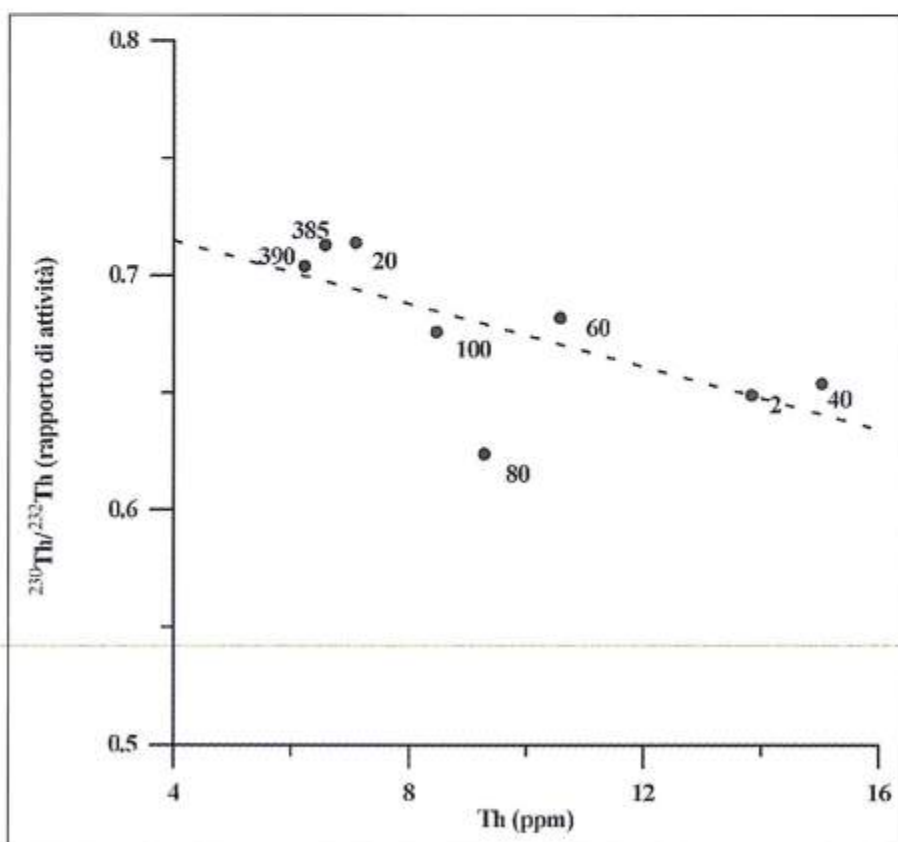


Figura 6 - Andamento del rapporto di attività $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ con la concentrazione di Th nella carota NK3. I numeri accanto ai simboli rappresentano la profondità (in cm) dei campioni all'interno della carota.

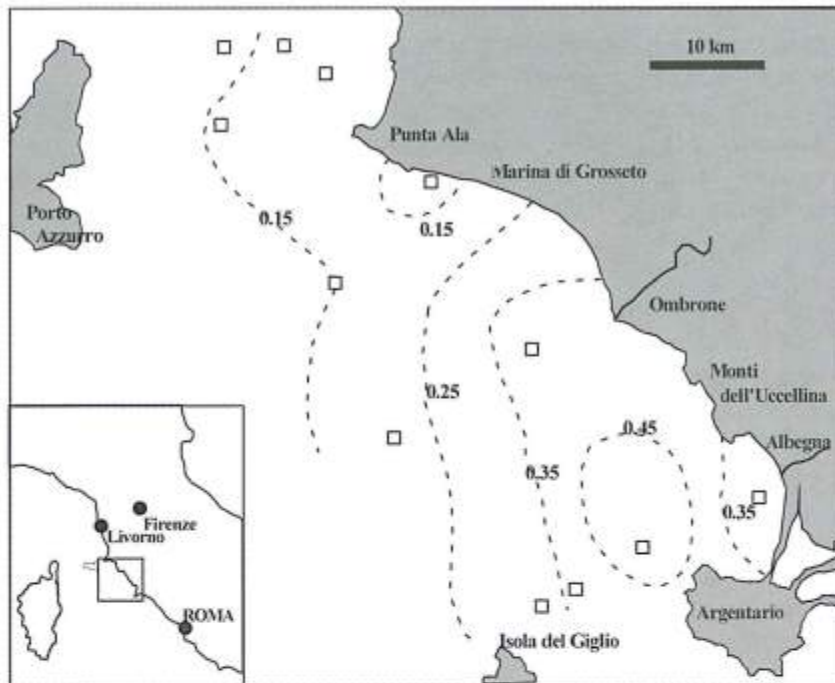


Figura 7 - Carta delle velocità di sedimentazione attuale (cm/anno). I quadrati rappresentano i punti di prelievo delle carotine. La sedimentazione totale annuale nell'area all'interno della quale insistono le isolinee tratteggiate è fdi circa 4,4 milioni di metri cubi di sedimento. Si noti il massimo valore di velocità a NO del promontorio dell'Argentario.

Tabella 3 - Velocità di sedimentazione attuali ottenute con i metodi del ^{210}Pb e del ^{137}Cs (cm/anno).

Campione	¹ v.s. ^{210}Pb	¹ v.s. ^{137}Cs	² Subcamp. ^{210}Pb	² Subcamp. ^{137}Cs
A15F	0,28	—	5	—
FO6	0,068	—	7	—
FO8	0,16	—	5	—
A5	0,38	—	8	—
FO14	—	0,25	—	16
B6M	—	0,43	—	16
B6O	—	0,19	—	16
I12	—	0,15	—	16
F12	—	0,13	—	16
A7	0,58	0,60	5	13
A4	0,28	0,22	5	16
FO17	0,23	0,24	6	12

¹ velocità di sedimentazione espressa in cm/anno

² numero di subcampioni analizzati con il metodo ^{210}Pb e con il metodo ^{137}Cs .

I valori misurati della velocità di sedimentazione attuale sono notevolmente più alti di quelli ottenuti dalle datazioni con il ^{14}C e con il metodo del $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$. Questa differenza può avere una causa antropica, riconducibile ad attività che hanno causato nel tempo velocità di erosione più alte.

Una situazione analoga è stata osservata nel bacino di sedimentazione del Po (Albertazzi et al., 1984) dove le velocità di sedimentazione in periodi preistorici (0,11 cm/anno) sono di un ordine di grandezza più basse di quelle attuali misurate con il ^{137}Cs (0,6–2 cm/anno).

Considerando la larghezza del picco del ^{137}Cs relativo all'evento di Chernobyl nelle carote B6m e A7, caratterizzate da alti tassi di sedimentazione, si può calcolare un tempo medio di trasferimento attuale del particolato fine dal bacino di erosione a quello di sedimentazione di circa 5,5 anni. Infine, considerando quale zona del bacino di sedimentazione del delta dell'Ombrone quella delimitata dai punti dei campioni analizzati e sommando i prodotti della velocità misurata per l'area di isovelocità corrispondente si è calcolato un tasso di materiale trasportato nel bacino pari a circa 4,4 milioni di metri cubi all'anno relativo agli ultimi 50 anni.

Conclusioni

L'approccio con diverse metodiche radiometriche ha consentito di investigare campi temporali differenti operando sulle molteplici componenti del sedimento.

I metodi radiometrici utilizzati hanno permesso di mettere in evidenza una differenza di quasi un ordine di grandezza tra la velocità di sedimentazione nel passato (circa 0,05 cm/anno nel periodo tra 9000-3000 anni B.P.) e nel presente (circa 0,3 cm/anno tra 50-0 anni B.P.). Non si può escludere che questa differenza rappresenti una oscillazione elevata dovuta a fattori naturali. Tuttavia considerando le variazioni del livello del Mar Tirreno negli ultimi 2000 anni (Alessio et al., 1996) si nota un tasso del sollevamento del livello del mare crescente che non dovrebbe essere un fattore di aumento dell'erosione naturale. Pertanto la differenza della velocità di sedimentazione rilevata, che corrisponde anche ad un ordine di grandezza maggiore della velocità di erosione nel passato rispetto a quella attualmente esistente all'interno del bacino idrogeologico del fiume Ombrone, è legata con tutta probabilità all'influenza antropica.

Per quanto riguarda l'attuale distribuzione areale delle velocità di sedimentazione è stato messo in evidenza che a NO del promontorio dell'Argentario esiste una zona di elevata velocità (circa 0,50 cm/anno) da ricondurre all'azione delle correnti dirette verso SE e all'apporto detritico del Fiume Albegna. Infine si è potuto stimare un volume complessivo di materiale sedimentato di circa 4,4 milioni di m^3 /anno nell'area delimitata dai punti di prelievo dei campioni che corrisponde grossolanamente all'intero areale di deposizione dell'Ombrone. Questo valore non è da ricondurre soltanto al materiale trasportato dall'Ombrone ma anche a quello trasportato in zona dalle correnti dirette verso NO e proveniente da corsi d'acqua più meridionali, dall'Albegna al Tevere.

Bibliografia

- Aiello E., Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Panucci F., Fierro G., Gnaccolini M., La Monica G.B., Palmieri E., Picazzo M. e Pranzini E. (1975) - *Il trasporto litoraneo lungo la costa Toscana tra la foce del fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina*. Bollettino Società Geologica Italiana, 94: 1519-1571.
- Albertazzi S., Bopp R.F., Frignani M., Hieke Merlin O., Menegazzo Vitturi L., Ravaioli M., Simpson H.J., Tassi Pelati L. e Triulzi C. (1984) - *Cs- 137 as a tracer for processes of marine sedimentation in the vicinity of the Po river delta (Northern Adriatic Sea)*. Memorie della società geologica Italiana, 27: 447-459.
- Alessio M., Allegri L., Antonioli F., Belluomini G., Improta S., Manfra L. e Preite M. (1996) - *La curva di risalita del Mare Tirreno negli ultimi 43 ka ricavata da datazioni su speleotemi sommersi e dati archeologici*. Memorie Descrittive del Servizio Geologico Nazionale, 52: 235-256.
- Bartolini C. (1983) - *Riduzione dell'apporto solido dei corsi d'acqua ed erosione dei litorali. Il caso del Cecina e quello dell'Ombrone*. Estr. del XII Congresso Geografico Italiano, Catania, 2: 3.
- Franceschi N., Gabbani G. e Gargini A. (1996) - *Analisi geostatistica di misure elettromagnetiche rilevate su griglia di campionamento regolare: un'applicazione idrogeologica*. Atti del V Workshop di Informatica Applicata alle Scienze della Terra, San Sepolcro, settembre 1996, 215-227.
- Goldberg E.D. e Koide M. (1962) - *Geochronological studies of deep sea sediments by the ionium-thorium method*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 26: 417-450.
- Innocenti L. e Pranzini E. (1993) - *Geomorphological evolution and sedimentology of the Ombrone river delta, Italy*. Journal of Coastal Research, 9: 2.

- Locardi E. e Sircana S. (1985) - *Distribuzione dell'Uranio e del Torio nelle vulcaniti quaternarie alcaline del Lazio Settentrionale*. Rendiconti Società Mineralogica Italiana, 15: 163-224.
- Pasquarè G., Chiesa S., Vezzoli L. e Zanchi A. (1983) - *Evoluzione paleogeografica e strutturale di parte della Toscana meridionale a partire dal Miocene Superiore*. Memorie della Società Geologica Italiana, 25: 145-157.
- Robbins J.A. and Edgington D.N. (1975) - *Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 39: 285-304.
- Romano P., Santo A. e Voltaggio M. (1994) - *L'evoluzione geomorfologica della pianura del fiume Volturno (Campania) durante il tardo Quaternario (Pleistocene medio-superiore-Olocene)*. Il Quaternario, 7: 1A: 41-56.
- Stuiver M. and Reimer P.T. (1993) - *Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program*. Radiocarbon, 35, 1: 215-230.

Manoscritto ricevuto il 16/7/2001, accettato il 28/8/2001.

Evoluzione del profilo di spiaggia a seguito di un ripascimento artificiale in ghiaia su di una spiaggia altamente protetta

Pierluigi Aminti ¹, Filippo Pelliccia ² ed Enzo Pranzini ²

¹ Dipartimento di Ingegneria civile dell'Università degli Studi di Firenze,
Via Santa Marta 1, 50126 Firenze. aminti@dicea.unifi.it.

² Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze,
Via Jacopo Nardi 2, 50132 Firenze. epranzini@unifi.it.

Riassunto

Il tratto di litorale oggetto del presente studio è posto nel settore settentrionale della spiaggia di Marina di Massa (Toscana settentrionale) ed è costituito da una "cella" lunga 190 m delimitata da due pennelli collegati, alla loro estremità, da una scogliera soffolta. A differenza di quanto avviene in tutte le "celle" che costituiscono il sistema difensivo di questa zona, in quella qui considerata vi è una seconda scogliera soffolta interna, posta a circa 50 m da riva. Nel Maggio del 1999 il Comune di Massa ha qui realizzato un ripascimento artificiale con circa 18.000 m³ di ghiaia di diametro compreso tra i 30 ed i 70 mm e circa 2000 m³ di ghiaietto di diametro compreso tra i 3 ed i 7 mm.

A seguito del primo intervento, la linea di riva è avanzata di circa 7 m, ma si è formata una cresta di berma alta 2,5 m ed estremamente ripida, tale da limitare l'utilizzazione balneare della spiaggia. Nel Maggio del 2000 è quindi stato effettuato un secondo ripascimento, con materiale a granulometria minore (circa 2 mm), che ha determinato una ulteriore espansione dell'arenile di circa 9 m e la formazione di un profilo della spiaggia emersa più funzionale all'utilizzazione turistica. La successiva evoluzione granulometrica e morfologica della spiaggia ha comunque determinato la formazione di una berma ghiaiosa elevata ed a forte pendenza.

Parole chiave: difesa dei litorali, ripascimento artificiale, ghiaia, scogliere sommerse.

Abstract

The studied beach is located in the northern sector of the Marina di Massa beach (northern Tuscany) and constitutes a 190-meter-long compartment delimited by two groins connected at their tips by a submerged breakwater. This compartment differs from the others forming the defences of this coast in having a second internal submerged breakwater 50 m from the shoreline.

In May 1999, the local administration carried out a nourishment project with approximately 18.000 m³ of gravel with size ranging between 30 and 70 mm and with approximately 2.000 m³ of 3 to 7 mm granules. This work resulted in a beach expansion of 7 m but also in the formation of a 2.5 meter high gravel berm crest with a very steep offshore slope, thus preventing full recreational use of the beach.

In May 2000, a second nourishment was performed with finer sediments (approximately 2 mm), in order to flatten the beachface profile, obtaining a 9 meter wider beach with a more gentle slope. However, the sedimentary and morphological evolution which followed produced another steep high gravel berm.

Key-words: shore protection, beach nourishment, shingle beaches, submerged breakwaters.

Ubicazione e descrizione dell'area di studio

Il tratto di spiaggia oggetto del presente studio è posto nel settore settentrionale della spiaggia di Marina di Massa (Fig. 1), che fa parte dell'unità fisiografica Pisano-Versiliese (Gandolfi e Paganelli, 1975), ed è alimentato prevalentemente dal Fiume Magra, che sfocia circa 10 km più a nord.

I corsi d'acqua più prossimi alla zona qui considerata sono il Torrente Ricortola, che sfocia circa 800 m a nord, ed il Fosso Brugiano, che sfocia circa 350 m a sud; nessuno di questi possiede un trasporto solido rilevante ai fini dell'alimentazione del litorale (Aiello et al., 1975; Gandolfi e Paganelli, 1975).

La zona studiata consiste in un breve tratto di litorale, della lunghezza di circa 190 m, delimitato a nord ed a sud da due pennelli emersi collegati da due scogliere parallele soffolte; una unisce l'estremità dei due pennelli, come avviene in quasi tutte le "celle" che costituiscono il sistema di difesa di Marina di Massa, l'altra, posta a circa 50 metri da riva, forma una tipologia difensiva unica almeno in Toscana.

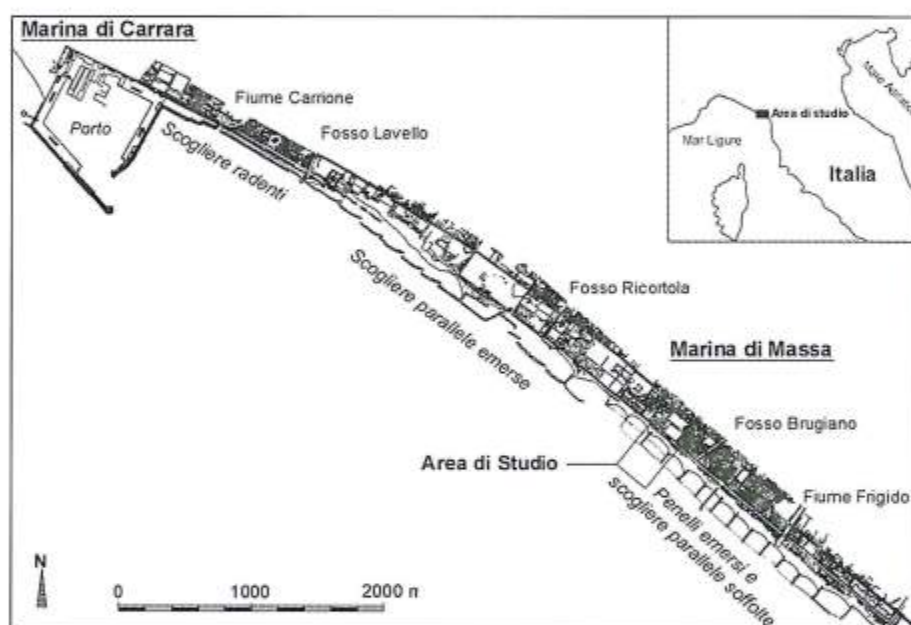


Figura 1 - Ubicazione dell'area di studio.

Caratteristiche meteomarine dell'area di studio

La ricostruzione delle caratteristiche meteomarine al largo della zona di studio è possibile grazie alla presenza, dal 1989, dell'ondametro di La Spezia (Rete Ondametrica Nazionale), posto ad Ovest dell'area di studio in corrispondenza della batimetrica dei 70 m. Di esso sono stati elaborati i dati raccolti nel periodo compreso fra il 1 luglio 1989 ed il 30 giugno 2000, per un totale di 32134 registrazioni.

È stata quindi effettuata l'analisi direzionale del moto ondoso (Fig. 2) dalla quale risulta che le onde più alte ($H_s > 2$ m) provengono tutte da un settore ben definito e compreso fra le direzioni 210° e 270° N; questo settore si riduce ulteriormente all'aumentare dell'altezza d'onda considerata, tanto che le mareggiate più intense provengono da una sola direzione (nell'intorno dei 240° N).

Ancor più selettiva è la distribuzione direzionale dell'energia del moto ondoso (Fig. 2) che mostra come la gran parte dell'energia provenga dalle direzioni 230° e 240° N.

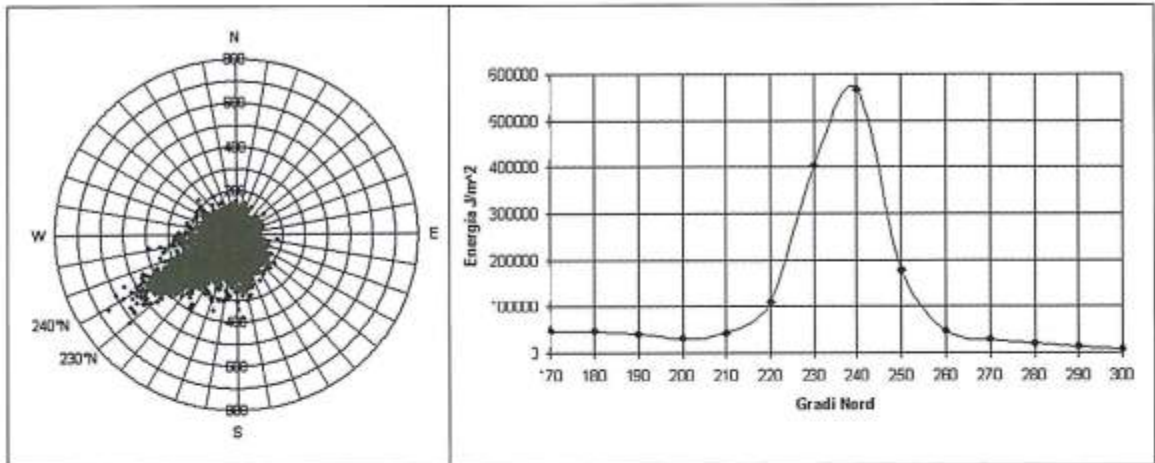


Figura 2 - A sinistra: Grafico polare della distribuzione direzionale delle altezze d'onda (in cm). A destra: Distribuzione direzionale del flusso di energia. Dati dell'ondametro di La Spezia per il periodo 1989-2000).

Stima del trasporto solido potenziale

Per la stima del trasporto solido potenziale nell'area di studio si sono utilizzate sia le formulazioni empiriche del CERC (1984), che tendono a sovrastimare il trasporto, che la relazione proposta da Kamphuis (1991) e ricalibrata da Schoonees e Theron (1996).

La determinazione degli angoli di incidenza α è stata condotta tenendo conto che l'orientamento della linea di costa, a Marina di Massa, è circa 312°N .

In Tabella 1 sono riportati i valori del trasporto solido potenziale associato alle diverse direzioni di provenienza del moto ondoso, calcolati con le due relazioni indicate.

Le due relazioni, pur evidenziando una significativa differenza sui valori assoluti, mostrano che sul litorale in esame il trasporto litoraneo è nettamente prevalente nella direzione da Nord verso Sud.

Tabella 1 – Valori del trasporto solido calcolati con le formule del CERC (1984) e di Kamphuis (1991) recentemente ricalibrata da Schoonees e Theron (1996). Convenzionalmente viene definito positivo il trasporto in direzione Nord-Sud.

CERC		Kamphuis	
Trasporto medio annuo - totale (mc/anno)		Trasporto medio annuo - totale (mc/anno)	
Q da Sud	-80000	Q da Sud	-31500
Q da Nord	310000	Q da Nord	146800
Qnet	230000	Qnet	115300
Qtot	390000	Qtot	178300

L'evoluzione recente del litorale di Marina di Massa e la proliferazione delle difese costiere

Il litorale di Marina di Massa, in lenta progradazione negli ultimi secoli (Mazzanti e Pasquinucci, 1983), è entrato in una fase erosiva agli inizi del '900, a causa della riduzione dell'input sedimentario del Fiume Magra e dello sbarramento che il porto di Marina di Carrara esercita nei confronti del trasporto litoraneo (Cipriani et al., 2000). La costruzione del porto iniziò nel 1920, e già nel 1930 si rese necessaria la costruzione, a sud di esso, delle prime scogliere aderenti.

Nei decenni successivi furono sperimentate varie tipologie di difesa, aggiungendo e modificando scogliere senza un piano organico, tanto che i primi 6,7 km di costa posti sottoflutto al porto sono oggi difesi da 9,3 km di scogliere (Rapporto di protezione 1.4; Aminti et al., 1999a).

Attualmente, il sistema difensivo del litorale di Marina di Massa si basa su "celle" costituite da pennelli distanti circa 180 metri l'uno dall'altro, collegati alla testata da scogliere soffolte con sommergezza pari a circa 0,8 metri.

Il litorale di Marina di Massa reagì positivamente a questo intervento, tanto che fra il 1985 e il 1997 la zona protetta con le "celle" registrò una espansione dell'arenile che localmente toccò i 50 m, pur incentivando i processi erosivi sulla spiagge poste sottoflutto.

La cella oggetto di questo studio (Fig. 3), protetta da due soffolte, non ebbe una risposta simile a quella data dalle celle chiuse da una sola soffolta e l'erosione è proseguita fino alla fine degli anni '90. Dallo schema generale si discosta anche la cella posta immediatamente a nord, dove esistono due soffolte, di cui quella esterna non raggiunge il pennello settentrionale.

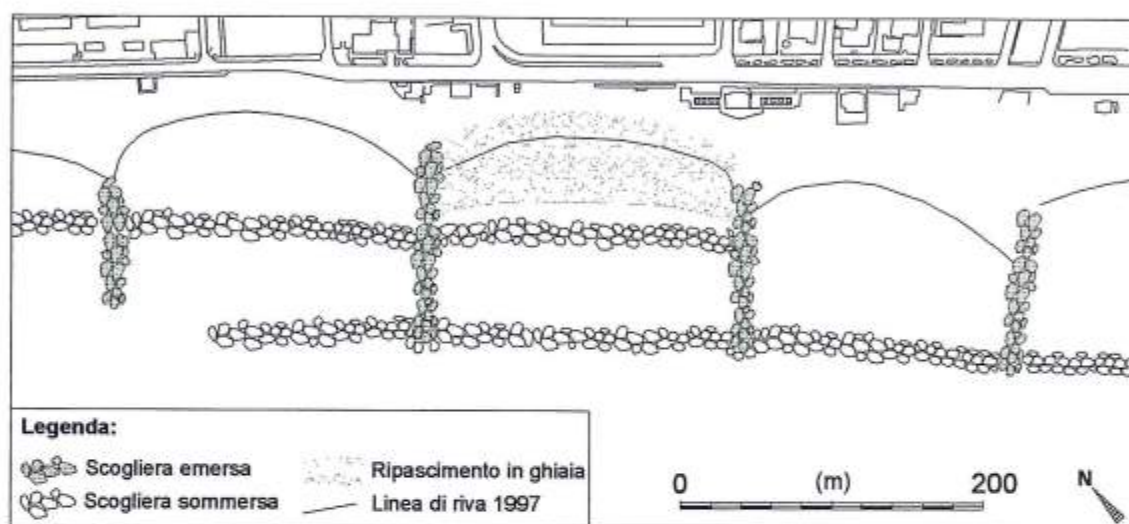


Figura 3 - Configurazione delle opere di difesa presenti nella zona di studio.

Interventi eseguiti

Allo scopo di proteggere le strutture balneari e di creare una spiaggia fruibile per la balneazione, il Comune di Massa realizzò, nel 1999, un progetto di ripascimento con materiale ghiaioso di dimensioni 30-70 mm ed in quantitativi tali da permettere la progradazione della linea di riva fino al raggiungimento della prima scogliera soffolta. In quella occasione furono versate 28.850 tonnellate di ghiaia, di granulometria compresa tra i 30 ed i 70 millimetri (Tab. 2), corrispondenti a circa 18.200 m³ di materiale (peso specifico calcolato = 1,585 t/m³), e 2.000 m³ di ghiaietto di dimensioni comprese fra 3 e 7 mm, coperti successivamente da un sottile strato di sabbia i cui volumi risultano essere irrilevanti per le considerazioni che andremo a fare.

In realtà, a fine lavori la situazione differiva da quella ipotizzata nel progetto, dato che non si era ottenuto l'avanzamento previsto e la scogliera interna si trovava ancora ad alcuni metri dalla battigia, con notevoli problemi di sicurezza per la balneazione. Inoltre, la ghiaia, sebbene stesa "in profondità" a costituire una piattaforma al livello del mare fino alla prima soffolta (Fig. 4 in alto) aveva subito costituito una cresta di berma elevata ed a forte pendenza verso il mare (Fig. 4 in basso), cosa che rendeva difficile l'accesso al mare da parte dei bagnanti ospiti dello stabilimento che ha in concessione questa spiaggia.

Nel Maggio 2000, ad un anno di distanza dal primo ripascimento, è stato perciò effettuato un secondo versamento, con circa 10.400 m³ di materiale di diametro nominale pari a 2 mm, ma contenente molti residui di frantumazione di dimensioni inferiori, tanto che il valore della Media è risultato pari a 0,76 mm (0,39 phi) (Tab. 2). Questo intervento prevedeva anche lo spostamento, al di là della prima soffolta, di circa 2.000 m³ di materiali versati nel 1999.

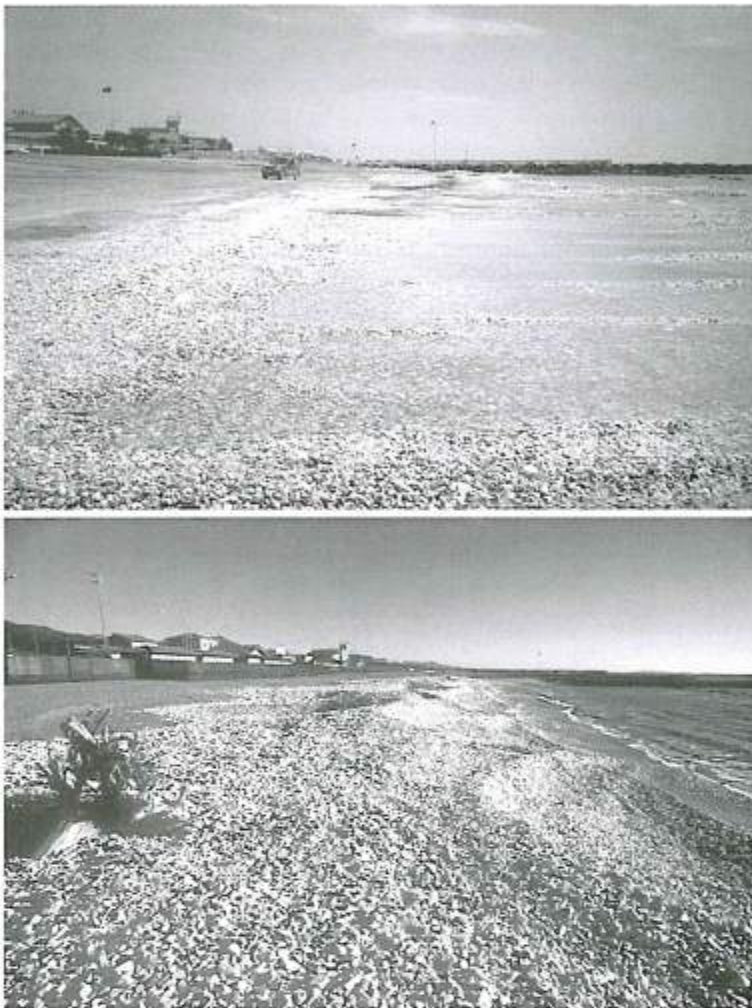


Figura 4 - Stendimento della ghiaia nel Maggio 1999 (in alto) e cresta della berma in ghiaia nel Dicembre 1999 (in basso). È evidente il movimento on-shore del materiale grossolano.

Tabella 2 - Parametri statistici dei sedimenti utilizzati per il ripascimento.

Data	Dimensioni nominali	Mz (phi)	Mz (mm)	σ_1 (phi)	% < 63 μ	D ₁ (phi)
Maggio 1999	3-7 mm	-2,28	4,85	0,48	0,00	-3,07
Maggio 1999	30-70 mm	-5,62	49,15	0,43	0,00	-6,13
Maggio 2000	2 mm	0,39	0,76	2,28	1,24	-3,08

Risposta della spiaggia all'immissione di materiale grossolano

Evoluzione morfologica

L'evoluzione del profilo della spiaggia interessata dal versamento è stata studiata con due campagne di rilievi batimetrici eseguite nell'Ottobre del 1999 e nel Novembre del 2000. I dati così ottenuti sono stati confrontati con quelli relativi ad una campagna eseguita nel Gennaio 1997 nell'ambito di un progetto di ricerca finanziato dalla Regione Toscana e che aveva in questa "cella" un profilo di controllo (Fig. 5).

È stato inoltre eseguito, nel Marzo 2002, un rilievo della sola spiaggia emersa in contemporanea con il prelievo di campioni.

Dalla sovrapposizione del profilo del Gennaio 1997 con quello corrispondente effettuato nell'Ottobre del 1999, dopo il primo intervento, si rileva come i fondali compresi tra le due soffolte abbiano subito un abbassamento medio di circa 70 cm, mentre il materiale versato è ancora per la quasi totalità sulla spiaggia emersa determinandone una espansione di circa 7 m (Fig. 5). Dal confronto tra il rilievo del 1999 e quello del 2000 si è registrata un ulteriore avanzamento della linea di riva di circa 9 m. Dall'analisi della variazione volumetrica registrata (Tab. 3) risulta, tra il 1997 ed il 1999, un incremento della spiaggia emersa pari a circa 3.500 m^3 ($18 \text{ m}^3/\text{m}$), cui fa riscontro una perdita di quasi 2.000 m^3 fra la linea di riva e la prima soffolta, e di altri 6.200 m^3 fra le due soffolte, con una riduzione complessiva di circa 4.600 m^3 di sedimento, che sommata ai circa 18.500 mc di materiale versato ci permette di quantificare la perdita di volume totale in circa 23.000 m^3 ($121 \text{ m}^3/\text{m}$). È evidente comunque che una parte consistente delle perdite deve essere avvenuta fra il 1997 e il momento del ripascimento.

Nel Dicembre 1999 si è avuta una mareggiata eccezionale ($H_s = 6,20 \text{ m}$ e $T_s = 10 \text{ s}$), che si colloca al secondo posto per altezza d'onda significativa nella serie degli eventi registrati dal momento dell'installazione dell'ondametro.

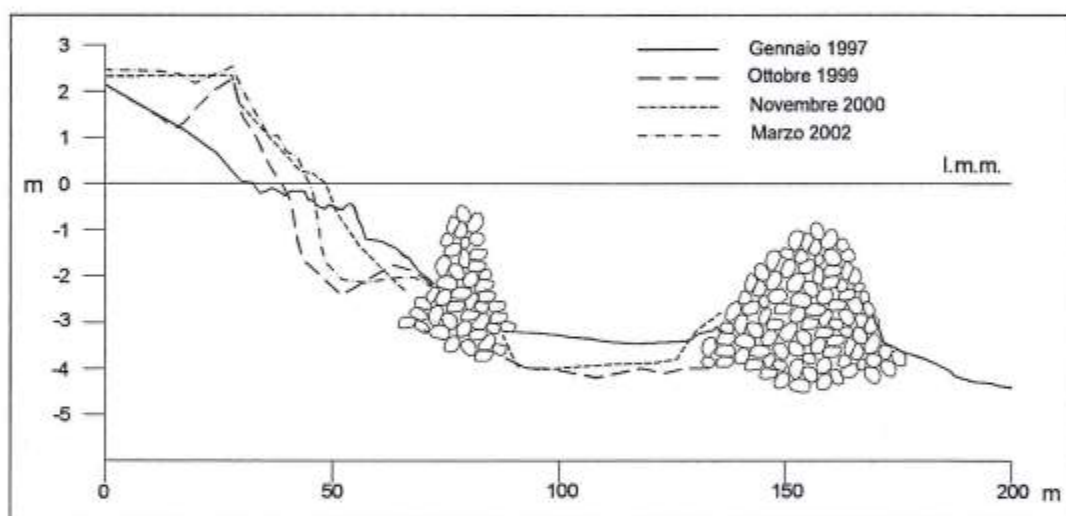


Figura 5 - Confronto tra i rilievi effettuati nel 1997, 1999 e 2000.

Tabella 3 - Variazioni volumetriche delle spiagge all'interno della cella.

Vengono riportati solo i dati relativi ai rilievi estesi anche alla parte sommersa della spiaggia.

	mc			m^3/m		
	1997/1999	1999/2000	1997/2000	1997/1999	1999/2000	1997/2000
Spiaggia Emersa	3498	3635	7133	18,4	19,1	37,5
Linea di riva / 1° soffolta	-1925	610	-1315	-10,1	3,2	-6,9
1° soffolta / 2° soffolta	-6203	2362	-3842	-32,6	12,4	-20,2
Totale	-4630	6606	1976	-24,4	34,8	10,4

Subito dopo quell'evento è stato rilevato il profilo della spiaggia emersa, che presentava una cresta di berma assai elevata (+2,27 m s.l.m.) ed una forte pendenza sul lato offshore (21,2%).

I dati dell'ondametro sono stati utilizzati per derivare l'altezza dell'onda al piede della spiaggia, oltre la soffolta più esterna e, tramite il modello di Van der Meer (1988) si è ottenuto, con la procedura

proposta da Aminti et al. (1999b), il profilo della spiaggia, che viene ad avere una cresta della berma a quota 2.80 m ed una pendenza analoga a quella del profilo in natura. La piccola differenza di quota fra modello e prototipo può essere dovuta all'effetto, non simulato sul modello, della soffolta interna posta al piede della spiaggia.

Il rilievo del Novembre 2000, effettuato alcuni mesi dopo il secondo ripascimento, indica un incremento volumetrico di circa 6.600 m³, a fronte di un ripascimento di 10.400 m³: La cella avrebbe quindi perso circa 3.800 m³ in un anno.

Il profilo della spiaggia emersa è stato nuovamente rilevato dopo la mareggiata del 6 Novembre 2000, anch'essa di forte intensità (Hs = 5,8 m e Ts = 11,1 s).

Anche questa volta la cresta della berma è elevata (2,34 m s.l.m.), ma la morfologia della spiaggia è più dolce, con una minore pendenza della battigia (11,2%).

Nel Marzo 2002 è stato rilevato nuovamente il profilo della spiaggia emersa, che è risultato essere ancora caratterizzato da una cresta elevata (2,17 m s.l.m.) con una pendenza maggiore (13,8%) di quella misurata nel rilievo precedente.

Lo studio delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti di spiaggia spiega, come vedremo, questa variazione del profilo topografico della spiaggia emersa.

Evoluzione granulometrica

Lo studio dell'evoluzione granulometrica dei sedimenti di spiaggia emersa è stato effettuato sulla base di campioni prelevati in posizioni significative sul profilo di spiaggia in occasione dei rilievi condotti nel Gennaio 1997, Ottobre 1999, Novembre 2000 e Marzo 2002. Ogni volta è stata campionata la battigia, la cresta della berma di tempesta e la parte più interna della spiaggia (Tab. 4, Fig. 6).

Tabella 4 - Parametri statistici dei sedimenti di spiaggia nel momento dei tre rilievi.

		Mz (phi)	Mz (mm)	σ_1 (phi)	% < 63 μ	D ₁ (phi)
1997	Spiaggia alta	1,79	0,29	0,52	0,53	0,53
	Cresta della berma	1,25	0,42	0,92	0,15	-1,61
	Battigia	0,94	0,52	0,98	0,02	-1,78
1999	Spiaggia alta	1,78	0,29	0,51	0,35	0,58
	Cresta della berma	-5,66	50,56	0,43	0,00	-6,14
	Battigia	-3,66	12,68	1,39	0,00	-5,59
2000	Spiaggia alta	-0,50	1,41	2,22	0,15	-4,07
	Cresta della berma	-4,91	30,05	0,56	0,00	-5,63
	Battigia	0,02	0,99	1,74	0,04	-3,52
2002	Spiaggia alta	-0,86	1,81	1,83	0,31	-4,55
	Cresta della berma	-5,56	47,31	0,46	0,00	-6,12
	Battigia	-1,39	2,63	1,72	0,00	-3,59

Nel 1997 la spiaggia emersa è caratterizzata da una pendenza regolare con una cresta di berma poco pronunciata. I sedimenti presenti, sia sulla spiaggia alta che sulla cresta della berma, sono costituite da *sabbia media* (Krumbein, 1934) con dimensioni medie comprese tra 1,79 e 1,25 phi, mentre sulla battigia si ritrovano *sabbie grossolane* (Mz = 0,94 phi). I campioni prelevati sulla battigia e sulla cresta delle berma si presentano come *moderatamente classati* (Folk e Ward, 1957), con valori di σ_1 pari a 0,98 e 0,92, mentre quelli presenti sulla spiaggia alta sono *moderatamente ben classati* ($\sigma_1 = 0,52$) e, anche in considerazione del valore di Mz (Friedman, 1967), si può pensare che si tratti di depositi nei quali l'apporto colico è prevalente.

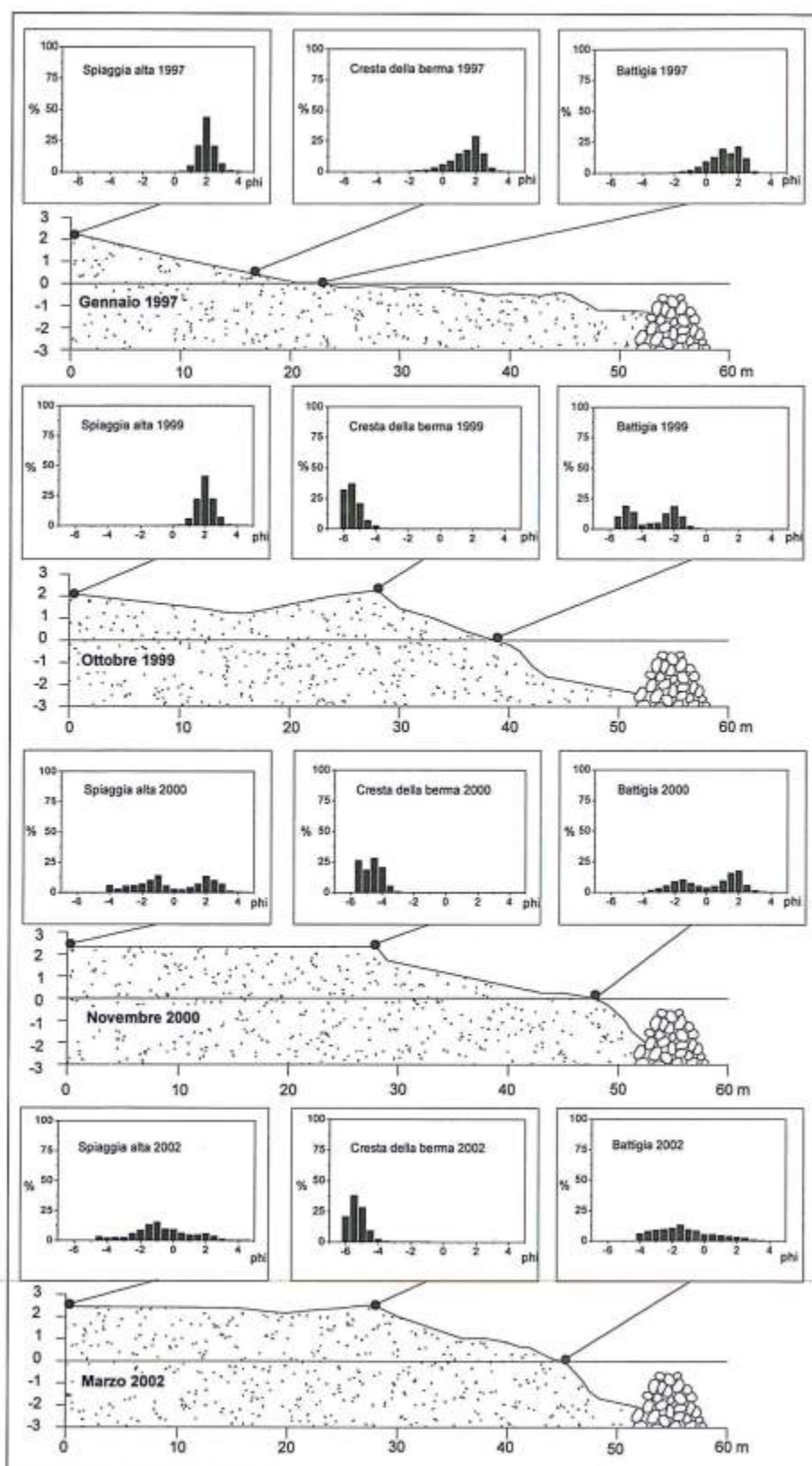


Figura 6 - Sintesi dell'evoluzione morfologica e sedimentologica della spiaggia emersa.

Nel 1999, dopo il ripascimento con materiale grossolano, la battigia è costituita da *ciottoli poco classati* ($M_z = -3,66$; $\sigma_1 = 1,39$), mentre sedimenti di dimensioni ancora maggiori e meglio classati vanno a costituire la cresta della berma di tempesta ($M_z = -5,66$; $\sigma_1 = 0,43$) che, ricordiamo, raggiunge una quota di 2,27 m nonostante la doppia protezione delle due soffolte. La spiaggia alta ospita ancora i sedimenti originari, che non mostrano segni di inquinamento da parte dei nuovi materiali immessi.

Nel Novembre 2000 i sedimenti di battigia hanno dimensioni medie minori ($M_z = 0,02$ phi) ed una classazione ancora peggiore ($\sigma_1 = 1,74$), conseguenze queste del nuovo versamento di materiale più fine misto sabbia più ghiaia. La cresta della berma di tempesta è ancora costituita dagli elementi più grossolani immessi sulla spiaggia con il primo ripascimento ($M_z = -4,91$ phi) che in questa posizione costituiscono un deposito *moderatamente ben classato* ($\sigma_1 = 0,56$). I lavori connessi al secondo ripascimento hanno determinato un rimodellamento dell'intero profilo della spiaggia emersa, con il rimescolamento dei depositi colici originari con i nuovi materiali, tanto che le dimensioni medie (M_z) dei sedimenti qui presenti risultano pari a $-0,50$ phi, con una classazione (σ_1) che raggiunge il valore di 2,22 phi.

Nel Marzo del 2002 la spiaggia si mostra nella configurazione conferitagli dalle mareggiate invernali, con più creste di berma, delle quali la più interna raggiunge una quota di 2,34 metri, ma le caratteristiche granulometriche dei sedimenti, nella parte morfologicamente attiva, non mostrano significative variazioni rispetto a quanto rilevato nel Novembre 2000 (Battigia: $M_z = -1,39$; $\sigma_1 = 1,72$; Cresta della berma: $M_z = -5,56$; $\sigma_1 = 0,46$). I sedimenti presenti sulla spiaggia alta non risultano rimaneggiati in modo significativo e mantengono caratteristiche tessiture simili a quelle mostrate nel Novembre 2000 ($M_z = -0,86$; $\sigma_1 = 1,83$).

Discussione e Conclusioni

I dati raccolti nel corso del monitoraggio di questa spiaggia consentono di riconoscere qui i processi che caratterizzano le spiagge miste sabbia più ghiaia (Kirk, 1980) e la presenza delle due scogliere soffolte non sembra un elemento sufficiente a ridurre l'energia del moto ondoso incidente sulla battigia, almeno di quel tanto necessario per produrre una cresta della berma poco elevata e costituita da elementi di dimensioni minori. Al contrario, una cresta a quota 2,5 m e costituita da ciottoli di dimensioni medie superiori a $-5,66$ phi (50,6 mm) con un primo percentile pari a $-6,14$ phi (7,5 mm) è certamente indice di elevata energia. In aggiunta a ciò si rileva che questo *gravel ridge* subisce, durante le mareggiate più intense, fenomeni di *overwashing* con la formazione di evidenti *washover fans* (Carter, 1988), che portano materiali grossolani verso la parte mediana della spiaggia (Figg. 7 e 8).

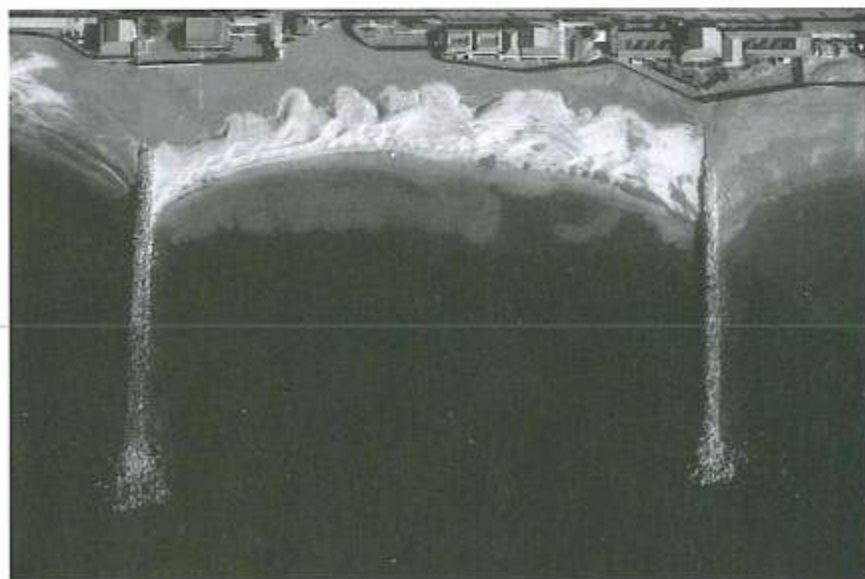


Figura 7 - Ripresa aerea del Novembre 1999 in cui si vedono i *washover fans* di ghiaia che risalgono verso la parte più alta della spiaggia costituita da sabbia (Foto: Comando base aeromobili del Corpo delle Capitanerie di Porto, Luni-Sarzana; Autor. R.G.S. n. 134 del 15/5/2000).

In queste condizioni, il rimaneggiamento da parte del moto ondoso dei materiali versati rimane consistente, con una progressiva selezione dei sedimenti nella quale la frazione più grossolana si posizionerà sempre sullo *step*, dove tutte le osservazioni effettuate dopo il ripascimento hanno rilevato la presenza di ghiaia, e sulla cresta della berma di tempesta, con la formazione di una battigia a forte pendenza.

La presenza delle due soffolte limita enormemente lo scambio *onshore-offshore* dei sedimenti, con il risultato che le condizioni di *swell*, successive alle mareggiate, non determinano la progradazione della spiaggia con la formazione di berme sabbiose a quote decrescenti, tali da raccordare il *gravel ridge* con la battigia di mare calmo.

Si ritiene che la demolizione delle scogliere soffolte, o un loro consistente abbassamento, non dovrebbe costituire un elemento di rischio per questa spiaggia mista, in cui la ghiaia è in grado di assorbire la gran parte dell'energia incidente, andando a formare una cresta alta e porosa; al contrario, un aumento dei flussi *cross-shore* potrebbe favorire la formazione di una battigia in sabbia a pendenza minore, con un aumento della fruibilità della spiaggia ai fini della balneazione.

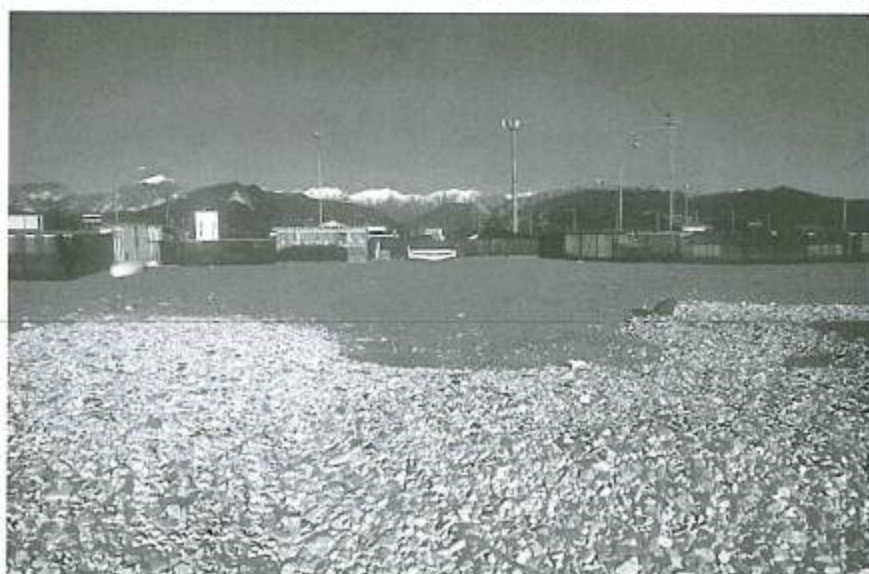


Figura 8 - *Washover fans*. - In alto: il ristagno di acqua dietro il *gravelridge* dimostra che i materiali grossolani sono migrati al di sopra dei sedimenti sabbiosi o misti a minore permeabilità. In basso: la regolarità spaziale dei *washover fans* dimostra la relazione che essi hanno con le cuspidi (le *swash cusps* di Guza e Inman, 1975).

In ogni caso la riduzione delle opere di protezione provocherebbe un incremento dell'altezza d'onda incidente durante le mareggiate. Ripetendo la simulazione con il modello numerico per la mareggiata del 1999 e con le stesse caratteristiche granulometriche, l'eliminazione della scogliera sommersa esterna determinerebbe la formazione di una cresta di berma a quota +3,2 m s.l.m.

La costruzione di spiagge di sola ghiaia in zone esposte dà quindi luogo ad una morfologia che presenta problemi di fruizione per la ripidità della fascia di battigia e per la notevole altezza delle creste che si formano durante le tempeste; al contrario, introducendo anche materiali più fini, pur rimanendo sostanzialmente invariata la quota della cresta di berma di tempesta, si ottengono pendenze in prossimità della riva compatibili con un normale uso turistico delle spiagge, almeno fino a che non si realizza la separazione granulometrica dei materiali, che comunque può essere gestita con modesti interventi.

Bibliografia

- Aiello E., Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Fanucci F., Fierro G., Gnaccolini M., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Piccazzo M. e Pranzini E. (1976) - *Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana tra la foce del Fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina*. Boll. Soc. Geol. It., 94: 1519-1571.
- Aminti P., Iannotta P. e Pranzini E. (1999a) - *Morfodinamica di un sistema costiero intensamente protetto: il litorale di Marina di Massa*. Atti dei Conv. Lincei, 154: 263-270.
- Aminti P., Pranzini E. e Tecchi M.G. (1999b) - *Modello di previsione del profilo di una spiaggia artificiale in ghiaia per la protezione di litorali o di opere costruite sulla costa*. Atti dei Conv. Lincei, 154: 257-262.
- Carter R.W.B. (1988) - *Coastal environments*. Academic press, London, pp. 617.
- CERC (1984) - *Shore Protection Manual*. U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Virginia, USA.
- Cipriani L.E., Ferri S., Iannotta P., Paolieri F. e Pranzini E. (2000) - *Morfologia e dinamica dei sedimenti del litorale della Toscana settentrionale*. Studi costieri, 4: 119-156.
- Folk R.L. e Ward W.C. (1957) - *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. J. Sedim. Petrol., 27: 3-26.
- Friedman G.M. (1967) - *Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands*. J. Sediment. Petrol. 37: 327-354.
- Gandolfi G. e Paganelli L. (1975) - *Il litorale pisano-versiliese (Area campione Alto Tirreno). Composizione, provenienza e dispersione delle sabbie*. Boll. Soc. Geol. It., 94: 1273-1295.
- Guza e Inman (1975) - *Edge waves and beach cusps*. Journ. Coastal Research, 86: 4125-4132.
- Kamphuis J.W. (1991) - *Alongshore Sediment Transport Rate*. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng, 117: 624-640.
- Kirk R.M. (1980) - *Mixed sand and gravel beaches: morphology, processes and sedimentation*. Progress in Physical Geography, 4: 189-210.
- Krumbein W.C. (1934) - *Size frequency distribution of sediments*. J. Sedim. Petrol., 4: 65-77.
- Mazzanti R. e Pasquinucci M. (1983) - *The evolution of the Luni-Pisa coastline (II cent. B.C. - second half of the XIX cent.)*. In: Coastal problems in the Mediterranean Sea, E.C.F. Bird and P. Fabbri Eds, IGU, Commission on Coastal Environment, Bologna 10-14 May 1982.
- Schoonees J.S. e Theron A.K. (1996) - *Improvement of the Most Accurate Longshore Transport Formula*. ASCE, Proc. Coastal Engineering, 3: 3652-3665.
- van der Meer J. (1988) - *Rock slopes and gravel beaches under wave attack*. Delf Tech. Univ. Pubbl. n. 396.

Manoscritto ricevuto il 10/6/2001, accettato il 15/9/2002.

Proposta di un modello di sviluppo sostenibile per le spiagge e le aree costiere dell'Isola di Sant'Antioco (Sardegna SO, Italia)

Annalisa Arisci, Jo De Waele, Felice Di Gregorio, Ivan Ferrucci,
Roberto Follesa, Giuseppe Piras

Dipartimento Scienze della Terra, Università degli Studi di Cagliari, Via Trentino 51 - 09127 Cagliari.

Riassunto

L'Isola di Sant'Antioco, situata lungo la costa sud-occidentale della Sardegna, presenta in affioramento un'interessante sequenza di rocce vulcaniche del ciclo calcoalcalino oligo-miocenico costituite prevalentemente da rioliti, comenditi, ignimbriti e andesiti che sovrastano un basamento mesozoico del Cretaceo. Nell'Isola sono presenti numerosi geotopi e biotopi di rilevante valore scientifico e divulgativo, unitamente a siti culturali, che meritano di essere meglio tutelati e valorizzati. La conoscenza e la corretta fruizione di questi beni naturali e culturali può consentire sia la loro appropriata valorizzazione a fini economici sia la loro conservazione. Il perseguimento di tale obiettivo impone una pianificazione ed una gestione volta a non superare quella soglia limite di pressione oltre la quale i vari sistemi naturali non riescono a ristabilire le loro condizioni di equilibrio. In questo lavoro gli autori propongono un modello per la gestione integrata e sostenibile del patrimonio naturale e culturale dell'Isola, in particolare delle aree costiere e delle spiagge, per le quali viene definita, attraverso specifici parametri fisici, biologici ed antropici, la qualità ambientale e la capacità di carico in termini di frequentazione turistica e balneare.

Parole chiave: qualità ambientale, capacità di carico, litorale, turismo sostenibile.

Abstract

The Island of Sant'Antioco, situated along the South Western coast of Sardinia, is composed of a rich and interesting sequence of volcanic rocks of the calc-alkaline Oligo-Miocenic cycle mainly represented by rhyolites, comendites, ignimbrites and andesites covering a Mesozoic bedrock of Cretaceous age. Many interesting geotopes and biotopes can be found on the island, together with several sites of social and cultural interest which deserve tutelage and valorisation. A correct fruition of these environmental and cultural estates is necessary both to preserve and to valorise them; these areas must therefore be properly managed, taking into account their carrying capacity in order to preserve their original natural conditions. In this work, the authors intend to propose an integrated model of sustainable development of the coastal landscape of the Island of Sant'Antioco based on the vulnerability degree and on the environmental quality, especially for what concerns the coastal areas and the beaches, for which the environmental quality and the carrying capacity in terms of tourist presence have been defined by using specific physical, biological and human parameters.

Key-words: environmental quality, carrying capacity, littoral, sustainable tourism.

Cenni geografici e storici

L'Isola di Sant'Antioco, situata lungo la costa sud-occidentale della Sardegna ha una conformazione trapezoidale con lato maggiore N-S, una superficie di circa 109 km² ed un perimetro costiero di oltre 75 km; il suo territorio risulta interamente compreso nelle Sezioni III del Foglio 564 e IV del Foglio 572 dell'IGM, serie nuova, in scala 1:25.000.

Dal punto di vista geografico l'Isola è collegata alla Sardegna da un istmo naturale largo appena 100 metri e lungo poco più di 1 km, che separa lo Stagno di Santa Caterina dal mare. Già i Romani la collegarono alla terraferma attraverso un ponte con una strada; a causa dell'innalzamento del livello medio del mare di questa rimangono solo tracce del basolato giusto a livello delle acque dello stagno. Attualmente l'Isola è raggiungibile attraverso una strada in rilevato che attraversa lo stagno tramite un nuovo ponte.

La presenza dell'uomo nell'Isola è antichissima come testimoniano vari siti archeologici del periodo Prenuragico (*tombe dei giganti e domus de janas*) e Nuragico, addensati soprattutto sulle colline nella regione di Cannai.

Il centro abitato di Sant'Antioco, l'antica Sulci, fu fondato dai Fenici e costituì uno dei maggiori centri urbani ed economici della Sardegna meridionale per più di un millennio. La città fu la base della flotta Cartaginese di Annibale (258 a.C.) durante la prima guerra punica, e lo stesso Annibale vi trovò la morte. Di questo periodo fenicio-punico restano molte testimonianze archeologiche, tra cui il *tophet* che ha restituito una ricca collezione di oggetti in oro e gemme.

Nel periodo romano, durante l'impero di Augusto, divenne poi importante quanto Caralis (Cagliari) per la sua posizione strategica prossima alla regione mineraria iglesiente e per la possibilità di riparo offerto alla navigazione. Tra le importanti testimonianze del periodo romano rimangono il sopracitato ponte romano sull'istmo, alcune fontane, le fondazioni di un edificio imperiale e segmenti dell'antica strada che collegava l'Isola alla terraferma.

Attualmente Sant'Antioco ha circa 13.000 residenti mentre Calasetta, l'altro abitato dell'Isola, poco meno di 3000, a cui si aggiungono gli abitanti stagionali delle case sparse all'interno e lungo la costa.

Cenni geologici

Il territorio dell'Isola è costituito da depositi carbonatici mesozoici, da varie tipologie di rocce vulcaniche del ciclo calcoalcalino oligo-miocenico, costituite prevalentemente da andesiti, basalti, rioliti, ignimbriti e piroclastiti e da coperture sedimentarie, eoliche, continentali, lagunari e marine del Quaternario (Fig. 1).

I terreni più antichi sono costituiti da calcari micritici e biohermali, dolomie, marne e intercalazioni argillose e affiorano nella parte centro-orientale dell'Isola, nella località *Maladroxia*. Il loro contenuto paleontologico, rappresentato essenzialmente da Charophyta, Ostracodi, Foraminiferi, Alghe e Brachiopodi, ne indica un'età che va dal Berriasiano (135 Ma) al Kimmeridgiano (75 Ma), con una lacuna stratigrafica che abbraccia l'intervallo Aptiano-Coniaciano (110-80 Ma) (Chabrier et al., 1975). Queste rocce carbonatiche vengono da tempo intensamente sfruttate per ricavare materiali per uso civile e industriale con un impatto rilevante sull'ambiente e sul paesaggio insulare. Nei grandi scavi a cielo aperto, uno dei quali inattivo, si possono notare diverse tasche di dissoluzione con riempimenti paleocarsici, attualmente in corso di studio, che si stanno rilevando di notevole interesse scientifico.

La maggior parte del territorio dell'Isola presenta invece in affioramento una sequenza di rocce vulcaniche messesi in posto durante il Terziario quando il basamento paleozoico sardo fu interessato da un'intensa fase tettonica come riflesso del *rifting* (la cosiddetta *fossa sarda*) che, in direzione N-S, va dal Golfo dell'Asinara a quello di Cagliari, a cui risulta associata anche la rotazione antioraria della microplacca sardo-corsa con la conseguente deriva dell'Isola verso SE (Cherchi e Montadert, 1982). In tali condizioni geodinamiche si sviluppò un'intensa attività vulcanica che, nel caso dell'Isola di Sant'Antioco, come del resto anche nella vicina San Pietro viene ricollegata ad una fase tettonica tardiva, quando il movimento di deriva della Sardegna era già terminato; il vulcanismo si manifestò inizialmente con eruzioni effusive, seguite da fasi altamente esplosive i cui prodotti finali sono caratterizzati da depositi ignimbritici a composizione riolitica e comenditica.

I termini più antichi, risalenti a 18,3 Ma, sono rappresentati da andesiti ed andesiti basaltiche diffuse soprattutto nel settore centrale e meridionale dell'Isola, cui seguono basalti in colate poco potenti (Loc. *Serra Nuarxis*), e le formazioni ignimbritiche (comenditiche, riolitiche e quarzotrachitiche) (circa

Su queste rocce vulcaniche si trovano vari depositi sedimentari marini, continentali ed eolici i quali, anche se di limitato spessore ed estensione, sono importanti per comprendere le ultime vicende paleogeografiche che hanno interessato l'Isola nel Quaternario.

In particolare in località Maladroxia, sulla costa orientale, a 2-4 m sul livello del mare si possono notare lembi isolati della Panchina tirreniana con i classici fossili di *Strombus bubonius*, *Conus testudinarius*, *Cardium tuberculatum* e *Patella caerulea*, che costituiscono quello che resta di un deposito litorale più ampio. Questo affioramento testimonia che già nel Tirreniano le coste dell'Isola avevano raggiunto una fisionomia simile all'attuale e che essa era staccata dall'Isola madre; tra *Su Portixeddu* e *Cala Francese* i sedimenti del Tirreniano riempiono tasche di dissoluzione carsica e contengono frammenti di ossa di vertebrati immersi in una matrice rossa ed argillosa (AA.VV., 1980).

Sono poi da ricordare le arenarie eoliche a stratificazione incrociata, i crostoni travertinosi post-Wurmiani, e tutti i depositi più recenti (lagunari, di spiaggia, alluvionali, eluviali, detriti di versante, ecc..) che contribuiscono alla configurazione recente dell'Isola; questi depositi quaternari si ritrovano estesamente nella parte settentrionale e sud-orientale dell'Isola.

Considerando con particolare riguardo la fascia costiera, si può notare una morfologia varia strettamente legata all'assetto strutturale complessivo e alle diverse litologie affioranti, più o meno erodibili.

Elementi di interesse climatico, floristico-vegetazionale e faunistico

I dati pluviometrici ricavati dalle registrazioni effettuate dall'osservatorio astronomico di Carloforte nel settantennio 1922-92 indicano che le precipitazioni hanno un valore medio annuo di appena 597,3 mm, sensibilmente diminuito negli ultimi anni, e che il mese più piovoso è dicembre, con 94,9 mm di pioggia, mentre il più siccitoso è luglio con 1,2 mm; la temperatura media annua è di circa 17°C con minimi che raramente si avvicinano allo zero. I venti dominanti provengono prevalentemente dai quadranti settentrionali, in particolare da NNO e subordinatamente da SO e SE.

Per quanto concerne la vegetazione, i cui caratteri essenziali sono contenuti in un ampio lavoro di Caneva, De Marco e Mossa (1981), lungo quasi tutto il perimetro costiero dell'Isola si può distinguere una vegetazione rupestre a finocchio di mare (*Crithmum maritimum* L.) e varie specie di statici (*Limonium* sp. pl) tra cui l'endemico *Limonium sulcitanum* Arrigoni. Spiccano tra le altre l'asterisco marittimo (*Asteriscus maritimus* (L.) Less.), entità rarissima per la Sardegna e localizzata nell'Isola esclusivamente sul promontorio calcareo di *Maladroxia*. A queste, su piccole superfici pianeggianti, si accompagnano sovente numerose specie aloresistenti quali *Mesembryanthemum nodiflorum* L. e *Frankenia laevis* L.

A ridosso di questa fascia prossima alla battigia si sviluppa una vegetazione a prevalenza di elicriso [*Helichrysum italicum* (Roth) Don ssp. *microphyllum* (Willd.) Nyman] che occupa i pianori e i lievi pendii, raggiungendo il suo massimo sviluppo tra *Gundua* e *Capo Sperone*, nella parte occidentale dell'Isola.

La vegetazione delle spiagge è contraddistinta fisionomicamente dall'ammofila [*Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm], dal ravastrello marittimo (*Cakile maritima* Scop.) e dalla gramigna [*Agropyron junceum* (L.) Beauv. ssp. *mediterraneum* Simonet et Guinochet]; questo aspetto è ben evidente solo nelle spiagge di *Cogquaddus*, a SE, e *Sa Salina*, a NO, mentre risulta molto frammentato nelle altre spiagge dove la vegetazione risente notevolmente dell'impatto turistico e di quello agricolo.

Oltre questa prima fascia costiera, su suoli sabbiosi, è ben sviluppata anche la boscaglia a ginepro coccolone [*Juniperus oxycedrus* L. ssp. *macrocarpa* (S. et S.) Ball] e lentisco (*Pistacia lentiscus* L.) con esemplari di grosse dimensioni come quelli di Calasetta.

Interessanti lembi di vegetazione palustre sono inoltre presenti presso *Sa Salina* e *Cussorgia*, con cannuccia di palude (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Stendel) giunchi, *Juncus acutus* L. e *J. subulatus* Forsskal ben rappresentati a *Is Pruinis*.

Negli stessi contesti è interessante anche la vegetazione alofila con la salicornia fruticosa [*Arthrocnemum fruticosum* (L.) Moq.] e la salicornia glauca [*Arthrocnemum glaucum* (Delile) Ung.-Sternb.]; in queste zone di transizione il valore naturalistico è arricchito dalla presenza

dell'*Halocnemum strobilaceum* (Pallas) Bieb], pianta alofila presente solo in pochissimi altri siti in Sardegna.

Nella parte sud-orientale dell'Isola, più arida, domina una macchia alta a ginepro fenicio (*Juniperus phoenicea* L.) con lentisco, palma nana (*Chamerops humilis* L.) ed euforbia arborea (*Euphorbia dendroides* L.); nelle coste rocciose, poi è presente una boscaglia a ginepro fenicio (*Juniperus phoenicea* L.) e olivastro (*Olea europea* L. var. *sylvestris* Brot.) con la peculiare costante presenza della palma nana, come avviene nel promontorio e nei versanti della valle di *Maladroxia* dove vi sono ginepri fenici secolari ed abbonda la palma nana.

Sul lato occidentale dell'Isola, invece, prevale una macchia bassa a ginestra di Gasparrini (*G. ephedroides* DC.), cisto marino (*Cistus monspeliensis* L.), e ancora palma nana che si distribuisce su tutti i tipi di rocce vulcaniche e di copertura. Il settore centro-settentrionale dell'Isola è caratterizzato da una macchia bassa a *G. ephedroides*, *C. monspeliensis*, *Rosmarinus officinalis* L., *Lavandula stoechas* L., *Erica arborea* L. e *Arbutus unedo* L., mentre la restante parte, ben il 40% di tutta la superficie, è occupata da coltivi: di tale superficie circa il 70% è sfruttata a vigneto ed il 30% appena a seminativo.

La piccola Isola della Vacca presenta una macchia bassa strisciante a lentisco e olivastro mentre nell'Isola del Toro, alquanto lontana, l'unica pianta arbustiva che si salva dal vento e dall'aerosol marino è la *Nicotiana glauca*, non autoctona.

In entrambe le isole prevale sia sulle rupi che sui pianori una vegetazione erbacea caratterizzata da piante annuali.

L'Isola di Sant'Antioco risulta particolarmente interessante dal punto di vista floristico per la presenza, tra le numerose specie spontanee, di 33 specie endemiche che ne arricchiscono il patrimonio naturale; le più importanti sono la *Ophrys morisii* (Martelli) Sodò, orchidea endemica sarda diffusa in tutta la Sardegna, la *Genista morisii* Colla, la *G. ephedroides* ed il *Limonium tigulianum* Arrigoni et Diana la cui distribuzione è concentrata nella Sardegna sud-occidentale (Arrigoni et al., 1976-1991).

Altri elementi floristici di estremo interesse oltre quelli già citati sono: *Asteriscus maritimus* presente in Sardegna solo presso *Porto Pino* e *Capo Teulada*, *Silene corsica* DC., *Bryonia marmorata* Petit, *Oenanthe lissae* Moris, *Cymbalaria aequitriloba* (Viv.) A. Chevalier, *Carex microcarpa* Bertol e *Ophrys x maladroxiensis* Scrugli Todde et Cogoni (Milia e Mossa, 1976; Pignatti, 1982; Scrugli et al., 1992).

Il territorio di Sant'Antioco offre accoglienza a molte specie animali; infatti oltre ad una fauna invertebrata di tutto riguardo è presente tra l'erpetofauna la *Podarcis tiliguerta toro*, una sottospecie della lucertola tirrenica, endemica dell'isoletta del Toro e l'*Algyrooides fitzingeri*, la cui presenza è limitata a Sardegna e Corsica (Puddu et al., 1988).

Numerose sono le specie di uccelli di cui alcune stanziali, altre di passo. Da segnalare, specie lungo le coste, la presenza del gabbiano corso e di quello reale, della berta maggiore, di quella minore e dell'uccello delle tempeste, e, in particolare, tra i rapaci quella del falco pellegrino e quella del falco della Regina (*Falco eleonora*). Quest'ultima specie, con pochi siti di nidificazione in Italia, nidifica in colonie nelle inaccessibili falesie occidentali (Piras e Pisano, 1972).

La presenza di vaste aree stagnali poi crea un *habitat* favorevole per l'avocetta, il fenicottero, il tarabusino, la nitticora, l'airone rosso e molte altre specie di avifauna acquatica.

È inoltre presente la pernice che abita la macchia mediterranea dell'Isola insieme a diversi mammiferi quali la lepore, il coniglio ed il cinghiale.

Paesaggio costiero e geositi

Nell'Isola di Sant'Antioco è presente una notevole varietà di aspetti geologici e geomorfologici che la differenziano non poco dalle altre zone della Sardegna (Fig. 1). La singolarità di alcuni di questi elementi fa sì che possano essere considerati dei veri e propri geositi o monumenti geologici e geomorfologici, che, nel loro insieme, concorrono a comporre un sistema di paesaggi aventi rilevante interesse naturalistico e scientifico.

Gli stagni e le lagune presenti nell'Isola, ad esempio, costituiscono un sistema di zone umide tra i più significativi della Sardegna meridionale. Tra questi, il più esteso è lo Stagno di Santa Caterina, attiguo

alla Salina di Sant'Antioco, separato dal mare da un sistema di lidi ed argini, per lo più di origine antropica al fine di creare le vasche evaporanti e le caselle salanti per la produzione del sale; la sua profondità media è di 50 cm e la sua estensione è di circa 660 ettari. Nello stagno sono presenti delle piattaforme emerse denominate *Isola Manna*, *Isola de sa Scruidda*, *Isola Porcu e Scriba* e *Isola Crucciannas*, formatesi in passato dagli apporti fluviali del Rio Palmas. L'area costituisce un *habitat* particolarmente apprezzato da diverse specie ornitologiche e, in particolare, da colonie di fenicotteri.

Più piccoli in estensione sono lo Stagno di Punta de s'Aliga, di 100 ettari, ubicato a sud dell'abitato di Sant'Antioco e lo Stagno di Cirdu, di circa 20 ettari, che si estende, con forma più o meno tondeggiante, nell'apice settentrionale dell'Isola, nel quale vengono condotte interessanti esperienze di gambericoltura.

La costa dell'Isola è caratterizzata, lungo tutto il suo contorno, da una grande varietà di unità fisiografiche, con promontori che si alternano a piccole insenature e falesie a strapiombo sul mare seguite da coste lineari basse, sia rocciose che sabbiose.

Dal punto di vista geomorfologico e paesaggistico la scogliera di *Nido dei Passeri*, con il suo profilo prima frastagliato e poi lineare, rappresenta uno dei tratti costieri più interessanti del settore nord-occidentale dell'Isola. Qui la falesia tronca nettamente un tavolato debolmente inclinato di rocce ignimbrico-riolitiche e localmente inciso da vallecole sospese, testimoni di un'antica idrografia. Localmente scogli e faraglioni emergono dal mare poco lontani dalla battigia e testimoniano, con gli ingenti depositi di crollo, l'arretramento della costa ad opera del moto ondoso che qui agisce con grande intensità. Particolarmente interessante è l'effetto cromatico offerto dalle piroclastiti riolitiche finemente stratificate affioranti alla base della falesia in località *Gundua*, con caratteristiche alternanze biancastre e rosate.

Le falesie costiere di *Nido dei Passeri* e, più a sud, di *Macari* delimitano, verso il mare, l'esteso ripiano settentrionale dell'Isola coperto dai depositi alluvionali ed eolici del Pleistocene e da suoli che, grazie alla loro buona fertilità, sono intensamente utilizzati ai fini agricoli; qui la vegetazione delle rupi costiere rimane l'unico elemento naturale di un ambiente profondamente modificato dall'uomo.

Più a sud, *Cala Lunga* si configura come una profonda insenatura stretta tra alte pareti rocciose, modellate nelle ignimbriti quarzo-trachitiche in potenti bancate suborizzontali (Fig.2). Assieme alle altre calette e insenature presenti lungo questa costa (es. *Cala Sapone*), costituisce un sistema di piccole rientranze (tipo *rias*) che rendono alquanto articolata la costa. Tali insenature costituiscono lo sbocco a mare di un sistema di piccole vallecole che si addentrano nell'Isola all'interno delle quali è penetrato il mare durante la trasgressione versiliana e delle quali, quella incisa dall'omonimo *Riu di Cala Lunga* è la più importante.

Procedendo verso Sud segue l'ampia insenatura di *Porto Sciusciau*, chiusa nella parte settentrionale da *Punta Grossa*, con un suggestivo faraglione elevato circa 20 m sul mare; ancora oltre si sviluppa l'articolatissima costa di *Sa Corona de su Crabi*, con il suo caratteristico profilo seghettato con numerosi promontori che si alternano a strettissime insenature iso-orientate.

L'opera di questo minuzioso cesellamento va ricondotta all'intensa azione del mare, guidata dalla struttura delle rioliti. L'ostacolo offerto dalla roccia al progressivo arretramento ad opera del moto ondoso, giustifica la presenza di scogli e modesti faraglioni che si elevano solitari a pochi metri dalla terraferma.

L'insenatura di *Porto Sciusciau* è invece caratterizzata da una suggestiva e solitaria spiaggia ciottolosa, la quale prosegue verso l'interno con la valle di *Rio s'Ena de Porto Sciusciau* che incide le rioliti massive fino a penetrare le colate basaltiche affioranti più all'interno. Verso sud la cala è invece delimitata dalle rocce andesitiche delle colate di *Monte del Semaforo* (176 m s.l.m.), a giacitura domiforme, mentre nella chiusura settentrionale presenta un suggestivo arco di roccia modellato dai processi litorali che hanno avuto facile gioco nelle discontinuità litologiche e tettoniche.

Molto interessante, in questo tratto di costa sud-occidentale e nell'immediato interno, è la variabilità di microforme modellate dalle acque e dal vento, nelle rioliti, con morfosculture e forme alveolari estremamente suggestive.



Figura 2 - Cala Lunga, una profonda insenatura impostata su una incisione valliva (ria) che si apre nella ripida costa rocciosa occidentale dell'Isola di S. Antioco e termina verso l'interno con una bella spiaggia di fondo baia.

Anche la costa meridionale dell'Isola, modellata prevalentemente in vulcaniti, basiche ed acide, presenta un'alternanza di promontori, con ripe che scendono a picco sul mare (Fig.3), più o meno ampie insenature nelle quali si sono raccolti depositi sabbiosi e ciottolosi rimaneggiati dalle onde. Tra queste, il *Porto de s'Acqua sa Canna* si trova immediatamente ad est di *Capo Sperone*, la punta più meridionale dell'Isola, nel quale sfocia a mare il rio omonimo; il *Porto di Torre Cannai*, dominato dalla torre costiera che porta lo stesso nome, anch'essa è caratterizzata da modesti apporti torrentizi provenienti dall'entroterra; il *Porto di Coquaddus*, all'estremità sud-orientale dell'Isola, modellatosi tra le vulcaniti andesitico-basaltiche che costituiscono la struttura del *Monte Arbus* e gli affioramenti carbonatici mesozoici, il basamento più antico dell'Isola, che poi si spingono sino a *Maladroxia*.

Questa località assume interesse per il contenuto fossilifero delle sue rocce carbonatiche, che ha consentito una più completa definizione dei caratteri principali della sedimentazione mesozoica nell'area sulcitana ed interessanti e significative correlazioni con le coeve successioni di altre località utili per una più completa ricostruzione della paleogeografia mesozoica della Sardegna.

Completamente circondati e parzialmente coperti dalle rocce vulcaniche oligo-mioceniche, gli affioramenti sedimentari carbonatici mesozoici mostrano rilievi poco accentuati e morfologie d'insieme abbastanza arrotondate; mentre risultano tagliate, nella costa, in corrispondenza del Golfo di Palmas, da scarpate rocciose e falesie di altezza fino a circa 30 m sul livello del mare. Queste rocce non mostrano un carsismo superficiale o ipogeo accentuato, salvo la presenza di qualche piccola grotta suborizzontale a *Serra Is Tres Portus* e varie microforme carsiche abbastanza evidenti in affioramento, quali solchi, scannellature e vaschette di dissoluzione. Sempre a *Maladroxia* è da segnalare una sorgente termale ad acque clorate-alcaline che sgorga dalle sabbie che chiudono l'insenatura, alle quali in passato venivano riconosciute proprietà medicamentose (Maxia, 1963).



Figura 3 - La costa sud-occidentale dell'Isola di S. Antioco è caratterizzata da falesie scoscese che superano i 30 metri di altezza, impostate su rocce vulcaniche massive con imponenti depositi di crollo alla base.

Più a Nord la costa orientale che affaccia verso il Golfo di Palmas assume una conformazione più uniforme e rettilinea, fino a terminare con la lunga spiaggia sabbiosa di *Is Pruinis*.

Nell'entroterra, la variabilità di differenziati vulcanici ha determinato la conformazione di paesaggi tabulari o a cupola, all'interno dei quali risaltano spesso elementi litoidi singolari con tipiche forme d'erosione localmente note come "bocchette" o anche marcate incisioni torrentizie che lasciano affiorare in bella evidenza i banchi ignimbratici. Presso *Torre Cannai*, e più diffusamente nell'entroterra fino a *Monte Arbus*, *Montarveddu* e oltre, affiorano breccie poligeniche, caotiche o stratificate, intercalate a livelli pomicee e cineritici con laminazioni pianoparallele o incrociate e lembi di andesiti basaltiche in ammassi ed iniezioni laviche a struttura porfirica.

L'area di *Monte Arbus* (239 m s.l.m.), in particolare, costituisce un piccolo e caratteristico sistema collinare impostato sulle andesiti basaltiche in ammassi ed iniezioni laviche e su breccie vulcaniche poligeniche; i suoi lineamenti cupuliformi risaltano notevolmente rispetto a quelli dei rilievi più settentrionali, dalla morfologia dolce, di *Serra is Tres Portus* e *Serra de Mesu*, impostati sui calcari mesozoici. Il rilievo è caratterizzato, infatti, da una aspra culminazione che va da *Montarveddu* a *Monte Arbus*, a tratti interrotta da modeste selle, dalla quale si dipartono vallecule a fondo concavo che ne incidono i versanti settentrionale e meridionale mettendo in evidenza le potenti bancate laviche con spettacolari nicchie alveolari. Degne di nota poi, nel settore meridionale del rilievo, le cupole modellate nelle andesiti massive. Il raccordo alla base invece, sia a nord che a sud, avviene in maniera graduale, in parte addolcito dalla presenza di antiche conoidi alluvionali.

Beni culturali

Per quanto concerne i beni culturali, l'Isola di Sant'Antioco vanta la presenza di peculiari resti e reperti storico-archeologici che testimoniano la presenza umana fin dalla fase tarda del periodo Neolitico. Si tratta, in particolare, di resti di nuclei abitati (insediamento con fondi di capanna del Cronicario

all'interno del nucleo odierno di S. Antioco), di emergenze monumentali come le caratteristiche camere sepolcrali denominate *Domus de janas* (*Is Pruinis*), di *Tombe di giganti* (*Su Nidu 'e su Crobu*), di *Menhir* (*Su Para e sa Mongia*) e di *Nuraghi* (*Feminedda, M.te Arbus, M.te s'Orxiu, S'Ega Marteddu, Grutti 'e Acqua, Antiogu Diana, S'Ega sa Funtana*).

Le testimonianze archeologiche più rilevanti sono rappresentate dal complesso necropoli-*tophet* di Sulci, a nord dell'abitato di S. Antioco, che, data la sua vastità e l'importanza dei ritrovamenti, tramanda un'immagine grandiosa dell'antica città fenicio-punica e delle sue genti.

Sono da ricordare, ancora, il ponte, in corrispondenza dello stretto istmo, e il tratto di strada di epoca romana ai bordi dello stagno, ben conservati, nonché il mausoleo, denominato dai locali *Sa Presonedda*, in località *Su Narboni*. Degne di nota sono poi le catacombe della prima epoca cristiana sotto l'attuale chiesa parrocchiale.

Tra le testimonianze storiche più recenti meritevoli di interesse anche per il contesto paesaggistico e scenografico nel quale sono inserite vanno ricordate le torri costiere spagnole di *Cannai* e quella di Calasetta, edificate a partire dal XVII sec (Di Gregorio et al., 1994).

Nell'Isola sono poi presenti, inoltre, testimonianze di archeologia industriale aventi un elevato valore culturale per i caratteri architettonici, storico-tecnologici o paesistici d'insieme, che segnano una precisa fase storica dell'evoluzione tecnologica e impiantistica e del suo modo di rapportarsi con l'ambiente. Tra questi sono da segnalare i resti delle tonnare di *Cala Saboni* e *Punta Maggiore* (Mezzolani e Simoncini, 1995), quest'ultima interessata da un intervento di recupero, le infrastrutture della linea ferroviaria a scartamento ridotto Siliqua-Calasetta, in particolare la Stazione di S. Antioco, quella di *Scussorgia* e di Calasetta, e le altre testimonianze disperse nel territorio (fornaci di *Coqquaddus* e di *Sedda sa Murta*, Cave abbandonate di Magnesio e Bentonite).

Fondamenti per un turismo sostenibile

Proprio per le sue peculiari risorse naturali e culturali, l'Isola di Sant'Antioco, negli ultimi anni, è interessata da una crescente pressione turistica e insediativa. Dai dati ISTAT relativi al periodo 1981-1997 si possono ricavare elementi utili sulla sua frequentazione. Il numero di residenti si è mantenuto pressoché costante nell'intervallo di tempo considerato, rimanendo nell'ordine delle 6650 unità; ha subito, invece, un notevole aumento il numero delle abitazioni (da 4574 a 5552), in particolare di quelle secondarie (da 2302 a 3149), che hanno avuto un incremento del 40%.

La ricettività alberghiera si basa unicamente su 10 esercizi, 2 campeggi e diverse strutture ricettive più piccole capaci di accogliere rispettivamente 455, 1088 e 196 persone, per un totale di 1739 posti letto; numero relativamente esiguo per le potenzialità proprie dell'Isola. Le presenze turistiche negli alberghi e nel campeggio si aggirano complessivamente intorno alle 20.000 per anno; per soddisfare la domanda turistica molti residenti che abitano perlopiù nei centri di Sant'Antioco e di Calasetta, affittano le loro seconde case sparse nella campagna traendo benefici non irrilevanti. Numerosi sono, inoltre, i turisti pendolari che non pernottano sull'Isola ma visitano i principali siti archeologici (*tophet* e Museo archeologico) e soprattutto le belle spiagge. In tal modo si stima che nelle ultime stagioni estive si è giunti a superare complessivamente le 300.000 presenze turistiche.

Considerando il fatto che tali presenze si concentrano in particolare nei tre mesi estivi, si può facilmente intuire il notevole impatto sul territorio in questo periodo; le aree più esposte a tale pressione di fruizione sono le piccole spiagge dislocate un po' ovunque lungo la costa rocciosa, i fondali ove viene praticata la pesca subacquea ed i biotopi di interesse internazionale (falesie, grotte marine) dove nidificano molti uccelli di scogliera. Pertanto, su queste aree particolarmente sensibili e vulnerabili occorre adottare una corretta gestione volta sia alla loro valorizzazione a fini economici sia alla loro conservazione.

Sulla base di una indagine bibliografica e di fotointerpretazione, ma soprattutto dal rilevamento sul terreno, sono state studiate e descritte le 17 spiagge dell'Isola, valutandone la *qualità ambientale*, il *rischio di degrado* e definendone successivamente la *carrying capacity* attraverso il calcolo di un *coefficiente di carico* definito seguendo una metodologia adottata da Arisci et al. (2000).

In Tabella 1 sono state riportate le 17 spiagge con le loro principali caratteristiche geografiche ed ambientali, mentre in Tabella 2 sono riportati i parametri per la valutazione della *qualità ambientale*. Quest'ultima è stata definita attraverso una valutazione delle componenti ambientali e degli elementi utili per l'esperienza ricreativa nel paesaggio (Di Fidio, 1991). Per definire la *qualità ambientale* sono stati presi in considerazione i molteplici caratteri delle singole spiagge come la geomorfologia, la tipologia e la diversità di *habitat* (scogliere a picco sul mare o molto acclivi e coste rocciose, con o senza spiagge alla base, dune, ecc.), la presenza di un bacino di alimentazione, la tendenza evolutiva (grado di erosione costiera), la flora e la fauna, gli aspetti scenografici (forme d'insieme, colori, ecc.) e l'interesse dal punto di vista turistico.

Dalla *qualità ambientale* delle spiagge, prendendo in considerazione i fattori dell'accessibilità e della pressione di fruizione da parte dei bagnanti è stato poi calcolato il *rischio di degrado* da cui si è poi definito il *coefficiente di carico* in termini di numero di bagnanti che le singole spiagge possono sostenere senza che vengano compromesse irreversibilmente le caratteristiche ambientali (Tabella 3). Per ogni spiaggia è stato valutato il grado di accessibilità: a piccole *pocket beach* alla base di falesie, raggiungibili soltanto a piedi o via mare (*Porto Sciusciau* e *Su Para*) e quindi meno suscettibili alla frequentazione, è stato attribuito un valore di 1, mentre a spiagge vicine alla viabilità principale od agli abitati (*Su Portixeddu*, *Maladroxia*, *Cogquaddus*, *Cala Saboni*, *Cala Lunga*, *Spiaggia Grande*, *Le Saline*, *Sottotorre* e *Cussorgiu*) è stato dato un valore pari a 3. Strettamente collegata all'accessibilità della spiaggia, ma anche all'attrazione che questa esercita sui bagnanti (e quindi alla *qualità ambientale*), è la pressione di fruizione, con valori da 1 a 3. Alle spiagge meno attraenti, come quelle di *Is Pruinis*, *Porto de s'Acqua sa Canna*, *Porto Sciusciau*, *Su Para*, *Rosariieddu* e *Cussorgia*, è stato attribuito un valore di 1, mentre tutte le altre hanno ottenuto una valutazione di 3. La somma dei valori di *accessibilità*, *pressione di fruizione* e *qualità ambientale* ha consentito, poi, di valutare il *rischio di degrado* per ciascuna spiaggia che, a sua volta, influenza il *coefficiente di carico*.

La valutazione di tale coefficiente è frutto di una pluriennale indagine effettuata prendendo in considerazione diverse spiagge della Sardegna meridionale (*Villasimius*, *Chia*, *Poetto* di Cagliari e *Quartu Sant'Elena*), nelle quali è stato calcolato il numero di bagnanti per unità di superficie di spiaggia, rispettivamente in bassa, media ed alta stagione. In questo modo è stato possibile definire il carico ammissibile di bagnanti in funzione della superficie dell'arenile, che è risultato essere di 1 persona ogni 10 mq. Tale valore di *coefficiente di carico* è stato applicato a tutte le spiagge meno sensibili, e quindi a più basso *rischio di degrado* (con valori al di sotto di 20), come quelle di *Is Pruinis*, *Torre Cannai III*, *Porto de s'Acqua sa Canna*, *Porto Sciusciau*, *Su Para*, *Rosariieddu* e *Cussorgia*, mentre per quelle più sensibili (a più alto *rischio di degrado*), come le spiagge di *Su Portixeddu*, *Torre Cannai I e II*, *Cala Saboni*, *Cala Lunga*, *Spiaggia Grande*, *Le Saline* e *Sottotorre*, il coefficiente di carico adottato è di 1 persona per 20 mq di superficie. Per le spiagge più sensibili in assoluto (*Maladroxia* e *Cogquaddus*), infine, il *coefficiente di carico* suggerito è di 1 persona ogni 50 mq di superficie.

Questi *coefficienti di carico*, così definiti, prendono in considerazione la superficie della spiaggia effettivamente utilizzabile per la balneazione in metri quadrati e non la lunghezza come nel caso del *coefficiente di carico* adottato nella Circolare n° 5 d (Am-Ma) del 20 Marzo del 1978 dell'Assessorato all'Urbanistica della Regione Autonoma della Sardegna per valutare il numero dei bagnanti ammissibili lungo le coste dell'Isola ai fini turistico-residenziali (n° 2 posti-bagnante/ml per costa sabbiosa con profondità > ai 50 m; n° 1 posto-bagnante/ml per costa sabbiosa con profondità < ai 50 m; n° 0,5 posti-bagnante/ml per costa rocciosa accessibile).

In Tabella 4 vengono riportati i risultati delle valutazioni effettuate sulle 17 spiagge utilizzando questi due *coefficienti di carico*, che mettono in luce una leggera variazione nella capacità di carico complessiva per tutte le spiagge (10.175 bagnanti ammissibili secondo la normativa nazionale, 11.077 secondo gli Autori), ma denotano una più spiccata diversità di carico relativamente alle singole spiagge, ciascuna delle quali con caratteristiche naturali specifiche (tessitura dei sedimenti, energia incidente, tendenze evolutive, caratteri vegetazionali, importanza come biotopo, ecc.).

Tabella 1 - Le spiagge dell'Isola di Sant'Antioco e le loro principali caratteristiche geografiche ed ambientali.

Nome della Spiaggia	Litologia aree adiacenti	Morf. della costa	Lungh. (m)	Largh. Max (m)	Tessitura del sedimento	Aliment. da corsi d'acqua o pocket beach	Coeff. d'energia incidente	Insediam.
Is Pruinis	Alluvioni	Rettilinea	3.290	20	Sabbia fine con ciottoli	Pocket beach	2	Sparsi
Su Portixeddu	Calcarei	Arcuata	30+70	10	Sabbia fine	Pocket beach	1	Sparsi
Maladroxia	Calcarei	Arcuata con cuspidi	380	45	Sabbia fine fine	Foce torrentizia	1	Addensati in villaggio
Coquaddus	Calcarei Brecce vulcaniche alluvioni	Rettilinea con cuspidi	770	50	Sabbia fine	Foce torrentizia	2	Assenti
Torre Cannai I	Andesiti	Insenatura	50	15	Sabbia fine	Pocket beach	2	Sparsi
Torre Cannai II	Andesiti	Arcuata	50	15	Sabbia	Pocket beach	2	Assenti
Torre Cannai III	Andesiti	Arcuata	200	10	Ciottoli e sabbia	Pocket beach	2	Assenti
Porto de s'Acqua sa Canna	Andesiti Alluvioni	Arcuata	350 (in 3 p.)	10	Sabbia e ciottoli	Foce torrentizia	2	Sparsi
Porto Sciusciau	Andesiti rioliti eolianiti	Arcuata	120	10	Ciottoli e blocchi	Foce torrentizia	2	Assenti
Cala Saboni	Eolianiti e ignimbriti	Rias	100	40	Sabbia fine	Foce torrentizia	1	Sparsi
Cala Lunga	Ignimbriti	Rias	90	60	Sabbia fine	Foce torrentizia	1	Assenti
Su Para	Ignimbriti	Rias	55	30	Ciottoli	Foce torrentizia	2	Assenti
Spiaggia grande	Depositi colici, eolianiti e ignimbriti	Arcuata	1.050	80	Sabbia	Pocket beach	1	Sparsi
Le Saline	Depositi colici, eolianiti e ignimbriti	Arcuata	590	30	Sabbia fine	Pocket beach	2	Sparsi
Sottotorre	Depositi colici e ignimbriti	Arcuata	280	25	Sabbia fine	Pocket beach	3	Centro urbano
Rosarièddu	Depositi colici	Arcuata	700	4	Sabbia	Foce torrentizia	2	Sparsi
Cussorgia	Depositi colici	Rettilinea	750	10	Sabbia	Foce torrentizia	3	Addensati in villaggio

Coefficiente d'energia incidente: 1 = debole, 2 = mediamente forte, 3 = forte. Tale coefficiente di energia è ricavato suddividendo in tre classi la quantità di energia media annua incidente sulle diverse spiagge così come definita in Atzeni et al. (2000).

Tabella 2 - Qualità ambientale delle spiagge.

Denominazione spiaggia	Ig	Fl	Fa	Th	H	Te	It	Vs	Totale (Qa)
Is Pruinis	1	2	2	Sa, St	2	2	1	1	13
Su Portixeddu	2	2	1	Crb	2	3	3	2	16
Maladroxia	3	2	1	Sa, Crb	2	3	3	2	18
Coquaddus	3	2	2	Sa, Du, Cra	3	2	3	2	20
Torre Cannai I	2	2	1	Cra	2	2	3	2	15
Torre Cannai II	3	2	1	Crb	2	2	2	2	15
Torre Cannai III	3	2	1	Crb	1	2	1	1	12
Porto de s'Acqua sa Canna	2	1	1	Crb	2	2	2	1	12
Porto Scusciau	3	2	2	Fa, Fo	2	2	1	2	16
Cala Saboni	2	1	1	Sa, Crb	2	3	3	2	16
Cala Lunga	2	2	2	Sa, Cra	2	3	1	2	16
Su Para	3	2	1	Crb	2	2	1	2	14
Spiaggia grande	3	2	1	Sa, Du, Crb	2	3	2	1	17
Le Saline	2	2	1	Du, Crb, St,	3	2	2	2	17
Sottotorre	2	2	1	Du, Crb	2	1	3	2	15
Rosariieddu	1	1	1	F	1	2	1	1	9
Cussorgia	1	1	1	F	1	1	1	1	8

Ig = Interesse geologico-geomorfologico; Fl = Flora; Fa = Fauna; Th = Tipologia di habitat (Sa= Sabbia; Crb = Costa rocciosa bassa, Cra = Costa rocciosa alta, F = Foce, St = Stagno, La = Laguna, Du = Dune di retrospiaggia); H = Grado di diversità di habitat, con valutazione sul livello di interesse scientifico, didattico-culturale o paesaggistico; Te = Tendenza evolutiva; It = Interesse turistico (Accessibilità e servizi nelle vicinanze); Vs = Valenza scenografica; Qa = Qualità ambientale che tiene conto delle caratteristiche e dello stato di conservazione della spiaggia e dell'unità fisiografica che la contiene.

Modello di sviluppo sostenibile

Grazie ad un tipo di valutazione come quello proposto riteniamo possibile proporre, per le spiagge e le coste dell'Isola, un modello di sviluppo sostenibile e, laddove necessaria, un'organizzazione della fruizione ed una regolamentazione degli accessi, in modo tale da assicurarne la conservazione per le future generazioni tenendo conto comunque delle esigenze di sviluppo turistico, economico e sociale della popolazione locale interessata alla valorizzazione delle potenzialità turistiche esistenti. Dal lavoro svolto emergono innanzitutto interessanti dati che consentono di definire alcune linee guida per un modello di sviluppo sostenibile oggi incentrato sul tema marino-balneare, anche attraverso l'attivazione del potenziale turistico legato all'insieme dei beni naturali e culturali. Questo dovrà avvenire, però, anche attraverso il miglioramento e l'ampliamento delle strutture ricettive e la gestione integrata delle risorse presenti. Solo in tal modo il turismo potrà recare un consistente positivo impatto sulla comunità residente.

Al momento attuale la limitata durata della stagione turistica e l'elevata concentrazione della frequentazione in alcune piccole spiagge ne mettono a rischio l'integrità e le qualità ambientali.

Dalle informazioni in nostro possesso risulta, infatti, che la capacità di carico della maggior parte delle spiagge viene abbondantemente superata nei mesi estivi, mentre altre esercitano una scarsa attrazione a causa della carenza dei servizi e della scarsa qualità ambientale (*Is Pruinis*). Alcune spiagge in particolare (*Su Portixeddu*, *Maladroxia*, *Coquaddus*, *Spiaggia Grande*, *Le Saline*, *Sottotorre*), più appetibili delle altre, risultano letteralmente invase dai turisti, con ovvie conseguenze negative per l'ambiente, soprattutto per i delicati ecosistemi di retrospiaggia. Questo problema può essere affrontato soltanto riqualificando le spiagge "meno belle" o quelle degradate dall'uso inappropriato pregresso, attraverso una corretta pianificazione e gestione che tenga in debito conto i problemi della sostenibilità ambientale.

Per questo motivo si deve cercare, con tutti i mezzi gestionali e promozionali, di riqualificare alcuni tratti costieri poco utilizzati ed estendere la stagione turistica ai mesi primaverili ed autunnali, ampliando il richiamo turistico anche alle altre valenze naturali e culturali presenti nel territorio (Fig. 4) mediante la realizzazione di centri visita ed una rete di sentieri per la fruizione corretta dei beni naturali e culturali, la creazione di "sentieri blu", di scuole di vela e diving center, la rivitalizzazione di attività tradizionali, soprattutto quelle legate alle saline, attivandovi a contorno l'insieme delle attività compatibili legate all'interesse naturalistico, archeologico industriale o terapeutico (uso delle acque madri).

Tabella 3 - Rischio di degrado e coefficiente di carico delle spiagge.

Nome spiaggia	Accessibilità	Pf	Qualità ambientale	Rischio di degrado	Coefficiente di carico
Is Pruinis	2	1	13	16	0,1
Su Portixeddu	3	3	16	22	0,05
Maladroxia	3	3	18	24	0,025
Coquaddus	3	3	20	26	0,025
Torre Cannai I	2	3	15	20	0,05
Torre Cannai II	2	3	15	20	0,05
Torre Cannai III	2	3	12	17	0,1
Porto de s'Acqua sa Canna	2	1	12	15	0,1
Porto Sciusciau	1	1	16	18	0,1
Cala Saboni	3	3	16	22	0,05
Cala Lunga	3	3	16	22	0,05
Su Para	1	1	14	16	0,1
Spiaggia grande	3	3	17	23	0,05
Le Saline	3	3	17	23	0,05
Sottotorre	3	3	15	21	0,05
Rosarièddu	2	1	9	12	0,1
Cussorgia	3	1	8	12	0,1

Accessibilità: 1 = difficile, 2 = relativamente semplice, 3 = molto semplice;

Pressione di fruizione (Pf): 1=poco frequentata, 2=mediamente frequentata, 3=molto frequentata;

Livello del rischio di degrado = Accessibilità + Pressione di fruizione + Qualità ambientale;

Coefficiente di carico valutato in funzione del rischio di degrado: fino a 19 = 0,1 unità/mq pari a 10 mq di spiaggia a persona, da 20 a 23 = 0,05 unità/mq pari a 20 mq di spiaggia a persona, maggiore di 23 = 0,025 unità/mq pari a 50 mq di spiaggia a persona.

Conclusioni

Dal lavoro svolto emerge l'esistenza nell'Isola di Sant'Antioco di una molteplicità di valenze d'interesse naturalistico e scientifico, di ampi spazi con elevato grado di naturalità e di un cospicuo patrimonio culturale legato all'archeologia industriale (stabilimenti delle tonnare, ferrovia, cave) e alla peculiare storia dell'insediamento umano che necessita ancora di essere meglio conosciuto e valorizzato a fini turistico-culturali.

Il lavoro, realizzato anche sulla base dell'esperienza che gli Autori stanno conducendo in altri litorali della Sardegna nell'ambito del progetto INTERREG II C "Modelos Territoriales sostenibles para los espacios litorales mediterraneos" e della Ricerca Nazionale "Bilancio sedimentario dei sistemi costieri italiani", è teso a definire una metodologia per realizzare un modello di turismo sostenibile nell'Isola di Sant'Antioco.

In particolare gli Autori hanno caratterizzato e descritto 17 spiagge dell'Isola, valutandone la qualità

Tabella 4 - Caratteristiche delle spiagge e numero totale sostenibile di bagnanti.

Nome Spiaggia	Lungh. (m)	Coefficiente di carico* (bagnanti/m lineare di spiaggia)	Numero di bagnanti ammissibili *	Superficie (m ²)	Coefficiente di carico° (bagnanti/m ² di spiaggia)	Capacità di carico (bagnanti)
Is Pruinis	3.290	1	3.290	41.000	0,1	4.100
Su Portixeddu	100	1	100	800	0,05	40
Maladroxia	380	1	380	13.600	0,025	340
Coquaddus	770	1	770	23.100	0,025	577
Torre Cannai I	50	1	50	380	0,05	19
Torre Cannai II	50	1	50	420	0,05	21
Torre Cannai III	200	1	200	1.200	0,1	120
Porto de s'Acqua sa Canna	350	1	350	3.100	0,1	310
Porto Sciusciau	120	1	120	1.100	0,1	110
Cala Saboni	110	1	110	3.400	0,05	170
Cala Lunga	90	2	180	4.500	0,05	225
Su Para	55	1	55	1.000	0,1	100
Spiaggia grande	1.050	2	2.100	56.000	0,05	2.800
Le Saline	590	1	590	15.500	0,05	775
Sottotorre	280	1	280	6.000	0,05	300
Rosarièddu	700	1	700	2.200	0,1	220
Cussorgia	750	1	750	8.500	0,1	850
Totale	9.035		10.175	171.800		11.077

* = Coefficiente di carico e numero di bagnanti ammissibili per metro lineare secondo la Circolare dell'Assessorato dell'Urbanistica in data 20 Marzo 1978, n. 5 d (Am-Ma);
° Coefficiente di carico secondo Arisci, De Waele e Di Gregorio (2000);
Capacità di carico = superficie della spiaggia x coefficiente di carico.

ambientale, il rischio di degrado e definendone successivamente la *carrying capacity* attraverso il calcolo di uno specifico coefficiente di carico, diverso in base ai caratteri naturali specifici di ogni singolo arenile.

Complessivamente l'Isola di Sant'Antioco, come tante altre isole minori, ha notevoli potenzialità dal punto turistico-ricreativo e culturale, non ancora utilizzate a pieno. Le sue particolari caratteristiche del territorio rendono possibile l'insediamento di attività economiche compatibili, tradizionali e non, creatrici di reddito e di occupazione. La messa a valore delle sue risorse, in un ambiente fragile e sensibile, richiede tuttavia la predisposizione di un Piano di gestione integrata, incentrato secondo un modello di sviluppo sostenibile, con la creazione di riserve naturali costiere e marine, la valorizzazione dei numerosi geositi e dei paesaggi di elevato interesse geomorfologico o d'insieme, la riqualificazione del paesaggio umano ed altri interventi le cui linee guida sono state sintetizzate in Figura 4 (pag. prec.).

Dalla ricerca svolta emerge innanzitutto la necessità di un monitoraggio ambientale sulle spiagge e sugli ambienti naturali sensibili (oasi faunistiche, piccole spiagge, biotopi di rilevante interesse vegetazionale e geotopi) e di un controllo sui flussi turistici. Il modello di sviluppo sostenibile proposto si fonda su alcuni obiettivi fondamentali: conservazione e valorizzazione dell'insieme dei beni ambientali e culturali presenti sull'Isola, utilizzazione razionale delle risorse, recupero e riqualificazione ambientale di aree degradate da una utilizzazione inappropriata pregressa (discarica di fanghi industriali di *Is Pruinis*), allungamento della stagione turistica, gestione integrata della sua lunga fascia costiera dal punto di vista socio-economico ed ambientale.

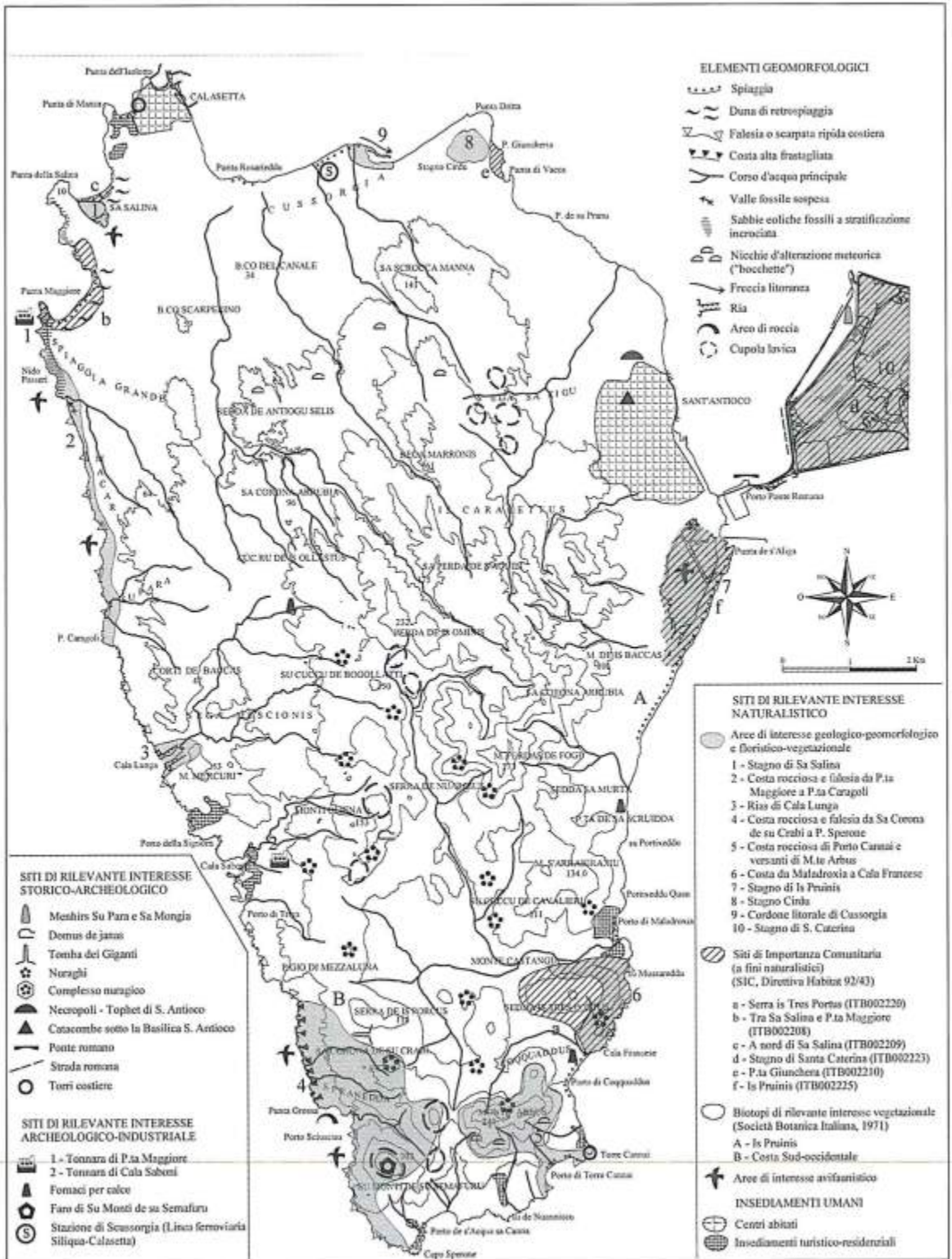


Figura 4 - Siti di rilevante interesse naturalistico e storico-archeologico per l'individuazione di una rete di percorsi funzionali allo sviluppo di un turismo sostenibile nell'Isola di Sant'Antioco.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito del Progetto Nazionale di Ricerca "Bilancio sedimentario dei sistemi costieri italiani. Processi naturali e influenze antropiche". Coord. Prof. G. Fierro. Resp. Unità Operativa di Ricerca Prof. Di Gregorio.

Bibliografia

- AA.VV. (1980) - *Excursion - Table ronde Tyrrhenien de Sardaigne*. Cagliari 21-28 Avril 1980. Université de Cagliari-Université de Liège. STEF Cagliari: 1-88.
- Arisci A., De Waele J. e Di Gregorio F. (2000) - *Natural and scientific valence of the Gulf of Orosei coast (central-east Sardinia) and its carrying capacity with particular regard to the pocket-beaches*. Littoral 2000, V International Conference, 13-17 settembre 2000, Cavtat-Dubrovnik, Croazia, Period. Biol., 102, suppl.1: 595-603.
- Arrigoni P.V. (1968) - *Fitoclimatologia della Sardegna*. Webbia, 23: 1-100
- Arrigoni P.V. et al. (1976-1991) - *Le piante endemiche della Sardegna*. Boll. Soc. sarda Sci. Nat., Voll. 17.
- Assorgia A., Barca S. e Spano C. (1997) - *A synthesis on the Caenozoic stratigraphic, tectonic and volcanic evolution in Sardinia (Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., 116: 416-420.
- Atzeni A., De Muro S., Di Gregorio F. e Piras G. (1999) - *Note illustrative alla Carta del rischio ambientale nelle coste della Sardegna*. Atti dei Convegni Lincei (154) "Il rischio idrogeologico e la tutela del suolo", Roma, 1-2 ottobre 1998: 343-350.
- Barca S. e Di Gregorio F. (1999) - *Paesaggi e Monumenti geologici della provincia di Cagliari*. Ed. Saredit Cagliari: 271-286.
- Bartolo G. e Fadda A. F. (1998) - *Sardegna il mondo sotterraneo*. Coedisar Cagliari, pp.300.
- Caneva G., De Marco G. e Mossa L. (1981) - *Analisi fitosociologica e cartografia della vegetazione (1:25000) dell'Isola di Sant'Antioco (Sardegna sud-occidentale)*. CNR AQ/1/124.
- Casale A. e Vigna Taglianti A. - *Coleotteri Carabidi di Sardegna e delle piccole isole circumsarde e loro significato biogeografico (Coleoptera, Carabidae) in Biogeographia*. Lavori della Società Italiana di Biogeografia, 18: 391-417.
- Cassola F. e Tassi F. (1973) - *Proposta per un sistema di Parchi e Riserve Naturali in Sardegna*. Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali, 13: 51-129.
- Chabrier G., Fourcade E., Jaffrezo M. (1975) - *Sur le Crétacé du Sud-Ouest de la Sardaigne*. C. R. Somm. Soc. Géol. France, 278: 131-134.
- Cherchi A. e Montadert L. (1982) - *The oligo-miocene rift of Sardinia and the early history of the western mediterranean basin*. Nature, 298 (5876): 736-739.
- Colomo S. (1991) - *Guida alla Natura della Sardegna*. Ed. Archivio Fotografico Sardo. Nuoro. 651-661.
- Di Fidio M. (1991) - *La tutela dell'ambiente naturale*. Pirola Ed., Milano. 578 pp.
- Di Gregorio F., Grussu M., Masala F., Moledda M., Orrù S., Rossetti L., Todde S. e Tronchetti C. (1994) - *Torre Canai S. Antioco, ambiente e storia*. Editrice STEF, Cagliari. 61 pp.
- Di Gregorio F., Federici P.R., Fierro G., Ginesu S. (1999) - *Atlante delle spiagge della Sardegna*. S.EL.CA. Firenze.
- Maccioni L., Marchi M. e Assorgia A. (1991) - *Carta geopetrografica dell'Isola di S. Antioco (Sardegna)*. Selca, Firenze.
- Maxia C. (1963) - *Giurese e Creta nella regione di Maladroxia (Isola di S. Antioco, Sardegna sud-occidentale)*. Pubbl. Ist. Geol. Paleont., t. 2, 13: 7-35.
- Mezzolani S., Simoncini A. (1995) - *Sardegna da salvare "Archeologia Industriale"*. Parte Prima. Ed. Archivio Fotografico Sardo, Nuoro, pp. 149-160.
- Milia G. e Mossa L. (1976) - *Le piante medicinali spontanee dell'Isola di S. Antioco (Sardegna sud-occidentale)*. Rend. Sem. Fac. Sci. Univ. Cagliari 47 (3-4): 203-454.
- Oviglia M. e Vacca M. (1991) - *Sardegna non solo mare*. Centro Documentazione Alpina Editrice. 247 p.

- Pignatti S. (1982) - *Flora d'Italia*. Voll. 1-3, Edagricole Editrice, Bologna.
- Piras L. e Pisano P. (1972) - *Secondo contributo alla conoscenza faunistica della Sardegna: la costa del Sulcis (Sardegna sud-occidentale)*. Boll. Soc. sarda Sci. Nat., 6: 3-28.
- Puddu F., Viarengo M. e Erminio C. (1988) - *Animali di Sardegna - Gli anfibi e i rettili*. Stef Cagliari.
- Scrugli A., Todde S. e Cogoni A. (1992) - *Ophrys x maladroxiensis, a new natural hybrid from Sardinia*. Flora Mediterranea, 2: 95-98.

Manoscritto ricevuto il 11/2/2002, accettato il 21/8/2002.

La riabilitazione delle infrastrutture marittime: il caso delle dighe a gettata

Edoardo Benassai¹ e Giuseppe Paoletta²

¹ Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito",
Università degli studi di Napoli "Federico II".

² Ingegnere, libero professionista

Riassunto

La manutenzione delle opere civili costituisce un aspetto tanto caratterizzante della gestione territoriale, da costituirne vera e propria peculiarità culturale. La letteratura specializzata da tempo indica la riqualificazione del patrimonio esistente quale condizione necessaria per uno sviluppo equilibrato ed insieme efficiente sotto il profilo economico. La metodologia discussa nel presente lavoro riguarda le dighe marittime a gettata di massi naturali: la maniera più adeguata di affrontarne la riabilitazione, i tempi, i costi e la convenienza economica dei possibili interventi.

Parole chiave: dighe a gettata, danneggiamento.

Abstract

The problem of maintenance is mainly to be considered a cultural problem: specialized literature emphasizes in attempting to develop a maintenance culture as an index of modernity and of economical development. Its up-to-dateness shows that it's impossible to operate a consistent territorial development work unless the decay of what has already built is stopped in advance. A good civil entrepreneur must bear in mind that the recovery of the existing property has to be the real priority of our times. The methodology worked out in the present study concerns rubble mound breakwaters built with natural rocks, and the proper way to face their rehabilitation in case of damage on the armor layer caused by project wave height overcoming. This work also deals with the problems related to time, costs and the economical convenience of a choice rather than another as well as the various aspects of this topic.

Key-words: rubble-mound breakwaters, damage.

Generalità

Per una corretta gestione delle opere civili oltre al giusto dimensionamento strutturale occorre tenere in debito conto la durabilità delle stesse. L'aspetto quindi della manutenzione durante l'intera vita dell'opera deve risultare di pari importanza rispetto a quello della progettazione.

Questo concetto, di chiara origine industriale, getta le basi per l'affermazione di una cultura della manutenzione non più intesa come sinonimo di emergenza ma legata alla conservazione della integrità dell'opera in relazione alle funzioni previste in progetto. La manutenzione, quindi, diventa di diritto un problema culturale e come tale risulta essere al contempo indice di modernità e di sviluppo.

A sostegno della suddetta conservazione, occorre porre in essere tutti i provvedimenti volti a determinare:

- un allungamento della vita utile dell'opera;
- un mantenimento del suo livello prestazionale;
- la diminuzione del costo totale (somma dei costi di costruzione, gestione e manutenzione ordinaria e straordinaria).

In un tale contesto assume notevole importanza il valore economico della riabilitazione, sia perché, se si conserva efficienza al manufatto, si rende immutato nel tempo il valore del capitale investito, sia perché in tal modo viene a crearsi spazio ai tecnici ed alle imprese per nuovi tipi di professionalità. Ciò sarà possibile superando le complessità insite nel coniugare la realizzazione con la gestione durante l'intera vita dell'opera.

Caratteristica principale della manutenzione ordinaria è di realizzare interventi che spesso assumono carattere ripetitivo. Di qui l'esigenza di una pianificazione ragionata che dia alla manutenzione la giusta valenza, anche di tipo normativo.

Attualmente la manutenzione è disciplinata secondo il principio che deve essere effettuata nella misura in cui essa è ritenuta indispensabile ad evitare pericoli o danni a terzi. A questo tipo di principio giuridico, che non è purtroppo sufficiente ad evitare problemi legati al degrado ambientale, vanno associati tutti quei principi di fruibilità e di sviluppo sostenibile in armonia con la conservazione dell'ambiente originario.

Il danneggiamento conseguente ad azioni con forti caratteri di aleatorietà

Con tali premesse si è voluto prendere in considerazione un particolare tipo di opera, le dighe marittime a scogliera soggette al moto ondoso, molto suscettibile al danneggiamento da parte di agenti esterni con forte carattere di aleatorietà.

Le caratteristiche di aleatorietà correlate col moto ondoso sono l'altezza ed il periodo d'onda. È noto che le onde irregolari o random sono caratterizzate da una superficie di ondulazione che è sensibilmente irregolare e diversa da istante ad istante e da punto a punto dello spazio:

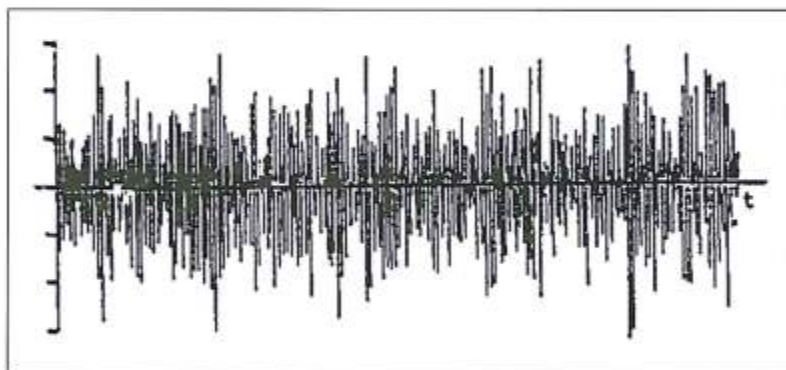


Figura 1 - Onde random nel dominio del tempo.

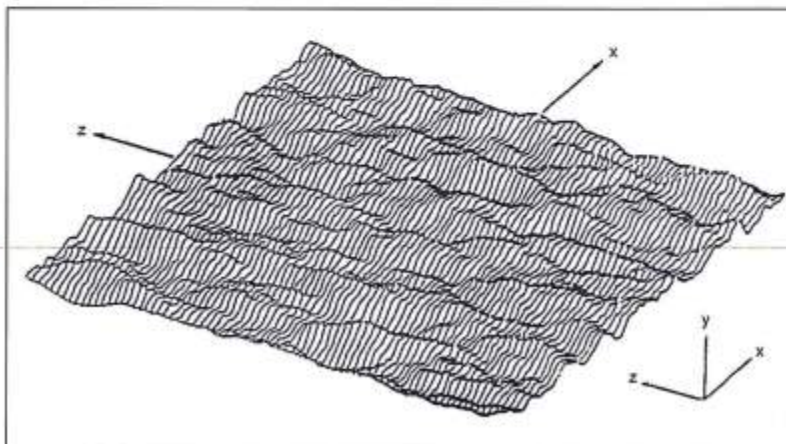


Figura 2 - Onde random nel dominio dello spazio.

Essa dipende da un numero notevole di variabili, e pertanto non è conveniente studiare le proprietà delle onde attraverso un'analisi locale, ma conviene adottare un approccio probabilistico.

Per caratterizzare lo stato del mare in un paraggio nel lungo periodo si determinano le caratteristiche di un'onda significativa estrema, definita come la massima altezza d'onda prevista in un prefissato periodo di ritorno, denominata anche onda di progetto.

La procedura per la previsione dell'onda di progetto sulla base di dati rilevati o stimati passa attraverso i seguenti passi successivi:

- selezione dei dati di altezza d'onda relativi ad un periodo di osservazione;
- scelta di una funzione di distribuzione nota di valori estremi;
- adattamento dei dati di altezza d'onda a tale distribuzione;
- estrapolazione dei dati attraverso la funzione di distribuzione scelta per individuare l'altezza d'onda significativa estrema in un prefissato periodo di ritorno.

Nelle condizioni di spettro (distribuzione della varianza della densità di energia) infinitamente stretto, cioè sostanzialmente concentrato intorno alla frequenza di picco, Longuet-Higgins ha proposto per la distribuzione delle altezze H delle onde random una distribuzione rayleiana. In presenza degli usuali spettri delle onde di mare di larghezza non infinitamente stretta, la distribuzione delle altezze delle onde random può discostarsi dalla distribuzione anzidetta e seguirà quella di Forristal o di Boccotti:

$$p(H) = \frac{H}{4\sigma_n^2} \exp\left(-\frac{H^2}{8\sigma_n^2}\right) \quad (\text{Longuet-Higgins}) \quad (1)$$

in cui $\sigma_n = \sqrt{m_0}$; ed m_0 è il momento spettrale di ordine 0;

$$p(\tilde{H}) = \alpha \frac{\tilde{H}^{(\alpha-1)}}{\beta} \exp\left(-\frac{\tilde{H}^\alpha}{\beta}\right) \quad (\text{Forristal}) \quad (2)$$

con $\tilde{H} = \frac{H}{\sigma_n}$; $\alpha = 2.126$ e $\beta = 8.420$;

$$p(\tilde{H}) = \frac{\tilde{H}}{2(1-\psi^*)} \exp\left[-\frac{\tilde{H}}{4(1-\psi^*)}\right] \quad (\text{Boccotti}) \quad (3)$$

avendo indicato ψ^* con la funzione di autocorrelazione normalizzata.

Il modello proposto per la distribuzione dei periodi T delle onde random su profondità infinita è, invece, dovuto a Bretschneider. Il periodo si ottiene dalla relazione:

$$p(T) = 2.7 \left(\frac{T^3}{T_n^3}\right) \exp\left[-0.675 \left(\frac{T}{T_n}\right)^4\right] \quad (4)$$

in cui T_m : il periodo medio.

Le dighe marittime a scogliera presentano problemi di manutenzione legati oltre che alle caratteristiche ondose di progetto anche alle implicazioni che si riferiscono alla funzione di difesa dello specchio d'acqua protetto. Tali problemi non possono considerarsi del tutto generalizzabili.

Per semplificare si è fatto riferimento alla sola funzionalità di una diga frangiflutti realizzata con massi naturali, e si è affrontato il problema della riabilitazione a seguito di un danneggiamento. In effetti in questo caso i primi danni si riscontrano sulla mantellata per superamento dell'altezza d'onda di progetto.

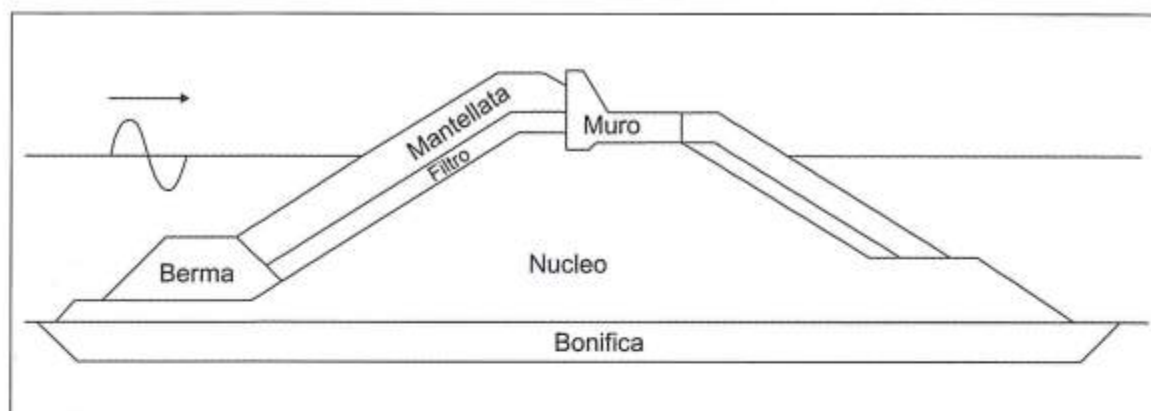


Figura 3 - Elementi costitutivi di un'opera a gettata.

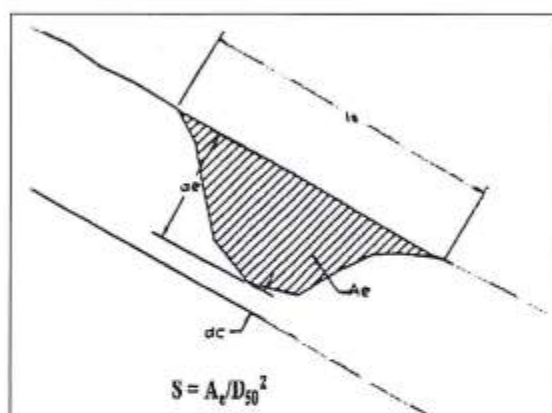
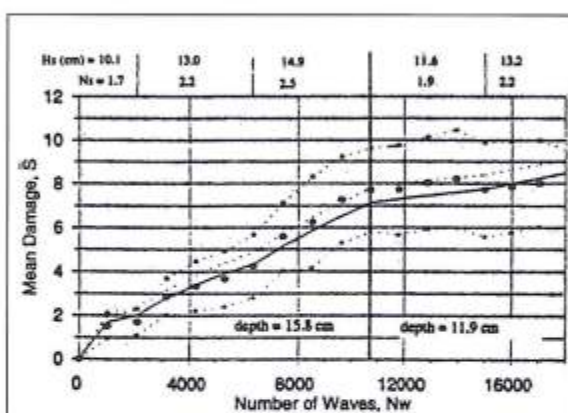


Figura 4 - Definizione dei parametri che caratterizzano il danneggiamento.

Figura 5 - Variazione del danneggiamento medio in funzione della durata della mareggiata - (numero di onde N_w) riscontrata durante uno dei test effettuati da Melby e Kobayashi.

L'obiettivo dello studio della riabilitazione riguarda la convenienza economica di una scelta di intervento e le molteplici sfaccettature, non solo economiche, che la questione assume soprattutto sui tempi più opportuni per intervenire.

Con riferimento ad uno studio condotto da Melby e Kobayashi alla fine degli anni '90 su di un modello di scogliera in un canale di laboratorio, è stato possibile simulare l'evoluzione del danneggiamento da mareggiata sulla mantellata dell'opera per effetto di diverse successioni di onde random durante un assegnato stato di mare ovvero durante stati di mare di diversa intensità.

La misura del danneggiamento è stata eseguita attraverso alcuni parametri importanti ai fini della caratterizzazione della forma e dimensione dell'area erosa (Figg. 4 e 5).

Un risultato che lo studio su modello ha evidenziato è stato quello riguardante l'aumento del grado di danneggiamento con il numero d'onde, e quindi con il tempo, anche in presenza di una successione decrescente di stati di mare ossia in presenza di una diminuzione progressiva di altezza d'onda.

Sulla mantellata danneggiata, infatti, l'effetto di un'onda incidente di minore altezza rispetto a quella che la precede può indurre sempre danni rilevanti in quanto esso si esplica su un'opera già parzialmente danneggiata.

È stata condotta quindi l'analisi della riabilitazione del frangiflutti principale di un tipico porto turistico a partire dalla scelta progettuale più ovvia, quella in ipotesi di danneggiamento nullo, per finire a tre diverse condizioni di esercizio, nelle quali l'opera potrebbe trovarsi nel corso della sua vita.

Non essendo possibile fornire una guida alla pianificazione della manutenzione in quanto, come già accennato, ogni caso è differente dall'altro, è stato necessario studiare questo problema nella condizione più semplice possibile, di assenza di natanti a tergo del sopraflutto e quindi nessuna implicazione legata all'agitazione dello specchio acqueo.

L'iter metodologico seguito e la valutazione della convenienza della riabilitazione

Come in tutte le opere civili, anche nel caso delle dighe a scogliera è necessario stabilire i carichi agenti sulla struttura per procedere ad un dimensionamento a danneggiamento nullo (step 1). Contestualmente al progetto, è stata quantificata l'entità della spesa che un tale investimento comporta (step 2), non prima di aver identificato le fasi di esecuzione dell'opera e quindi l'impiego delle materie prime e delle risorse umane necessarie. Si è poi passati all'esame delle condizioni di esercizio della diga foranea. In merito sono state ipotizzate tre situazioni meteomarine che simulano la successione delle mareggiate incidenti sull'opera (step 3), per le quali sono state studiate anche le funzioni densità di probabilità delle altezze d'onda, e che conducevano a tre livelli di danneggiamento diversi, *incipiente*, *intermedio* e *critico*, al fine di avere una visione più o meno completa del dissesto che ne poteva conseguire ed alla sua evoluzione nel tempo. È stata pertanto calcolata l'area erosa sulla mantellata, in termini di profondità e di lunghezza medie, nonché l'altezza di ricoprimento atta a garantire la riserva di stabilità.

Tabella 1 - Step dell'iter metodologico.

- 1 - Progettazione della diga.
- 2 - Valutazione del costo di realizzazione.
- 3 - Ipotesi sulle condizioni di esercizio.
- 4 - Valutazione del danneggiamento conseguente ad assegnati stati di mare.
- 5 - Valutazione dei costi connessi al danneggiamento.
- 6 - Stima dei costi dell'intervento di manutenzione in ipotesi di tempi diversi di inizio lavori.
- 7 - Verifica della convenienza economica della manutenzione.

Fatto ciò, per ciascuna successione di mareggiate, sono stati estrapolati cinque stati di mare (step 4), ai quali corrispondevano altrettanti gradi di danneggiamento, e per ciascuno di essi sono stati valutati i costi di riabilitazione della mantellata, nonché quelli propri della mobilitazione del cantiere (step 5), mettendoli anche in relazione con diversi tempi di inizio della riabilitazione stessa (step 6), valutati sempre partendo dalla costruzione dell'opera.

Si è infine considerata la convenienza di un intervento riabilitativo (step 7): partendo dal presupposto che essa è frutto di un compromesso tra l'esperienza e le considerazioni di carattere economico (vale a dire che ciascuna valutazione ha senso solo se riferita ad un particolare porto).

Indicando con M il costo delle operazioni di manutenzione si ha:

$$P_m C_m Q_m + S = M \quad (5)$$

Indicando con Q la quantità totale di ciascun materiale messo in opera per la costruzione del frangiflutto: Q_1 il numero dei massi artificiali di protezione, Q_2 le tonnellate di scogli, Q_3 i m^3 di tout-venant, Q_4 i m^3 di calcestruzzo della sovrastruttura ecc. e con C_1, C_2, C_3, C_4 , ecc. i costi storici attualizzati di ciascuno di essi, la sommatoria:

$$C_m Q_m = C_1 \quad (6)$$

è il costo storico attualizzato dell'opera completa all'epoca del suo esame ovvero il suo valore.

Se p rappresenta la percentuale di ciascuna delle Q coinvolte nel danno, e quindi oggetto della riparazione, la sommatoria:

$$p_m C_m Q_m \quad (7)$$

è il costo della manutenzione/riparazione. A questo costo va aggiunta una ulteriore spesa S relativa alle predisposizioni necessarie per eseguire le operazioni manutentive (strade di accesso, installazioni di gru, utilizzo di soli mezzi marittimi ecc.) qualora tali predisposizioni non siano state previste in fase progettuale ed inoltre gli oneri relativi ad una eventuale sospensione dell'esercizio portuale.

Sulla base di considerazioni precedentemente illustrate, e soprattutto di quelle economiche, è stata valutata la convenienza di un tale tipo di intervento, mediante il confronto tra M stesso ed il valore residuo C_r dell'opera. Indicando con C_i il costo totale attualizzato dell'opera (il suo valore), V la vita utile prevista in progetto e v gli anni di vita residua, il valore residuo attualizzato risulta:

$$\frac{C_i v}{V} = C_r \quad (8)$$

Se M è inferiore a C_r , è conveniente eseguire la manutenzione, in caso contrario può non essere conveniente. Occorre tuttavia tener conto di altri fattori variabili da caso a caso, quali i mancati ricavi dell'esercizio portuale nel periodo in cui la struttura è inagibile (perché in fase di ricostruzione), e l'eventuale disagio arrecato ai natanti ed ai loro fruitori conseguente all'agitazione ondososa dovuta alla tracimazione della diga danneggiata.

Considerazioni conclusive

Tutto il lavoro svolto, oltre ad avere confermato la difficoltà oggettiva in cui ci si troverebbe volendo prevedere una manutenzione preventiva, legata ad una previsione di azioni ondose random, ha, ancor di più, posto in evidenza l'impossibilità di parlare genericamente di approccio allo studio della manutenzione senza fare riferimento ad un caso specifico. Si possono certamente fornire delle indicazioni per chi si accinge ad affrontare una problematica di questo tipo, suggerendo i vari aspetti da tenere presenti e la corretta valutazione dei costi che entrano in gioco nel computo metrico estimativo.

Comunque, l'opportunità di eseguire la riabilitazione non può e non deve esclusivamente basarsi sui calcoli delle spese da sostenere, perché l'importanza del porto e del suo funzionamento condiziona l'entità dei danni che possono insorgere in seguito all'aver trascurato l'erosione della mantellata della diga.

Dunque, per quanto concerne il danneggiamento di una diga a scogliera che insorge per superamento dell'altezza d'onda di progetto ed ha come effetto lo scalzamento dei massi dalla sua mantellata, le considerazioni di carattere economico devono essere di supporto ma non determinanti nella scelta finale della tempistica più idonea per eseguirne il rifiorimento.

Ringraziamenti

Si coglie l'occasione per ringraziare l'ingegnere Adele Manzella, che ha svolto la propria tesi di laurea sull'argomento presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli "Federico II", con diligenza ed entusiasmo.

Bibliografia

- AA.VV. (1991) - *Manutenzione e recupero: un mercato per le piccole imprese edili*. IX Incontro nazionale dei delegati provinciali delle piccole imprese edili. ANCE (Associazione Nazionale Costruttori Edili), Firenze 1-2.
- AA.VV. (1999) - *The Cycle Management of Port Structures: General Principles*. Report of Working group n.71 of Permanent Technical Committee II-International Navigation Association, 1999.
- Benassai E. *Elementi di Costruzioni Marittime*. Vol. I, Università di Napoli "Federico II".
- Melby J.A. and Kobayashi N. (1998) - *Progression and variability of damage on rubble mound breakwaters*. Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, November/December 1998.
- Rossetto S. (1999) - *Manuale di economia e organizzazione d'impresa, teorie e tecniche*. UTET, Torino.

Manoscritto ricevuto il 13/6/2002, accettato il 20/11/2002.

Trasmissione ondosa a tergo di scogliere a cresta bassa

Mario Calabrese ¹, Diego Vicinanza ², Mariano Buccino ¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale "Girolamo Ippolito",
Università degli Studi di Napoli Federico II, Via Claudio 21, 80125 Napoli. calabres@unina.it.

² DIC-SUN, Dipartimento di Ingegneria Civile,
Seconda Università di Napoli, via Roma, 29 - 81031 Aversa (CE).

Riassunto

Nella progettazione funzionale delle scogliere a cresta bassa, particolare attenzione deve essere rivolta alla determinazione della energia ondosa residua a tergo delle opere. Questo obiettivo è generalmente perseguito attraverso l'applicazione di formule empiriche che esprimono il coefficiente di trasmissione, che rappresenta, approssimativamente, l'aliquota dell'energia ondosa incidente trasferita nell'area protetta, come funzione della geometria delle strutture.

Il lavoro è dedicato alla validazione di una formula che gli Autori hanno recentemente proposto sulla base di un'indagine sperimentale in grande scala svolta presso il Grosser WellenKanal (GWK) di Hannover, Germania. L'analisi è stata condotta attraverso il confronto con un ampio insieme di dati sperimentali raccolti in diversi laboratori europei ed americani. La formula sembrerebbe in ragionevole accordo con i dati, in particolar modo per strutture sommerse con ampia larghezza del coronamento

Parole chiave: scogliere a cresta bassa, coefficiente di trasmissione.

Abstract

Low crested and submerged breakwaters are widely used measures for the protection of coastal areas. The functional design of these structures requires the prediction of the wave transmission behind them, as it will influence both beach response and the quality of water shoreward of it. This goal is typically achieved by using empirical formulae, which return the transmission coefficient (ratio between transmitted and incident wave height) as a function of breakwater cross section characteristics.

This study aims at analysing the reliability of a formula, which the Authors developed on the basis of the results of large scale model tests conducted at Grosser WellenKanal of Hannover, Germany. The survey has been performed through the comparison with a large data series, made up on results of experiments conducted at different laboratories. The formula should reasonably agree with the data, especially for wide crested submerged breakwaters.

Key-words: low crested breakwaters, transmission coefficient.

Introduzione

Le barriere distaccate, sommerse o debolmente emergenti, sono utilizzate, spesso in combinazione con interventi di ripascimento artificiale, per la protezione delle coste in erosione. La loro funzione principale è quella di ridurre l'energia del moto ondoso incidente, in modo da garantire valori dell'agitazione residua compatibili con la stabilità del litorale e, nel contempo, con le esigenze di un adeguato ricambio idrico nell'area protetta.

Nella progettazione dell'opera, particolare attenzione è, quindi, rivolta alla stima del coefficiente di trasmissione, K_t , che rappresenta approssimativamente l'aliquota dell'energia ondosa incidente trasferita al di sopra ed attraverso la struttura. Inoltre, poiché esso è funzione della geometria della sezione trasversale dell'opera, è necessario renderne la stima quanto più accurata possibile, anche al fine di evitare inutili diseconomie nella realizzazione dell'intervento.

Le formule attualmente a disposizione, di carattere essenzialmente empirico, muovono in pratica dalla medesima relazione funzionale che lega l'altezza d'onda trasmessa, H_t , alle caratteristiche geometriche dell'opera nonché a quelle del moto ondoso incidente:

$$H_t = f(\rho, \mu, g, H_i, T_i, d, R_c, B, D_{50}, \alpha) \quad (1)$$

in cui (Fig. 1):

- ρ e μ sono rispettivamente la densità e la viscosità dinamica dell'acqua;
- g è l'accelerazione di gravità;
- H_i e T_i sono rispettivamente altezza d'onda e periodo del moto ondoso incidente;
- d è la profondità al piede dell'opera;
- R_c è la quota di cresta (positiva per strutture emergenti);
- B è la larghezza del coronamento;
- D_{50} è il diametro della mantellata;
- α è l'angolo che il paramento esterno dell'opera forma con il piano orizzontale.

Le diverse espressioni si differenziano nella scelta delle grandezze ritenute prevalenti nel processo di trasmissione, nonché dei raggruppamenti adimensionali adoperati.

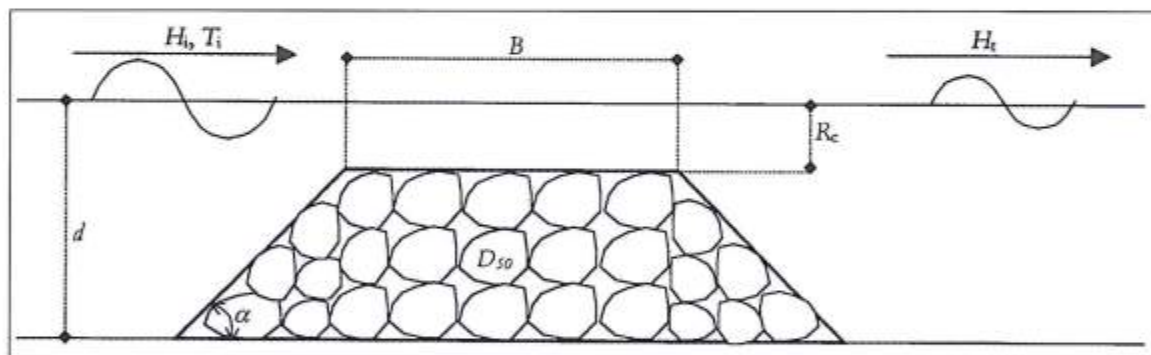


Figura 1 - Parametri geometrici e caratteristiche ondose.

Nella formula di van der Meer (1990), il coefficiente di trasmissione, rapporto tra le altezze d'onda significative trasmessa ed incidente, $K_t = H_{st}/H_{si}$, è funzione unicamente della quota di cresta e dell'altezza d'onda incidente, mentre in quella di Daemen (1991) vengono tenuti in conto gli effetti della estensione strutturale, del periodo ondoso incidente e della permeabilità della mantellata espressa dal diametro medio D_{50} . Quest'ultimo non è incluso nella formula di d'Angremond et al. (1996) dove l'effetto della permeabilità dell'opera è semplicemente espresso da un fattore di scala, differente per strutture "permeabili" ed "impermeabili".

L'espressione proposta da Seabrook e Hall (1998), calibrata su circa 800 test effettuati con onde irregolari, tiene conto, attraverso specifici parametri adimensionali, dei contributi del frangimento, della tracimazione, dell'attrito e della filtrazione.

Partendo dall'analisi dei risultati di un'indagine sperimentale in grande scala condotta presso il Coastal Research Centre – ForschungsZentrum Kuste di Hannover (Germania) Calabrese et al. (2000a e 2000b) hanno suggerito un'ulteriore formula per la stima di K_t , d'ora in poi indicata con l'acronimo CVB. Peculiarità della espressione è quella di essere stata calibrata su test condotti con il modello di

struttura esposto all'azione di onde già frante; tali condizioni sono assai frequenti negli interventi di difesa dei litorali e relativamente poco studiate. Si aggiunga a questo che la scala del modello, prossima all'unità, ha consentito di minimizzare gli effetti scala derivanti dalla riproduzione imperfetta sia del frangimento delle onde (Dally et al., 1985) sia della permeabilità dell'opera.

Nel presente lavoro, le previsioni della CVB sono state verificate utilizzando un insieme piuttosto ampio di dati sperimentali ottenuto da indagini svolte in diversi laboratori europei ed americani. La formula è stata quindi confrontata con le stime di van der Meer (1990), Daemen (1991), d'Angremond et al. (1996) e Seabrook ed Hall (1998).

Formule per il calcolo del coefficiente di trasmissione

Le formule di van der Meer (1990), Daemen (1991) e d'Angremond et al. (1996)

Una prima formula per il calcolo dell'intensità di agitazione ondosa a tergo di strutture a gettata, è stata proposta nel 1990 da van der Meer a partire dall'analisi dei risultati delle esperienze svolte da Seelig (1980), Allsop (1983), Powell ed Allsop (1985), Daemrich e Kahle (1985), Ahrens (1987) e van der Meer (1988). In essa il coefficiente di trasmissione, K_t , decresce linearmente con il rapporto tra la quota di cresta, R_c , e l'altezza d'onda significativa incidente H_{si} :

$$K_t = 0.46 - 0.3 \cdot \left(\frac{R_c}{H_{si}} \right) \quad (2)$$

La (2) restituisce valori del coefficiente di trasmissione superiori all'unità o minori di zero, per valori di R_c/H_{si} rispettivamente molto grandi o molto piccoli. Per ovviare a tale inconveniente la formula è stata "tagliata orizzontalmente" imponendo che essa attinga il massimo valore per $K_t = 0.8$ ed il minimo per $K_t = 0.1$ (Fig. 2).

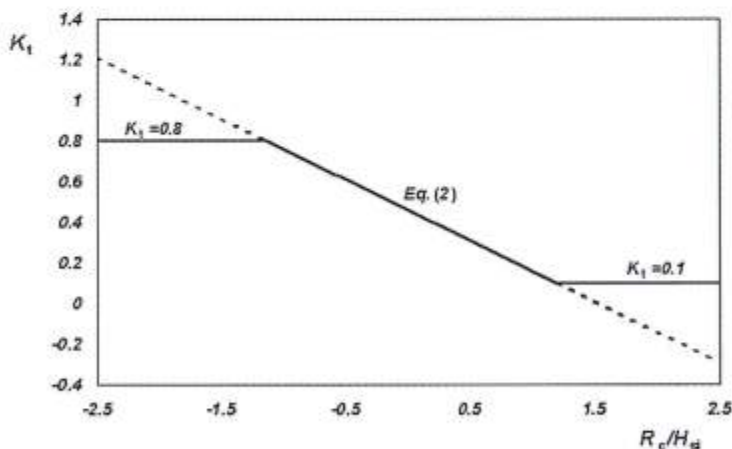


Figura 2 - La formula di van der Meer.

Con l'intento di ridurre lo scarto tra i valori misurati del coefficiente di trasmissione e quelli previsti dall'eq. (2), Daemen (1991) ha rielaborato i dati sperimentali utilizzati da van der Meer, rimuovendo quelli relativi ai "reef breakwater" ¹ ed integrandoli con quelli delle esperienze da lui stesso condotte

¹ Dati di Ahrens, 1987. Si tratta di strutture dinamicamente stabili, il cui comportamento nei riguardi della trasmissione apparve tanto diverso da richiedere una formula ad hoc. Nel seguito verrà discussa unicamente la formula valida per strutture "convenzionali".

presso lo "Schelde flume" di Delft Hydraulics. Rispetto alla formula di van der Meer, gli effetti dell'altezza d'onda incidente e della quota di cresta sono stati separati adimensionalizzando entrambe le grandezze con il diametro mediano della mantellata; inoltre sono stati tenuti in conto gli effetti del periodo ondoso incidente e della larghezza del coronamento.

La formula porge:

$$K_t = a \cdot \frac{R_c}{B} + b \quad (3)$$

con a dipendente dall'altezza d'onda relativa H_{si}/D_{50} :

$$a = 0.031 \cdot \left(\frac{H_{si}}{D_{50}} \right) - 0.24 \quad (4)$$

e b funzione, oltre che della stessa altezza d'onda relativa, della estensione della berma di cresta, B , e della ripidità di picco, s_{op} :

$$b = -5.42 \cdot s_{op} + 0.0323 \cdot \frac{H_{si}}{D_{50}} - 0.0017 \cdot \left(\frac{B}{D_{50}} \right)^{1.84} + 0.51 \quad (5)$$

dove la ripidità è così definita:

$$s_{op} = \frac{2 \cdot \pi \cdot H_{si}}{g \cdot T_{pi}^2} \quad (6)$$

Così come l'eq. (2), la (3) è limitata "orizzontalmente" tra i valori 0.075 e 0.75. I campi di applicabilità della formula sono: $1 < H_{si}/D_{50} < 6$ e $0.01 < s_{op} < 0.05$.

Un'ulteriore analisi dello stesso set di dati sperimentali è stata infine condotta da d'Angremond et al. (1996). Il data base, integrato da ulteriori tests condotti a Delft Hydraulics, è stato filtrato, eliminando i test caratterizzati da onde molto ripide, $s_{op} = 0.6$, o frangenti, $H_{si}/d = 0.54$, e quelli relativi a strutture notevolmente sommerse, $R_c/H_{si} < -2.5$, o emerse, $R_c/H_{si} > 2.5$, perché ritenuti poco significativi. La formula, valida per strutture convenzionali, porge:

$$K_t = -0.4 \cdot \left(\frac{R_c}{H_{si}} \right) + \left(\frac{B}{H_{si}} \right)^{-0.31} \cdot (1 - e^{-5\xi}) \quad (7)$$

dove $\xi = \tan\alpha (2\pi H_{si}/gT_{pi}^2)^{0.5}$ è il parametro di Iribarren, e c è un coefficiente pari a 0.8 per strutture impermeabili e a 0.64 per strutture permeabili. Il coefficiente K_t , infine, è limitato tra i valori di 0.075 e 0.8.

La formula di Seabrook ed Hall (1998)

Un'ampia indagine sperimentale svolta presso il QUCERL (Canada), ha consentito la calibrazione della formula di Seabrook ed Hall (1998). Complessivamente il data base comprendeva 800 test bidimensionali condotti utilizzando 13 differenti geometrie strutturali di barriere sommerse ed affioranti ($R_c = 0$) con 5 diversi livelli idrici di quiete.

La formula porge:

$$K_t = 1 - \left[e^{\left(-0.65 \cdot \left| \frac{R_c}{H_{si}} \right| - 1.09 \left(\frac{H_{si}}{B} \right) \right)} + 0.047 \cdot \left| \frac{B \cdot R_c}{L \cdot D_{50}} \right| - 0.067 \cdot \left| \frac{R_c \cdot H_{si}}{B \cdot D_{50}} \right| \right] \quad (8)$$

in cui:

- R_c/H_{si} è il "wave breaking parameter", corrispondente alla quota di cresta relativa della formula di van der Meer (1990).
- B/H_{si} , è il "wave overtopping parameter", corrispondente alla larghezza relativa di cresta della formula di d'Angremond et al. (1996). La tracimazione non influenza in modo significativo la trasmissione ondosa a tergo di strutture sommerse, per cui il parametro diviene importante solo per sommergenze molto contenute.
- $R_c H_{si} / (B D_{50})$, è il "frictional loss parameter", ottenuto da una similitudine con la formula di Darcy-Weisbach, che rappresenta l'aliquota di energia dissipata per attrito.
- $R_c B / (L D_{50})$, è l'"internal loss parameter", rappresentativo delle perdite di carico associate al flusso idrico all'interno dell'opera.

Gli Autori consigliano prudenza nell'applicare la formula all'esterno dei range:

$$0 \leq \left| \frac{B \cdot R_c}{L \cdot D_{50}} \right| \leq 7.08 \quad (9)$$

$$0 \leq \left| \frac{R_c \cdot H_{si}}{B \cdot D_{50}} \right| \leq 2.14 \quad (10)$$

La CVB (2002)

Gli Autori hanno recentemente proposto una formula per il calcolo del coefficiente di trasmissione, sulla base dei risultati di prove sperimentali in grande scala condotte presso il Grosser Wellen Kanal (GWK) di Hannover, Germania (Fig. 3). Particolarità dell'indagine è quella di aver disposto il modello di diga su fondali limitati, esponendolo all'attacco di onde frangenti e/o frante. I test sono stati condotti su due differenti configurazioni strutturali caratterizzate da diverse larghezze della berma di coronamento ($B = 1$ m e $B = 4$ m). I livelli idrici sono stati variati tra 1.0 m ed 1.7 m, conseguendo così cinque diverse quote della cresta ($R_c = -0.4$ m, -0.2 m, 0 m, $+0.2$ m, $+0.3$ m). L'espressione finale della formula è:

$$K_t = a \cdot \frac{R_c}{B} + b \quad (11)$$

in cui:

$$a = \left(0.6957 \cdot \frac{H_{si}}{d} - 0.7021 \right) \cdot \exp \left(0.2568 \cdot \frac{B}{H_{si}} \right) \quad (12)$$

e

$$b = [1 - 0.562 \cdot \exp(-0.0507 \cdot \xi)] \cdot \exp \left(-0.0845 \cdot \frac{B}{H_{si}} \right) \quad (13)$$

essa può essere applicata se:

$$\frac{B}{H_{moi}} \leq \frac{1}{0.2568} + 0.96 \left| \frac{R_c}{H_{moi}} \right|^{-0.8979} \quad \text{per } R_c < 0 \quad (14)$$

$$\frac{B}{H_{moi}} \geq \frac{1}{0.2568} + 0.7129 \cdot \ln \left(\frac{R_c}{H_{moi}} \right) - 0.7967 \quad \text{per } R_c > 0 \quad (15)$$

ed è limitata tra i valori 0.08 e 0.8 del coefficiente di trasmissione.

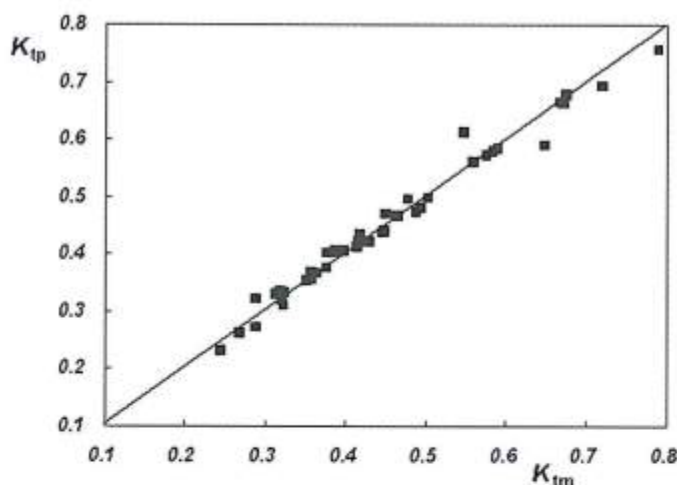


Figura 3 - Confronto tra la CVB e dati sperimentali raccolti al GWK (Calabrese et al., 2002a e 2002b).

La CVB conserva la struttura lineare delle equazioni (2)-(3)-(7) e, come nella formula di Daemen (1991), “separa” la quota di cresta dall’altezza d’onda incidente. Adoperando per l’adimensionalizzazione di queste due grandezze la larghezza di coronamento, B , si ottengono due parametri, R_c/B e B/H_{s0} , di chiaro significato fisico: il primo regola il decadimento di un frangente che si propaga su di una “shelf beach”² (Horikawa e Kuo, 1966; Dally et al., 1985), strutturalmente abbastanza simile ad una barriera sommersa, ed il secondo è il parametro di tracimazione già incontrato nelle formule di d’Angremond et al. e di Seabrook ed Hall.

Viene, inoltre, tenuta in conto l’influenza della profondità di sedime dell’opera attraverso l’indice di frangimento H_{s0}/d . L’eq. (12) suggerisce che un incremento di tale parametro comporta una riduzione della trasmissione per strutture sommerse e un incremento per quelle emergenti. Nel primo caso si può immaginare che un’onda frangente già al piede dell’opera continui a dissipare la propria energia lungo il paramento della diga, riducendo quindi la propria altezza più di quanto farebbe un’onda, di pari altezza, che inizi a frangere sulla cresta. D’altro canto, per strutture emergenti, i risultati di una recente indagine sperimentale condotta da van Gent (1999) mostrano un incremento del run up (relativo all’altezza d’onda incidente) al ridursi del fondale; tale fenomeno potrebbe giustificare un incremento del coefficiente di trasmissione per strutture emergenti su fondali limitati.

La formula può essere applicata anche a strutture impermeabili, che non possiedono un D_{50} ben definito, anche se i legami funzionali tra i parametri potrebbero essere differenti.

Confronto tra CVB e dati sperimentali

Le previsioni della CVB sono state confrontate con i risultati di test condotti in differenti laboratori europei ed americani su strutture a gettata di massi naturali disposti alla rinfusa. Il confronto è preceduto da una breve sintesi delle caratteristiche salienti di ciascuna delle indagini sperimentali analizzate.

Gli studi sperimentali

I dati fanno riferimento ai seguenti lavori:

Seelig (1980)

Gli esperimenti sono stati condotti presso il canale ad onde del CERC, USA. La sezione trasversale dei modelli comprendeva una mantellata ed un nucleo con rapporto tra i diametri mediani di circa 3.8. La berma di sommità aveva larghezza costante, pari a 0.40m ed il paramento lato mare aveva pendenza 1:1.5. I test sono caratterizzati da valori piuttosto elevati della ripidità, s_{op} .

² Ci si riferisce ad una spiaggia sommersa, costituita da un tratto a pendenza costante seguito da un fondale orizzontale teoricamente indefinito.

Powell ed Allsop (1985)

I test sono stati condotti presso HR Wallingford, UK, su modelli di diga realizzati con materiale omogeneo del diametro medio di 0.076 m. Le strutture avevano larghezza di coronamento variabile tra 0.045 m e 0.318 m. Entrambi i paramenti dei modelli avevano pendenza 1:1.5, eccezion fatta per una struttura con paramento esterno di pendenza 1:3. Così come nei test condotti al GWK, le strutture erano imbasate su fondali limitati ed esposte all'azione dei frangenti; pertanto il confronto con questi dati appare di particolare rilievo.

van der Meer (1990)

L'indagine sperimentale è stata svolta presso DELFT HYDRAULICS, Olanda. Sono stati adoperati 3 distinti modelli, rappresentativi rispettivamente di una struttura emergente, $R_c = 0.125$ m, di una affiorante, $R_c = 0$ e di una sommersa, $R_c = -0.09$. Apparentemente la sezione trasversale della struttura emergente era costituita da materiale omogeneo con $D_{50} = 0.034$ m, mentre negli altri due modelli era presente un nucleo. La larghezza di coronamento è stata mantenuta costante, 0.30 m; entrambi i paramenti avevano pendenza 1:2.

Daemen (1991)

I test sono stati svolti presso lo Schelde flume di DELFT HYDRAULICS. Il canale è lungo 50 m, largo 1.0 m e profondo 1.2 m. Il modello utilizzato era costituito da un nucleo di diametro medio 0.028 m e da una mantellata del diametro medio di 0.040 m. In alcuni test è stato adoperato un diametro di mantellata di 0.061 m. La struttura aveva larghezza costante, $B = 0.34$ m, con entrambi i paramenti di pendenza 2:3.

UCA (2001)

Gli esperimenti sono stati condotti nel canale ad onde del laboratorio di Ingegneria Costiera dell'Università di Cantabria, Santander, Spagna (Sassi et al., 2002). Sono stati installati due modelli di diga con larghezza di cresta rispettivamente di 0.25 m e 1.0 m; la pendenza dei paramenti era di 1:2. La sezione trasversale era composta da un nucleo con diametro medio di 0.018 m protetto da una mantellata del diametro di 0.0387 m. Sebbene il canale sia di dimensioni ridotte (larghezza 0.60 m, profondità 0.8 m e lunghezza 24 m) le strutture presentavano notevole estensione. Di conseguenza i rapporti B/H attingono valori assai elevati (fino a 43). I valori delle ripidità appaiono alquanto contenuti.

UPC (2002)

I test sono stati condotti in grande scala (1/4-1/6) presso il CIEM wave flume del Laboratorio d'Ingegneria Marittima (LIM/UPC) di Barcellona, Spagna (Gironella et al., 2002). La struttura era costituita da un nucleo protetto da un doppio strato di mantellata del diametro nominale di 0.106 m. Sono state impiegate due differenti larghezze di coronamento (rispettivamente 1.2 m e 2.3 m); la pendenza del paramento esterno dell'opera era di 1:2.

Le principali caratteristiche del data base sono riassunte in Tabella 1.

Tabella 1 - Il data base adoperato per il confronto.

Serie	N° test	R_c/B	B/H_{ci}	s_{op}	ξ	H_d/d
Seelig (1980)	45	-1.05/0.52	2.25/5.00	0.01/0.064	1.59/6.53	0.13/0.36
Powell ed Allsop (1985)	42	-2.1/1.16	0.37/3.51	0.025/0.031	1.99/4.20	0.21/0.54
van der Meer (1990)	30	-0.32/0.44	1.50/3.99	0.008/0.034	2.71/5.77	0.19/0.50
Daemen (1991)	53	-0.17/0.58	2.30/10.62	0.01/0.042	3.26/6.62	0.07/0.38
UCA (2001)	53	-0.20/0.20	3.78/43.35	0.001/0.016	3.97/12.98	0.07/0.26
UPC (2002)	24	-0.09/0.24	2.66/8.38	0.02/0.03	2.69/3.55	0.17/0.31
Data set complessivo	247	-2.1/1.16	0.37/43.35	0.001/0.064	1.59/12.98	0.07/0.54

Il confronto con i dati

Il confronto tra previsioni della *CVB* e valori misurati del coefficiente di trasmissione è mostrato in Figura 4.

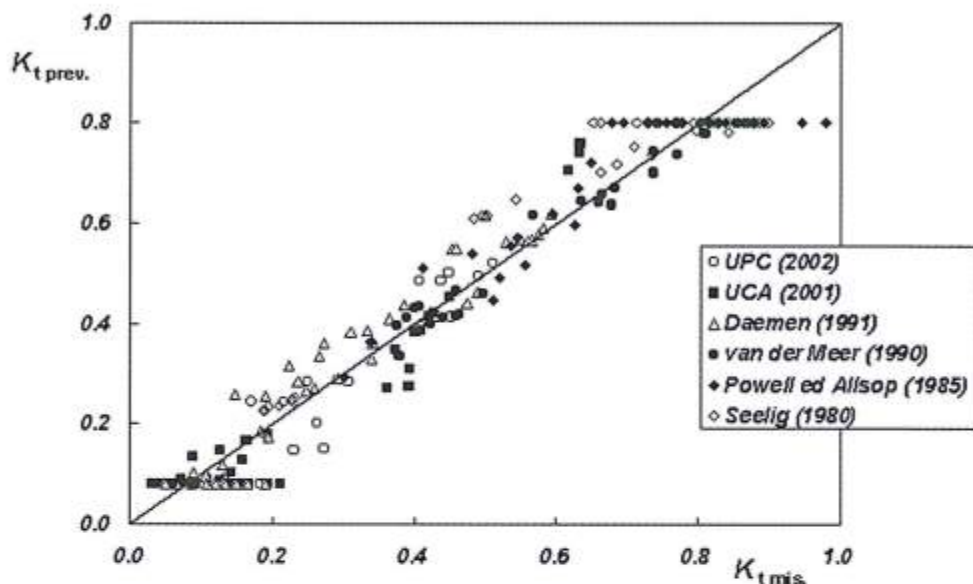


Figura 4 - Confronto tra *CVB* e dati sperimentali.

Nell'intervallo 0.08-0.8, l'accordo appare ragionevole, sebbene gli scarti siano alquanto maggiori di quelli relativi ai test di calibrazione (vedi Figura 3). Al contrario i dati sono più dispersi intorno ai valori estremi, dove la formula (11), così come le (2)-(3)-(7), rinuncia a descrivere in maniera dettagliata l'andamento del coefficiente di trasmissione. Una maniera per ovviare a tale inconveniente potrebbe essere quella di introdurre espressioni differenti all'esterno dell'intervallo 0.08-0.8. Nell'ambito del presente data set si dimostrano efficaci le seguenti formule:

$$\text{per } K_t < 0.08 \quad K_t = 0.4074 \cdot \exp \left[-8.7515 \cdot \left(\frac{H_{st}}{d} \cdot \frac{B}{L_{po}} \right)^{0.5} \right] \quad (16)$$

$$\text{per } K_t > 0.8 \quad K_t = 0.9252 \cdot \exp \left[-0.9404 \cdot \left| \frac{H_{st}}{d} \cdot \frac{D_{50}}{R_c} \right| \right] \quad (17)$$

Le eqq. (16) e (17) introducono delle discontinuità nel calcolo del coefficiente di trasmissione, ma conferiscono una maggiore affidabilità complessiva alla *CVB* (Fig. 5).

In ogni caso si consiglia cautela nell'applicazione delle (16) e (17) in quanto calibrate su pochi dati sperimentali e, più in generale, della *CVB* all'esterno dell'intervallo 0.08-0.8.

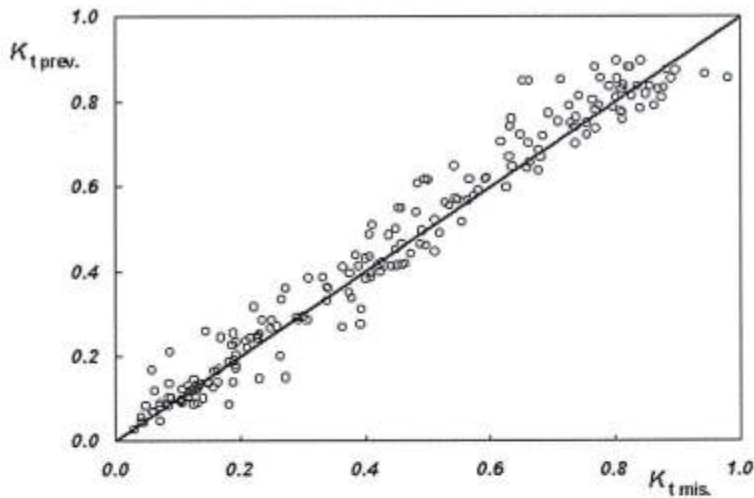


Figura 5 - CVB modificata dalle eqq. (16) e (17).

Confronto con le formule esistenti

Le previsioni della CVB sono state confrontate con quelle delle formule di van der Meer (1990), Daemen (1991), d'Angremond et al. (1996) e Seabrook ed Hall (1998). Al fine di rendere quantitativo il confronto è stato introdotto, quale indicatore di affidabilità, l'errore relativo quadratico medio, *RMSE*, definito come:

$$RMSE = \left[\sum_N \left(\frac{K_{tp} - K_{tm}}{N} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (18)$$

dove *N* rappresenta il numero di dati e *K_{tp}* e *K_{tm}* sono i valori rispettivamente previsti e misurati del coefficiente di trasmissione. La Figura 6 mostra i risultati del confronto ³.

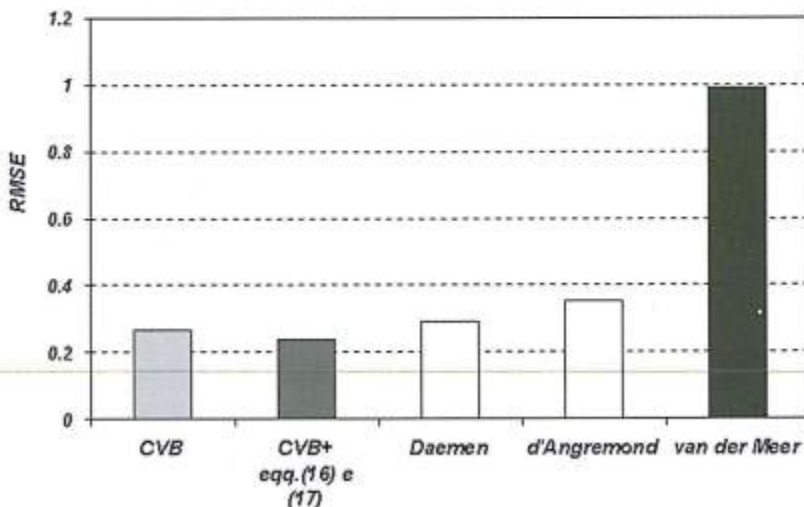


Figura 6 - Confronto tra la CVB e le formule di van der Meer, Daemen e d'Angremond.

³ Ciascuna formula è stata applicata alla porzione di data base interno al proprio campo di validità.

La *CVB* presenta il minimo errore quadratico medio, $RMSE = 0.27$, lievemente inferiore rispetto a quello della formula di Daemen, $RMSE = 0.29$, e di d'Angremond et al., $RMSE = 0.35$. L'introduzione delle eqq. (16) e (17) consente di ridurre un po' lo scarto ($RMSE = 0.24$), ma non in maniera significativa. La formula di van der Meer (1990) rivela un $RMSE$ prossimo all'unità; questo risultato potrebbe apparire sorprendente anche in considerazione del fatto che la (2) è diffusamente utilizzata nella pratica; tuttavia può essere utile sottolineare che essa è stata proposta come semplice interpolazione di dati, in funzione di un unico parametro, R_c/H_{s0} , chiaramente insufficiente a descrivere, da solo, il processo di trasmissione.

La Figura 7 limita il confronto alle sole strutture non emergenti, al fine di consentire l'applicazione della formula di Seabrook ed Hall.

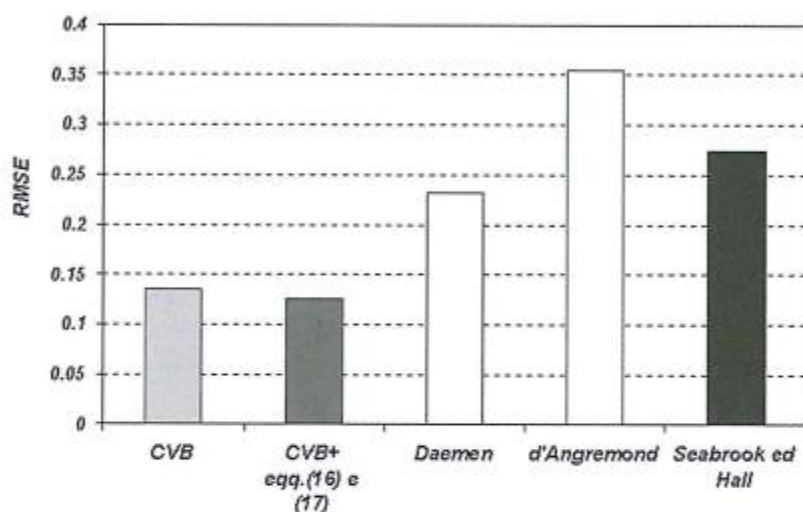


Figura 7 - Confronto tra *CVB* e formule esistenti: strutture non emergenti.

In questo caso la *CVB* mostra errori relativi significativamente più bassi rispetto a quelli delle altre formule: circa la metà di quello di Daemen e quasi un terzo di quello di d'Angremond et al. L'espressione di Seabrook ed Hall mostra un errore relativamente alto, $RMSE = 0.27$, nonostante l'ampiezza del data base utilizzato per la calibrazione della formula.

Un'ulteriore analisi è stata condotta nei campi di validità comune della *CVB* e delle altre formule, ovvero restringendo il confronto ai soli dati per i quali le espressioni fossero contemporaneamente applicabili. È sembrato, poi, conveniente escludere i dati esterni ai "campi di linearità" delle (3)-(7)-(11), dove le previsioni sono "strutturalmente" meno accurate.

La Figura 8 mostra i risultati del confronto relativo alle sole strutture emergenti. Il grafico suggerisce un sostanziale equilibrio tra le previsioni, con la formula di Daemen che fornisce il minimo errore quadratico medio, 0.19.

Per quanto riguarda le strutture sommerse, un interessante approfondimento dell'analisi può essere condotto dividendo le strutture in classi con diversa larghezza di coronamento. A partire dai dati a disposizione, le strutture sono state classificate, convenzionalmente, come strette, medie o larghe secondo che il rapporto B/D_{50} fosse minore di 5, compreso tra 5 ed 8 o superiore ad 8. I risultati del confronto sono riportati nelle Figure 9-11.

La *CVB* sembra decisamente più accurata per le strutture "larghe", dove l'errore quadratico medio è circa la metà di quello di Daemen e Seabrook ed Hall ed addirittura 1/4 di quello relativo alla formula di d'Angremond et al. Rispetto a Seabrook ed Hall, l'eq. (11) sembra più conveniente anche per strutture di media larghezza.

Riguardo l'effetto della profondità di imbasamento, purtroppo l'esiguità dei dati a disposizione rende l'analisi piuttosto incerta. In Figura 12 è mostrato il confronto per i dati caratterizzati da valori dell'indice di frangimento superiori a 0.35.

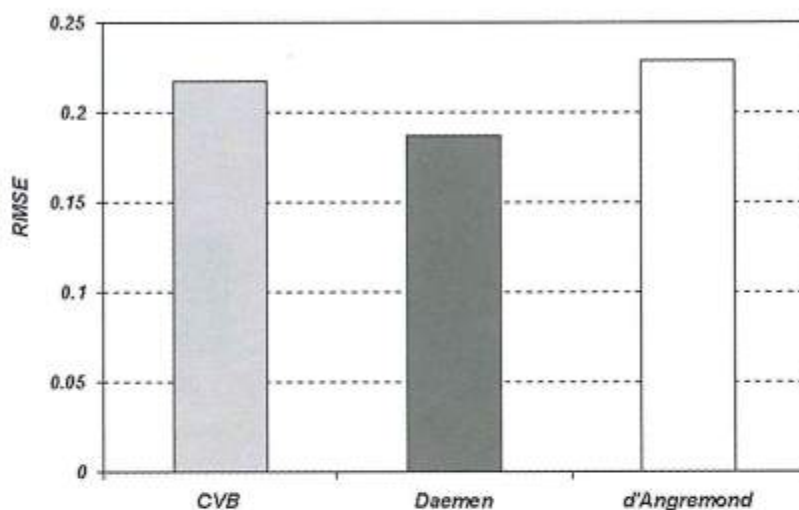


Figura 8 - Confronto tra *CVB* e formule esistenti: strutture sommerse.

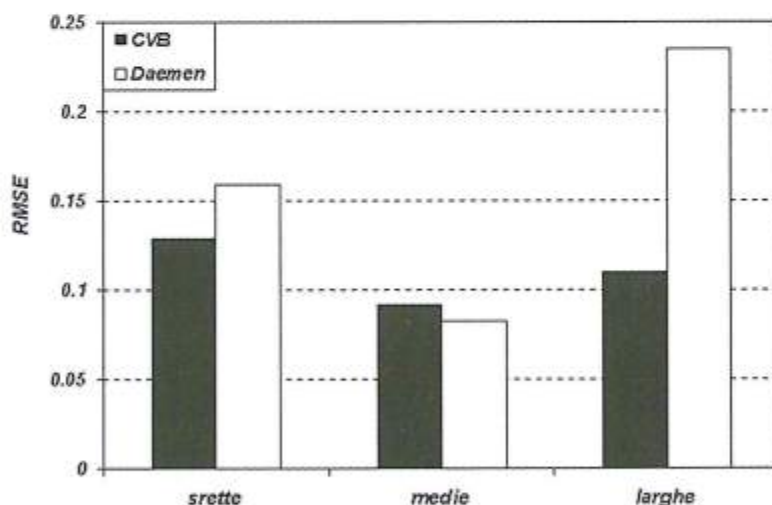


Figura 9 - Valori dell'*RMSE* per strutture sommerse con diversa larghezza del coronamento: confronto tra *CVB* e formula di Daemen (1991).

I dati si riferiscono a strutture la cui larghezza di coronamento non costituisca fonte di differenze sistematiche tra le formule. La *CVB* fornisce il minimo errore quadratico medio, anche se il miglioramento rispetto alle altre espressioni non appare troppo pronunciato.

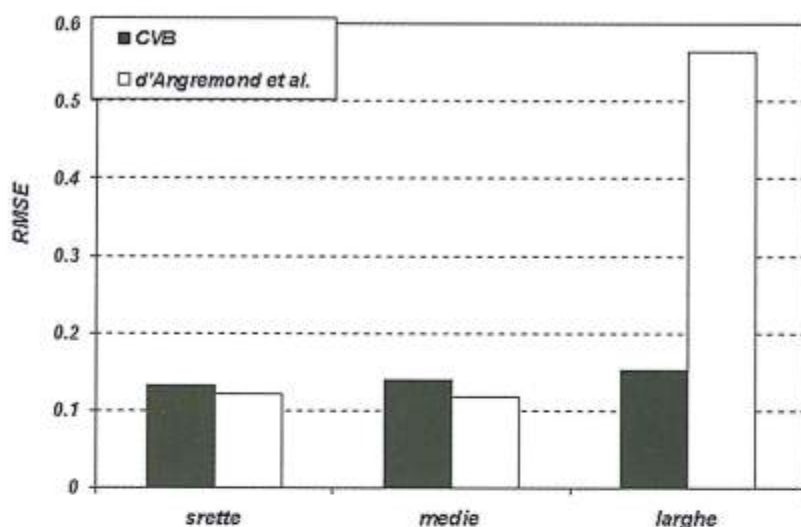


Figura 10 - Valori dell'*RMSE* per strutture sommerse con diversa larghezza del coronamento: confronto tra *CVB* e formula di d'Angremond et al. (1996).

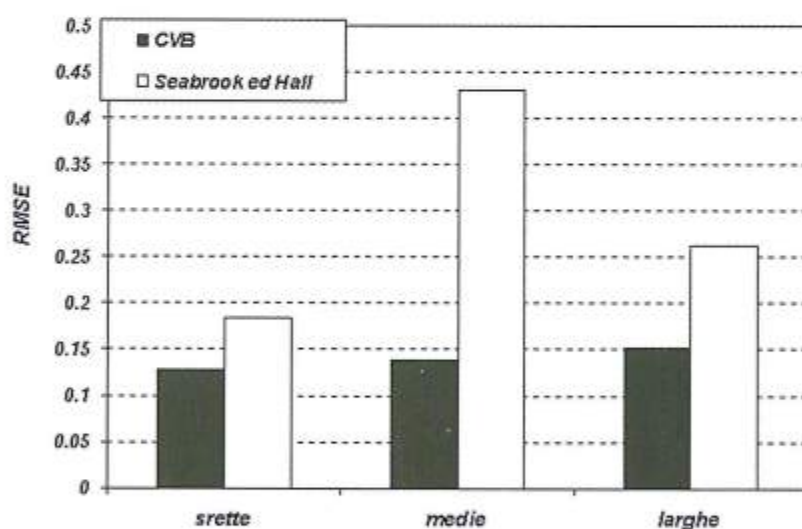


Figura 11 - Valori dell'*RMSE* per strutture sommerse con diversa larghezza del coronamento: confronto tra *CVB* e formula di Seabrook ed Hall. (1998).

Discussione dei risultati e considerazioni conclusive

Nel lavoro è stata studiata l'affidabilità di una formula per la stima del coefficiente di trasmissione ondosa, *CVB*, proposta dagli Autori sulla base di un'indagine sperimentale in grande scala svolta presso il Coastal Research Centre – Forschungszentrum Kuste di Hannover, Germania. La formula propone quali parametri principali i rapporti R_c/B e B/H_{s0} ed include, per la prima volta, l'effetto della profondità di imbasamento dell'opera. Lo studio è stato svolto confrontandone le previsioni con i dati relativi a prove sperimentali condotte su modelli di strutture a gettata di massi naturali disposti alla rinfusa. La formula è sembrata in ragionevole accordo con i dati (Figg. 4 e 5). Più in generale, l'analisi ha confermato l'efficacia dei parametri di base della *CVB*: il rapporto R_c/B , infatti, sembrerebbe "spiegare" quasi completamente la variazione del coefficiente di trasmissione per strutture sommerse,

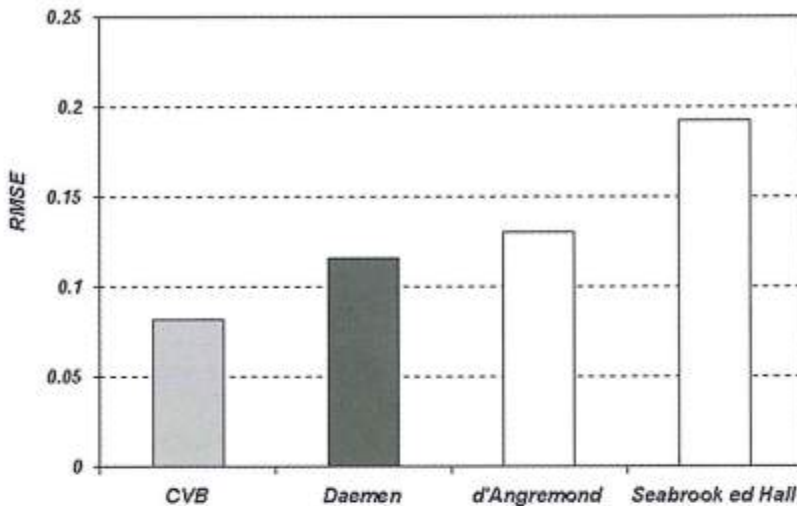


Figura 12 - Confronto tra le formule per strutture ubicate in acque basse ($H/d = 0.35$).

mentre il parametro di tracimazione, B/H_{s0} , si è dimostrato assai efficace, nell'ambito dei dati a disposizione, per strutture affioranti o debolmente emergenti.

Una seconda parte dello studio è stata dedicata al confronto con le altre formule sin qui proposte dalla letteratura specializzata. La *CVB* sembrerebbe particolarmente conveniente per barriere non emergenti ($R_c = 0$) (Fig. 7). Il risultato potrebbe essere spiegato dal fatto che i dati utilizzati per la calibrazione della formula comprendevano solo poche configurazioni emergenti e che pertanto la struttura della *CVB* sia meno adatta a descriverne il comportamento nei riguardi della trasmissione.

Una successiva analisi condotta nei campi di maggior efficienza delle formule di Daemen (1991), di d'Angremond (1998) e della *CVB*, sembrerebbe indicare una particolare efficienza di quest'ultima per strutture con cresta ampia (Figg. 9 e 10). Sebbene il risultato sembri alquanto interessante per le pratiche applicazioni, è necessario però sottolineare che l'ampiezza del campione di dati a disposizione non è tale da consentire conclusioni definitive e/o generalizzazioni.

La *CVB* restituisce, inoltre, un errore relativo più basso rispetto alle altre formule per strutture imbasate su fondali limitati ed in particolare per valori dell'indice di frangimento superiori a 0.35 (Fig. 12). Tuttavia l'interpretazione di questo risultato appare alquanto incerta a causa dell'esiguità dei dati a disposizione e, più in generale, è sembrato che la profondità di imbasamento influenzi solo limitatamente il processo di trasmissione. Peraltro non è chiaro se l'indice di frangimento sia il parametro più efficace per descriverne gli effetti. Anche se i risultati relativi ai tests condotti al GWK erano piuttosto incoraggianti, è opportuno notare che in acque molto basse tale parametro tende a saturarsi ed a far perdere ogni informazione sull'influenza di d . Inoltre la funzione lineare di H/d proposta dalla formula, eq. (12), perde di significato nel caso di fondali rapidamente decrescenti dove l'elevato valore dell'indice di frangimento potrebbe condurre a risultati assurdi quali ad esempio valori positivi del coefficiente angolare della (11).

In generale, è opportuno sottolineare che le formule attualmente a disposizione, *CVB* compresa, forniscono errori ancora troppo elevati in valore assoluto e che la deduzione di espressioni più affidabili per il calcolo del coefficiente di trasmissione, costituisce un importante compito per i futuri lavori di ricerca. L'analisi dei dati qui discussi sembrerebbe indicare che una possibile via per perseguire tale obiettivo, potrebbe essere quella di rinunciare ad un'unica formula valida contemporaneamente per strutture sommerse ed emergenti, stante il differente peso dei diversi parametri in gioco nei due casi. È, inoltre, necessario condurre ulteriori studi sperimentali quanto più possibile dettagliati e rappresentativi delle condizioni reali di progetto che ne consentano una efficace calibrazione e/o validazione.

Bibliografia

- Allsop N.W.H. (1983) - *Low-crested breakwaters, studies in random waves*. Coastal Structures '83, Arlington.
- Ahrens J.P. (1987) - *Characteristics of reef breakwaters*. Technical Report CERC-87-17, CERC, Vicksburg.
- Calabrese M., Vicinanza D. e Buccino M. (2002a) - *Trasmissione ondosa a tergo di scogliere a cresta bassa: indagine sperimentale su modello in grande scala*. XVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Potenza.
- Calabrese M., Vicinanza D. e Buccino M. (2002b) - *Large-scale experiments on the behaviour of low crested and submerged breakwaters in presence of broken waves*. Proc. International Conference on Coastal Engineering, Cardiff.
- Daemen I.E.R. (1991) - *Wave transmission at low-crested structures*. MSc thesis Delft University of Technology, Delft Hydraulics Report H462, Delft.
- Daemrich K. e Kahle W. (1985) - *Schutzwirkung von Unterwasser Wellen brechern unter dem Einfluss unregelmässiger seegangswellen*. Technical Report, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Report Heft 61, Hannover (in German).
- Dally W.R., Dean R.G. e Dalrymple R.A. (1985) - *Wave height variation across beaches of arbitrary profiles*. Journal of Geophysical Research, Volume 90.
- d'Angremond K., van der Meer J.W. e De Jong R.J. (1996) - *Wave transmission at low-crested structures*. International Conference on Coastal Engineering, Los Angeles.
- Gironella X., Sánchez-Arcilla A., Briganti R., Sierra J.P. e Moreno L. (2002) - *Submerged detached breakwaters: towards a functional design*. International Conference on Coastal Engineering, Cardiff.
- Horikawa K. e Kuo C.T. (1966) - *A study of wave transformation inside surf zone*. International Conference on Coastal Engineering.
- Powell K.A. e Allsop N.W.H. (1985) - *Low-crested breakwaters, hydraulic performance and stability*. Technical report SR57, HR Wallingford, Wallingford.
- Sassi G., Briganti R. e Franco L. (2002) - *Studio sperimentale della trasmissione del moto ondoso a tergo di una barriera a cresta bassa*. XVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Potenza.
- Seabrook S.R. e Hall K.R. (1998) - *Wave transmission at submerged rubble mound breakwaters*. International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen.
- Seelig W.N. (1980) - *Two dimensional tests of wave transmission and reflection characteristics of laboratory breakwaters*. Technical Report n.80-1, CERC, Fort Belvoir.
- van der Meer J.W. (1988) - *Rock slopes and gravel beaches under wave attack*. PhD thesis Delft University of Technology, Delft Hydraulics Report 396, Delft.
- van der Meer J.W. (1990) - *Low crested and reef breakwaters*. Technical Report n.H986 II, Delft Hydraulic, Delft.
- van Gent M.R.A. (1999) - *Physical model investigation on coastal structures with shallow foreshores*. Technical Report n.H3608, Delft Hydraulics, Delft.

Manoscritto ricevuto il 20/11/2002, accettato il 6/12/2002.

Il Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste del Politecnico di Bari

Leonardo Damiani, Antonio F. Petrillo e Gennaro Ranieri

Politecnico di Bari - Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Sezione Ingegneria delle Acque,
Via E. Orabona 4, 70125 Bari

Riassunto

Nel presente lavoro viene descritto il nuovo Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC) del Politecnico di Bari. Esso dispone di due grandi vasche per sperimentazione su modello fisico rispettivamente in ambiente costiero ed in acque profonde. Dopo una descrizione della struttura, si riferisce sulle potenzialità dell'apparato sperimentale per la generazione e il controllo del moto ondoso in vasca. Il Laboratorio è operativo dal febbraio 2001. Attualmente sono in corso una ricerca sul drenaggio delle spiagge come possibile intervento per la stabilizzazione della linea di riva ed un'analisi su modello fisico della risposta delle opere di protezione di Marina di Pisa. Gli studi in atto hanno consentito di mettere a punto alcune tecniche di misura e di analisi dei dati di utilità generale nello studio su modelli a fondo mobile.

L'obiettivo del presente lavoro, oltre a quello di presentare la nuova struttura, è quello di fornire alcuni spunti per possibili cooperazioni scientifiche con altre Istituzioni di Ricerca.

Parole chiave: modelli fisici, vasca marittima.

Abstract

This paper describes the new Laboratory of Coastal Engineering (LIC) of the Polytechnic University of Bari. Two large tanks are located in the laboratory: one is suitable for coastal models, the other for deep water models. Together with a description of the structure, the paper shows the main facilities of the laboratory, the most important of which is the 3D wavemaker. The laboratory has been working since February 2001. Many applied research programs are active at the moment, among which is a study of beach drainage as a shoreline stabilisation system and a model of the coastal protection works in Marina di Pisa. These first experiences have been very useful in order to set some investigation techniques which can be applied to many others studies. The presentation of the Laboratory is aimed at giving information on the available facilities and on the possible investigations in order to develop research co-operation with other institutions.

Key-words: *physical models, wave tank.*

Descrizione del Laboratorio

Il Laboratorio di ricerca, noto con l'acronimo LIC, nasce da un'idea dei docenti dell'ex Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari sul finire degli anni Ottanta. Lo sviluppo di tale idea, la ricerca dei canali di finanziamento adeguati, l'appalto e la successiva costruzione del centro ha condotto alla realizzazione del più grande laboratorio italiano nel campo della sperimentazione di opere costiere mediante l'uso di modelli fisici.

Il Laboratorio è stato realizzato con fondi del Programma Operativo Plurifondo Puglia - D.R. 29/10/90 n. 6155, Cofinanziamento con fondi strutturali CEE-REG. CEE n. 20522/68 e 4253/88, Sottoprogramma 6, Misura 6.3.

Il LIC, consegnato al Politecnico di Bari nei primi mesi del 2001, sorge nell'area di sviluppo universitario di Valenzano, a pochi chilometri da Bari, sulla Strada Provinciale Valenzano – Casamassima, ed occupa una superficie complessiva di circa 3 ha, di cui circa 1,2 coperti (Figg. 1 e 2).

Dal punto di vista amministrativo esso dipende direttamente dall'Amministrazione Centrale del Politecnico, mentre gode di piena autonomia sul piano scientifico. Le strutture del LIC sono sostanzialmente costituite da una palazzina uffici di superficie pari a 500 m² circa e dal laboratorio modelli di superficie pari a circa 12000 m².



Figura 1 - Vista d'insieme del LIC.

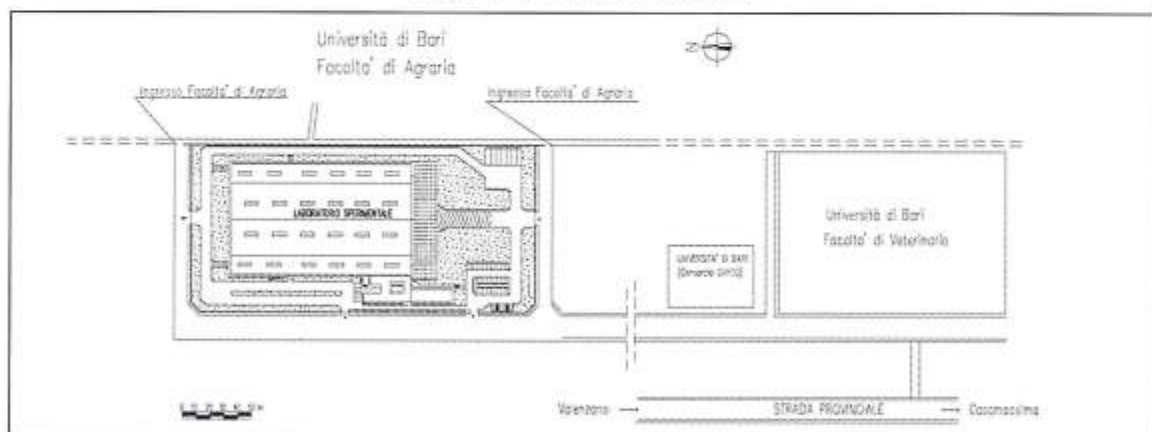


Figura 2 - Planimetria generale ed inquadramento del LIC nell'area universitaria.

Nella palazzina uffici (Fig. 3), oltre ad uffici e locali di servizio destinati al personale del Laboratorio, sono stati realizzati il centro di controllo, dal quale è possibile generare il segnale per il comando dei generatori di moto ondoso, ed un centro di calcolo, già attrezzato con software di uso comune nell'ingegneria e modelli matematici per lo studio delle problematiche costiere, alcuni dei quali acquistati, come ad esempio *Seaworks*, per l'analisi del regime di un litorale, *Plume* e *Telemak* per studi di diffusione di getti, ed altri prodotti in proprio.

Nel Laboratorio modelli (Fig. 4) vi sono due grandi vasche: la prima per modelli costieri, di dimensioni 50 x 90 m e profondità di 1,2 m; la seconda per modelli off-shore, di 50 x 30 m e profondità di 3 m. In entrambe le vasche è consentito l'accesso a mezzi pesanti attraverso comode rampe.

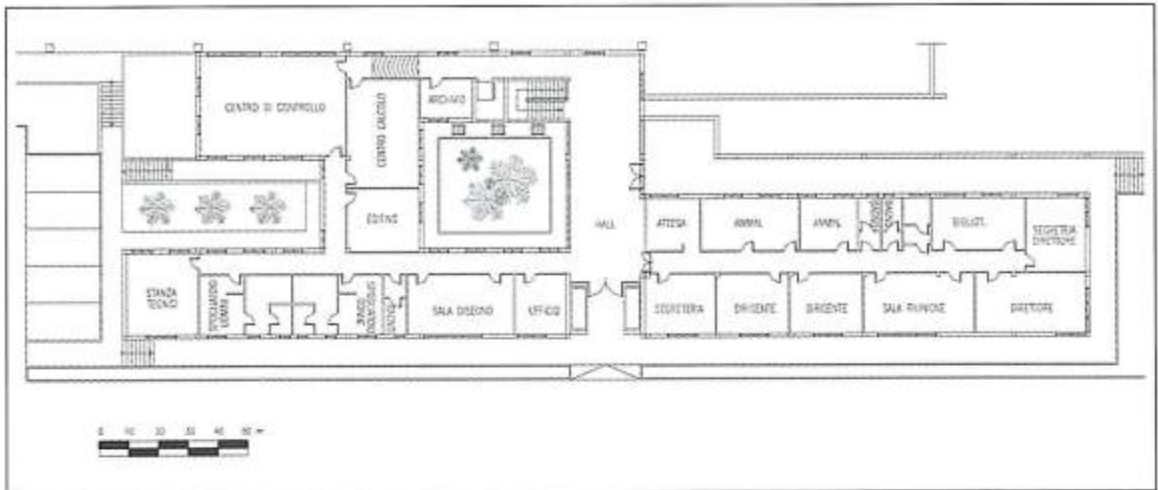


Figura 3 - Pianta della palazzina degli uffici.

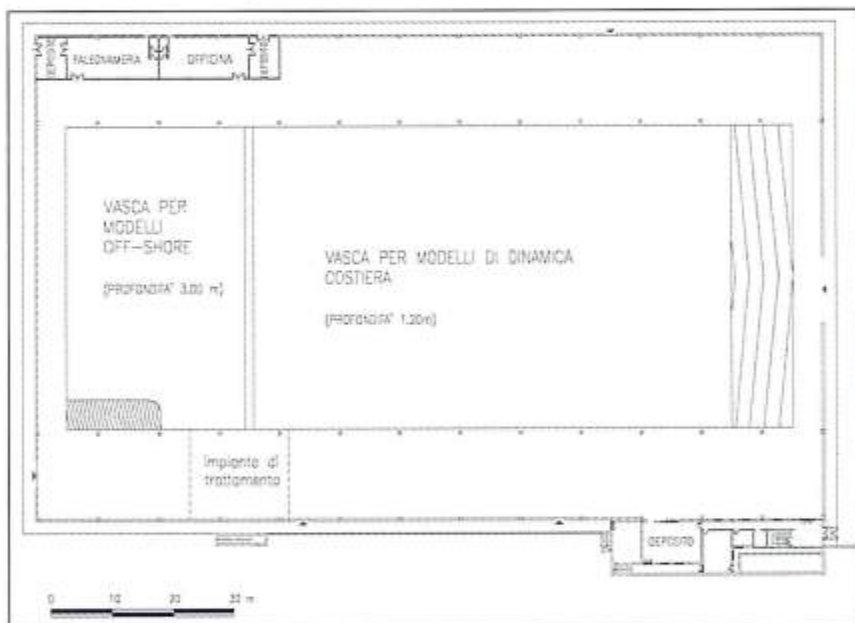


Figura 4 - Pianta del laboratorio.

Nella vasca per modelli costieri si è prevista la possibilità di realizzare contemporaneamente più modelli, parzializzando la vasca per mezzo di setti facilmente smontabili, in grado di impedire la trasmissione del moto ondoso generato al di fuori dell'area destinata al modello. Su tali setti sono state realizzate passerelle che consentono una facile e sicura ispezione alle strutture realizzate in vasca (Fig. 5).

Ad un'estremità della vasca per modelli costieri, è stato realizzato, sempre per mezzo dei suddetti setti, un canale di larghezza pari a circa 2,5 m e lunghezza pari a 50 m, in previsione di studi che richiedano l'uso di modelli bidimensionali. A tergo dei generatori di moto ondoso, di cui si dirà in seguito, sono state realizzate scogliere con rivestimento in pietre e nucleo in ciottoli, in grado di assorbire il moto ondoso che si genera dietro l'ondogeno.

Allo stato attuale la vasca off-shore (Fig. 6) non è stata ancora attrezzata con generatore di moto ondoso e viene utilizzata come stoccaggio per l'acqua da utilizzare nella vasca per modelli costieri, infatti il volume delle due vasche è del tutto confrontabile.

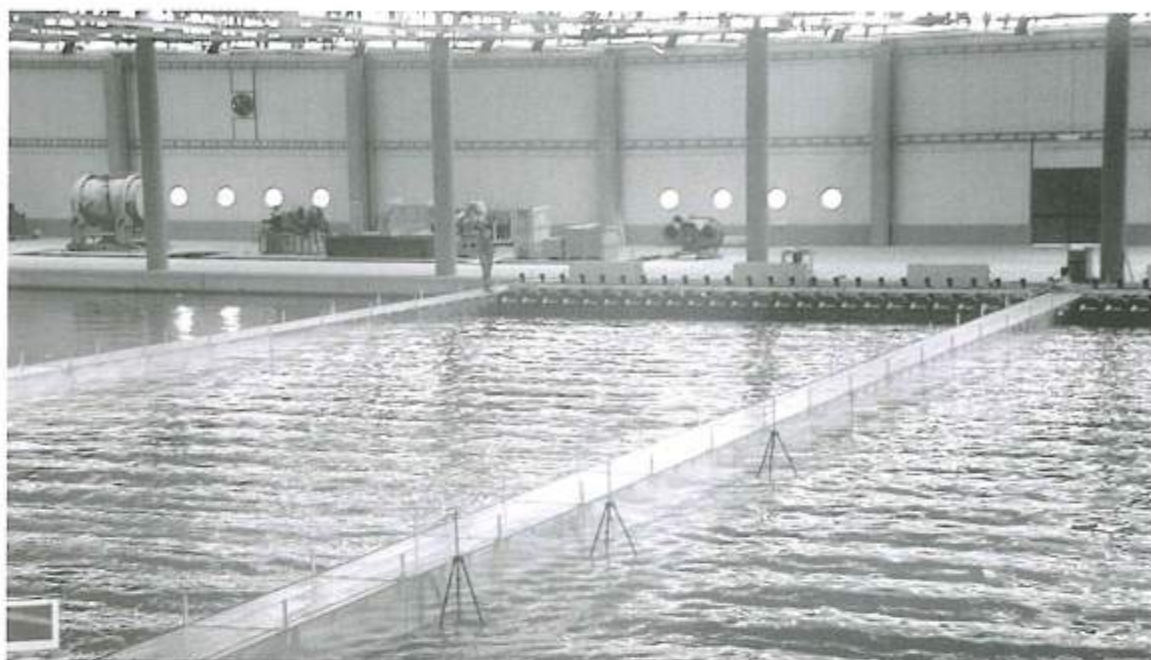


Figura 5 - Vista parziale della vasca per modelli costieri. Sono visibili i setti di separazione e le passerelle.

Il Laboratorio è completato da officine e depositi di supporto. In particolare nel capannone sono ubicate una falegnameria, un'officina meccanica, un reparto di supporto per l'analisi delle sabbie ed attrezzature elettroniche per l'acquisizione dati (pur essendo possibile l'acquisizione della maggior parte dei dati dal centro di controllo ubicato nella palazzina uffici, l'esperienza accumulata nei primi mesi di lavoro suggerisce di eseguire tutte le operazioni di gestione delle misure in prossimità del modello).

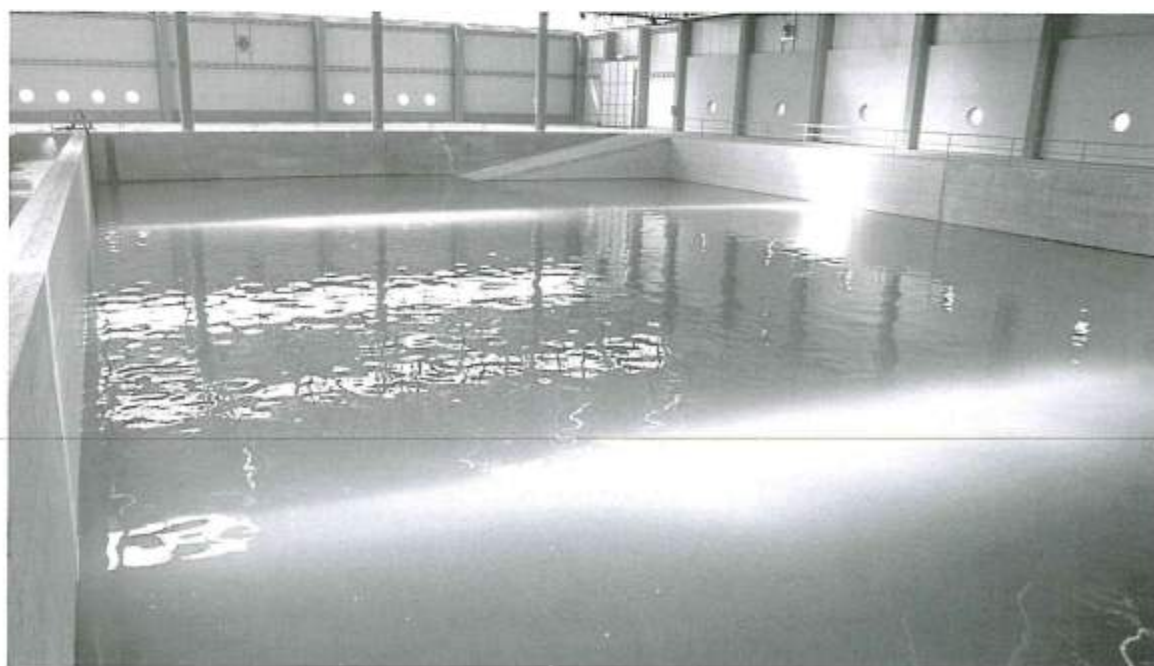


Figura 6 - Vista d'insieme della vasca per modelli off-shore.

I generatori di moto ondoso

Fra le attrezzature sperimentali disponibili, la più rilevante è certamente rappresentata dai generatori di moto ondoso. Essi sono stati prodotti dall'HR Wallingford, che ha curato non solo la costruzione ed il montaggio di tutte le parti meccaniche ed elettriche, ma anche l'apparato elettronico ed il *software* di controllo. Sostanzialmente il LIC è dotato di due generatori del tutto analoghi: il primo per la generazione di fronti d'onda per modelli 3D (Fig. 7) ed il secondo da utilizzare in canale 2D.

Il generatore di moto ondoso 3D è costituito da sei moduli per uno sviluppo complessivo del fronte d'onda di 28,8 m. Ciascun modulo è costituito da 8 pale da 60 cm e da una centralina di controllo degli spostamenti delle pale, ciascuna delle quali è azionata da un motore elettrico che ne permette il movimento orizzontale, con una corsa massima di 30 cm in avanti e in dietro rispetto alla posizione di riposo.

Lo spostamento di ogni pala è controllato per mezzo di un trasduttore di posizione che fornisce un comando di retroazione ed è ovviamente sincronizzato con lo spostamento delle altre pale per mezzo della centralina di ciascun modulo. Il movimento complessivo di ciascun modulo è sincronizzato con quello degli altri moduli mediante il software di controllo installato su un computer dedicato, ubicato nel centro di controllo. Completano l'installazione due trasformatori, ciascuno a servizio di tre moduli.

L'apparato può essere utilizzato per la generazione di un unico fronte d'onda, ovvero può essere parzializzato, utilizzando un numero ridotto di moduli. Attualmente esso è stato diviso in due parti (Fig. 5), consentendo così di poter lavorare, anche se non contemporaneamente, su due modelli.

Ciascun modulo è in grado di generare fronti d'onda obliqui, con un angolo di inclinazione funzione della lunghezza d'onda del moto ondoso generato (HR Wallingford, 2000). Ovviamente, utilizzando un fronte d'onda inclinato, la porzione di modello effettivamente disponibile si riduce sensibilmente, pertanto, per modelli di grandi dimensioni da sottoporre a mareggiate provenienti da diverse direzioni, è comunque consigliabile provvedere a spostare il generatore in vasca nel corso delle prove, orientandolo opportunamente rispetto al modello e creando delle guide al moto ondoso.

Il generatore per canale bidimensionale è del tutto analogo a quello precedentemente descritto, ma è costituito da un numero ridotto di pale (quattro), per uno sviluppo complessivo di 2,4 m (Fig. 8).

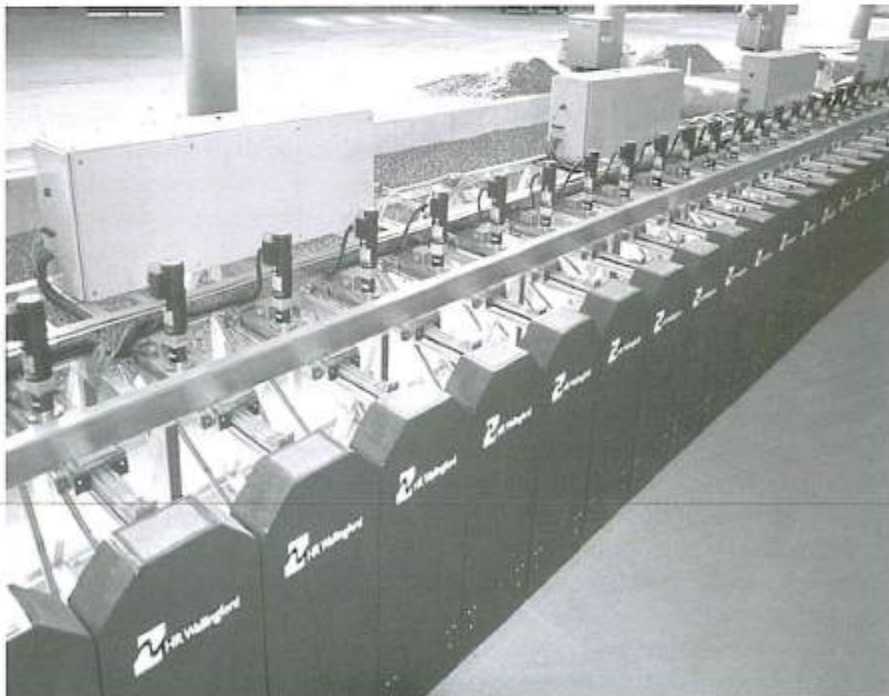


Figura 7 - Generatore di moto ondoso 3D.

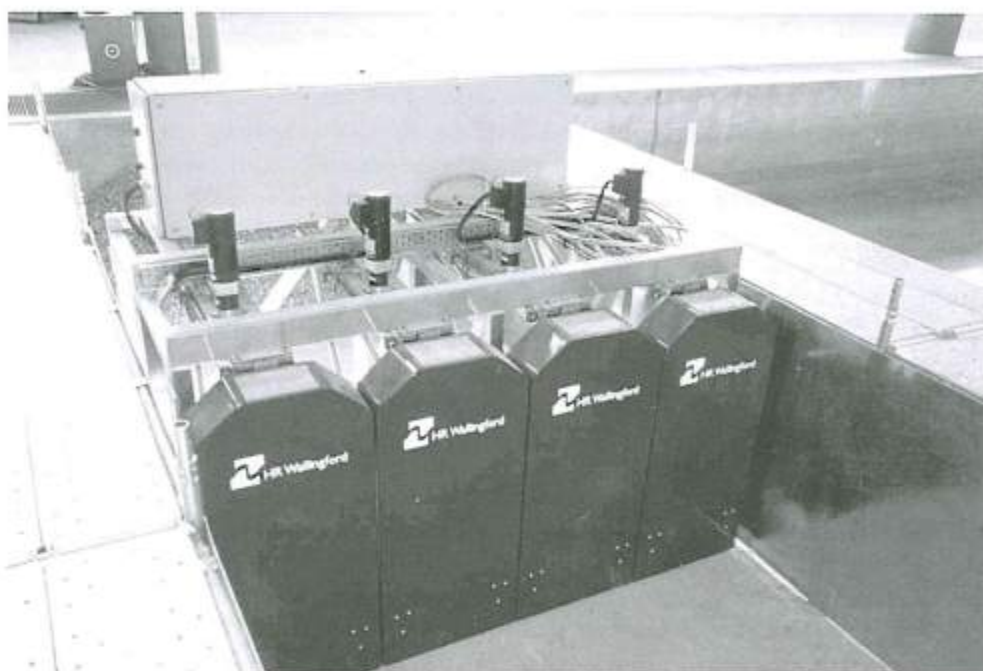


Figura 8 - Canale bidimensionale con generatore di moto ondoso.

Il moto ondoso, come già detto, è generato mediante un software di produzione HR Wallingford, fornito insieme ai battenti. Il software è stato studiato in modo da consentire l'ampliamento dei moduli attualmente disponibili presso il LIC. L'hardware attualmente in dotazione consta di due sistemi indipendenti: il primo a servizio del generatore per canale ed il secondo per quello in vasca.

Il software di generazione consente di scegliere il tipo di onda da generare in vasca fra un'ampia gamma di possibilità. In particolare è possibile generare onde regolari, e/o random. Per queste ultime, la tecnica utilizzata consiste nel generare e filtrare opportunamente un rumore bianco (Gilbert e Huntington, 1991). Le forme spettrali previste nel software sono quelle JONSWAP e Pierson Moskowitz. Gli spettri possono essere mono- e bi-direzionali; in entrambi i casi vanno fissati da input gli angoli fra il piano del generatore e la direzione di propagazione degli spettri.

Il controllo del moto ondoso in vasca viene effettuato mediante sonde resistive, anch'esse fornite da HR Wallingford insieme alle centraline ed al software di gestione ed analisi dei dati che consente sia un'analisi statistica che un'analisi spettrale (HR Wallingford, 1996).

Indagini effettuate e primi risultati

Oltre a numerosi test funzionali, nel corso del primo anno sono state condotte esperienze su un modello per lo studio del drenaggio delle spiagge come possibile intervento per la stabilizzazione della linea di riva. Tali indagini sono state condotte nell'ambito di un progetto cofinanziato dal MIUR nel programma dei "Piani di potenziamento della rete scientifica e tecnologica - Piano Ambiente Terrestre - Cluster C11-B Pr. N. 9". È inoltre stata avviata e quasi conclusa una simulazione delle opere di protezione costiera del litorale di Marina di Pisa, commissionata dall'Autorità di Bacino dell'Arno.

Al di là dei contenuti specifici dello studio, oggetto di lavori in corso di stampa, si ritiene utile in questa sede illustrare le tecniche sperimentali utilizzate, di validità del tutto generale e quindi adattabili ad altri modelli a fondo mobile da realizzare in laboratorio.

Nel modello, oltre al controllo del moto ondoso, sono state effettuate indagini sull'evoluzione dei profili di spiaggia e della linea di riva. Inoltre sono state condotte misure dirette a valutare la portata drenata dalla spiaggia e le variazioni della water table per effetto del moto ondoso.

Il modello realizzato ha un fronte di spiaggia di circa 14 m, con una granulometria piuttosto uniforme e $D_{50} = 0,18$ mm. La pendenza iniziale del profilo di spiaggia è mediamente pari a 1/20. Il drenaggio della spiaggia è stato realizzato con una condotta sfinestrata, interrata parallelamente alla linea di riva ad una profondità di circa 10 cm dal L.M.M. La condotta è collegata ad un pozzetto ubicato all'esterno del modello, al cui interno è alloggiata una pompa sommersa in grado di sollevare l'acqua drenata per gravità dalla spiaggia e restituirla in vasca.

Rilievo dei profili di spiaggia

Per quanto riguarda le misure di profondità, il LIC è dotato di profilatori automatici, prodotti da HR Wallingford (Fig. 9). I profilatori consentono di effettuare il rilievo dei profili di spiaggia per una lunghezza di circa 4 metri a passo costante. L'asta di misura è dotata di un sensore molto sensibile che, a contatto con il fondo, induce l'arresto dell'asta e quindi, con notevole grado di precisione e rapidità, determina la profondità relativa nel punto. I limiti essenziali del suddetto strumento sono legati alla lunghezza dei profili rilevabili (piuttosto modesta se confrontata con le dimensioni del modello) e alle delicate operazioni di calibrazione.

Attualmente, presso il LIC, sono disponibili tre profilatori, ubicati perpendicolarmente alla linea di riva ed a cavallo di essa, in modo da poter monitorare con frequenza le variazioni dei profili di spiaggia nella zona dove l'evoluzione è più rapida. Ovviamente, le misure vengono effettuate ad acqua ferma, interrompendo più volte il ciclo di attacchi ondososi.



Figura 9 - Profilatore di fondo.

Per le zone non coperte dai profilatori, per superare le difficoltà connesse con le grandi dimensioni del modello, sono state provate diverse tecniche di misura che rispondessero ai seguenti requisiti: precisione, rapidità e non intrusività per salvaguardare le configurazioni del fondale. Alla fine si è optato per strumenti topografici classici (Fig. 10), con una stazione fissa a terra e il prisma ottico montato su di una stadia poggiata sul fondo e manovrata dall'operatore posto su un gommone.

I test effettuati dimostrano la validità della tecnica prescelta, sia per la rapidità del rilievo che per la sua attendibilità; infatti, le misure ripetute più volte sulla medesima configurazione di fondo hanno evidenziato la ripetibilità del rilievo.

Nel modello in studio i rilievi sono stati effettuati lungo tre transetti, posti in prosecuzione all'asse dei profilatori, in modo da disporre del rilievo completo su tre sezioni ortogonali alla linea di riva. I profili, in parte rilevati con i profilatori ed in parte con il teodolite, sono stati omogeneizzati con semplici operazioni geometriche. A tal fine si è avuto cura di misurare con il teodolite la profondità in corrispondenza

destro (a circa 4 m dalla fine del modello) intorno alle massime profondità in vasca. Pertanto la batimetria -75 cm, già inizialmente, presentava una curvatura convessa verso la spiaggia. Alla fine delle esperienze, come evidenziato nella Figura 11, in corrispondenza del profilatore in esame si è creata una barra longitudinale con le batimetrie che tendono ad abbandonare l'iniziale configurazione rettilinea e a disporsi parallelamente alla batimetria -75 cm.

È ovvio che tale situazione ha contribuito ad amplificare le correnti long-shore presenti nel modello, rendendo così improponibile un'analisi dell'evoluzione dei singoli profili di spiaggia senza considerare le loro mutue interazioni.

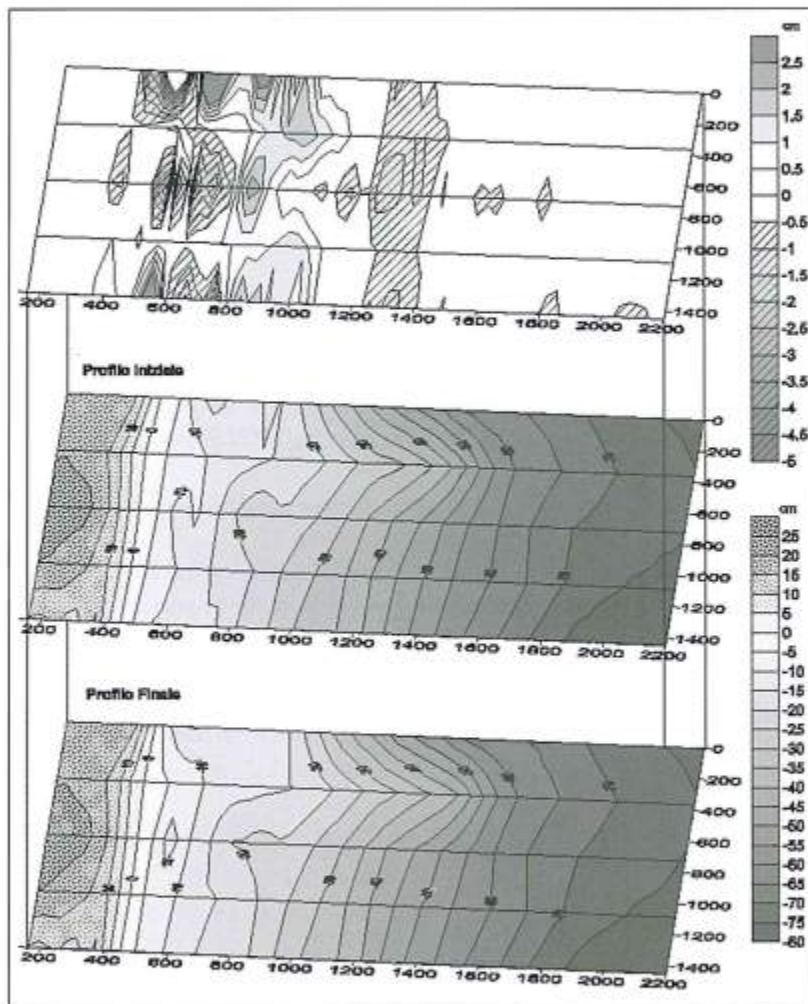


Figura 11 - Rappresentazione delle zone di erosione e deposito (misure in cm).

Una seconda indagine di tipo morfologico è consistita nello studio di dettaglio dell'evoluzione della linea di riva. Si è infatti osservato che la rappresentazione della linea di riva a mezzo dei profili di spiaggia indagati forniva una fotografia poco attendibile della reale configurazione. Anche in questo caso, infatti, gli effetti tridimensionali hanno determinato una configurazione della linea di riva tutt'altro che lineare, con la formazione di ondulazioni molto evidenti e spesso non coincidenti con i transeiti dei profili longitudinali. Si è pertanto reso necessario procedere al rilievo della linea di riva sempre con strumenti topografici, battendo i punti all'incirca ogni 50 cm.

Pur rinviando l'analisi di dettaglio dei risultati ad un successivo lavoro, si deve sottolineare come i risultati ottenuti abbiano sostanzialmente confermato le previsioni circa la natura (erosiva o ripascitiva) degli attacchi ondosi utilizzati. Inoltre è stato possibile ricostruire la superficie di spiaggia persa, o guadagnata, per azione degli attacchi erosivi, o ripascitivi, nonché della velocità di arretramento o di avanzamento della linea di riva. Quest'ultimo parametro si è rivelato importante per valutare il grado di stabilità raggiunto dalla spiaggia alla fine di ogni prova.

Conclusioni

Nel presente lavoro sono state descritte le principali attrezzature del LIC, al fine di illustrarne le potenzialità e la possibilità di realizzare in esso nuovi programmi di ricerca. In particolare si è descritto il generatore di moto ondoso 3D in grado di realizzare un fronte d'onda di lunghezza pari a circa 28 m e quello per canale con larghezza di 2,4 m.

I test funzionali e le prime esperienze effettuate hanno consentito di tarare le tecniche di misura e di analisi dei risultati di maggior utilizzo in modelli a fondo mobile. In particolare, si sono messe a punto tecniche di indagine sull'evoluzione dei fondali e sul controllo del moto ondoso in vasca. Inoltre, pur se non descritte nel presente lavoro, sono state già tarate tecniche per la misura delle oscillazioni della water table e della portata drenata dalla spiaggia in presenza di moto ondoso.

Bibliografia

- Aminti P. (1983) - *Modellazione dei profili di spiaggia: Parametri per la loro classificazione e criteri di similitudine*. Idrotecnica 3: 143-152.
- Chiaia G., L. Damiani A. e Petrillo A.F. (1990) - *Trasformazioni di un profilo di spiaggia sottile sotto l'azione di un ciclo di attacchi ondosi casuali di lunga durata*. XXII Conv. Di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Cosenza 4-7 ottobre 1990.
- Gilbert G. e Huntington S. W. (1991) - *A technique for the generation of short crested waves in wave basins*. J. of Hydraulic Research, Vol. 29, No 6.
- HR Wallingford (2000) - *Wave generation System, User Manual*. Internal Report, June 2000.
- HR Wallingford (1996) - *HR Waves: Data acquisition and analysis software program, User Manual*. Internal Report March, 1996.

Ripascimento di spiagge con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna

Mentino Preti

ARPA - Ingegneria Ambientale, Regione Emilia-Romagna, Vicolo Carega 3, 40121 Bologna
mpreti@ia.arpa.emr.it

Riassunto

Il litorale della Regione Emilia-Romagna ha uno sviluppo di 130 km ed è costituito interamente da costa bassa e sabbiosa.

Come in molte altre zone del mondo, nel corso del '900, anche questo tratto di costa è stato interessato da un notevole aumento demografico e da un forte sviluppo economico.

La presenza di una larga spiaggia di sabbia fine, lunga più di 100 km, ha favorito in particolare lo sviluppo di una vera e propria industria turistico-balneare che, con oltre 40 milioni di presenze annuali con un bilancio di oltre 6 miliardi di Euro, ha raggiunto livelli da primato in Europa. Pesanti sono stati però gli effetti dello sviluppo economico sul sistema ambientale litoraneo: le dune sono state in gran parte spianate, le spiagge erose dal mare e la subsidenza indotta dall'estrazione di acqua e metano ha prodotto un abbassamento di circa 1 m di quasi tutta l'area costiera.

Per contrastare il degrado del litorale e salvaguardare il turismo, la Regione ha avviato nel 1979 una politica innovativa, basata sulla rimozione delle cause dell'erosione e sulla difesa dei tratti critici con il ripascimento artificiale, quale alternativa alle opere rigide.

Tra il 1983 e il 2000, sono stati così portati sulle spiagge 3 milioni di m³ di sabbia proveniente da cave a terra, da accumuli litoranei e dal dragaggio dei porti.

L'alto costo del materiale di cava, l'impatto ambientale del trasporto via terra e soprattutto l'insufficienza di questi punti di risorsa rispetto al fabbisogno, hanno portato nel 2000 la Regione a finanziare il primo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine.

ARPA - Ingegneria Ambientale è stata incaricata di effettuare la ricerca dell'area di prelievo in mare, la progettazione esecutiva e il monitoraggio. Gli uffici regionali, da parte loro, hanno effettuato la Gara d'Appalto, la Direzione Lavori e il Collaudo.

L'intervento ha evidenziato, fin dalla fase di progetto, una serie di specificità tali da renderlo diverso dagli altri realizzati non solo in Italia. Le soluzioni adottate in sede progettuale da ARPA e dall'Impresa esecutrice hanno permesso però di superare tutte le problematiche e di realizzare il lavoro nei tempi stabiliti.

Dal 13 febbraio al 6 aprile 2002, una draga della capacità di 6.000 m³ ha portato circa 800.000 m³ di sabbia di ottima qualità su 10 km di costa, frazionati in 9 tratti distinti, distribuiti su 55 km di litorale, determinando un allargamento medio dell'arenile di 30-40 m.

L'intervento ha destato un grande interesse tra gli amministratori regionali e locali, nonché tra gli operatori balneari, riscuotendo consensi pressoché unanimi.

Parole chiave: Adriatico, spiaggia, erosione, ripascimento, sabbie sottomarine.

Introduzione

In corrispondenza della pianura compresa tra gli Appennini a sud e il delta del Po a nord, il limite tra terra e mare è costituito da una sottile spiaggia bassa e sabbiosa lunga 110 km, interrotta ogni 10-15 km dalle foci di fiumi e torrenti che, con il loro trasporto solido, ne costituiscono la principale fonte di alimentazione. Questa spiaggia, assieme alla parte meridionale del delta del Po, compresa tra le foci del Po di Volano e del Po di Goro, avente un fronte a mare di 20 km, costituisce il litorale della Regione Emilia-Romagna (Fig 1).

Fino ai primi del '900, questo tratto costiero era orlato da un'ampia fascia di dune a cui succedevano, soprattutto nel ravennate e nel ferrarese, vaste superfici depresse occupate da stagni e lagune salmastre, a loro volta intercalate da dorsali emerse ricoperte da pinete e boschi elicei.

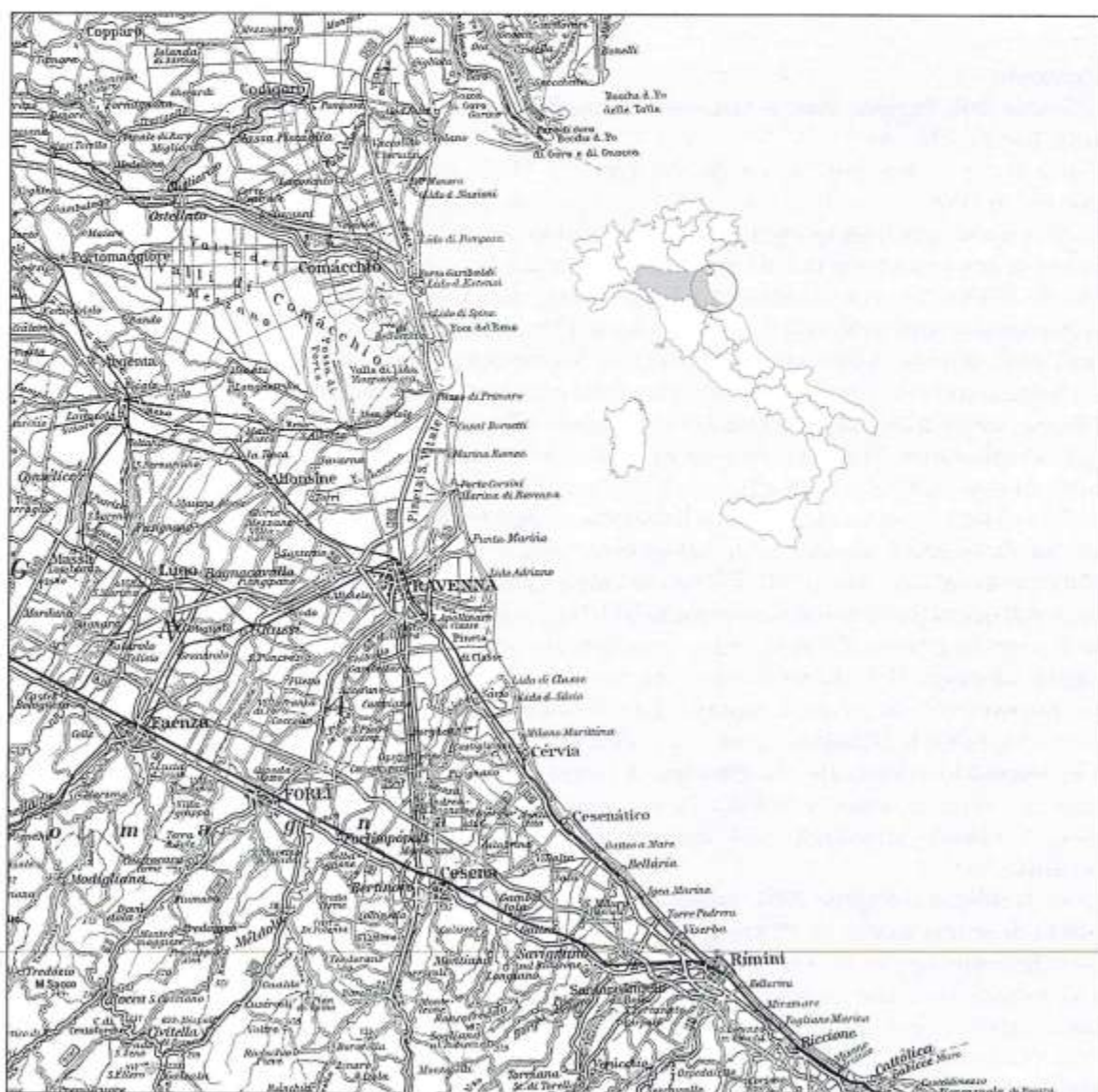


Figura 1 - Litorale della Regione Emilia-Romagna.

Questo mosaico naturale di gran pregio paesaggistico-ambientale ha subito nel corso dell'ultimo secolo modificazioni profonde ad opera dell'uomo.

Le dune sono state in massima parte spianate, le paludi bonificate, le superfici boscate fortemente ridotte e le spiagge in buona parte occupate da edifici e stabilimenti balneari.

Come in moltissime altre parti del mondo, causa prima di queste modificazioni è stato l'intenso sviluppo del turismo balneare che ha portato su questa costa all'urbanizzazione di ben 78 km di litorale, di cui 55 km, tra Cattolica e Lido di Classe, senza soluzione di continuità.

L'irrigidimento della linea di riva così attuato, unito alla costruzione di moli portuali sempre più lunghi, agli elevati valori di subsidenza (70-80 cm in 100 anni a Rimini e Bellaria, 1 m ed oltre da Cesenatico al delta del Po, Ravenna compresa) indotti dall'estrazione di acqua e metano dal sottosuolo e alla forte riduzione degli apporti di sabbia al mare da parte dei fiumi causata dalle escavazioni in alveo, hanno fortemente accentuato il grado di vulnerabilità di questo territorio costiero nei confronti del mare.

Negli ultimi 70 anni, 105 dei 130 km di litorale in esame sono stati interessati da processi erosivi, mentre superfici sempre più estese di territorio sono state oggetto di ingressione marina durante forti mareggiate accompagnate da eventi di acqua alta.

A partire all'incirca dal 1930, per contrastare questi fenomeni sono state realizzate, da parte dello Stato, opere di difesa dall'erosione per complessivi 65 km e di contenimento delle ingressioni marine per 30 km circa.

Questo grande sforzo, se da un lato ha permesso di bloccare in buona misura l'avanzata del mare, dall'altro ha prodotto una marcata alterazione dei caratteri paesaggistico-ambientali originali dell'area. Infatti, le opere maggiormente impiegate, le scogliere parallele emerse, si sono rivelate esse stesse causa di erosione, in quanto spostano il fenomeno sui litorali limitrofi.

Il Piano Coste, realizzato dalla società Idroser nel 1981 per conto della Regione, ha reso evidente che il proseguimento della politica di intervento fin lì adottata, avrebbe portato nel giro di qualche decennio alla "bunkerizzazione" di tutta la costa regionale e conseguentemente alla scomparsa della spiaggia naturale, la più pregiata ai fini del turismo balneare. Risultava evidente quindi che la difesa dal mare andava ridefinita in termini del tutto innovativi, in quanto il degrado paesaggistico-ambientale dell'area litoranea aveva raggiunto un livello tale da mettere in crisi l'industria turistico-balneare, che nel frattempo aveva raggiunto il primato europeo.

Per superare questo stato di crisi, il Piano Coste proponeva di sviluppare una strategia articolata in due direttrici: operare per rimuovere le cause dei processi erosivi (riduzione dell'apporto solido fluviale, subsidenza, opere a mare) e difendere i tratti critici non più con le scogliere, ma con il ripascimento artificiale. In pratica, essendo l'equilibrio di una spiaggia strettamente dipendente dal bilancio tra apporti di sabbia da parte dei fiumi e asportazione della stessa ad opera del mare, l'erosione può essere contrastata compensando con apporti artificiali la riduzione del trasporto di sabbia al mare da parte dei fiumi e gli abbassamenti dovuti alla subsidenza.

L'esperienza del ripascimento in Emilia-Romagna

Il ripascimento artificiale si configura come la tipologia di intervento a minor impatto ambientale per la difesa delle spiagge dall'erosione marina e che in Emilia-Romagna più si concilia con la strategia di lungo termine basata sul riequilibrio delle spiagge ad opera degli apporti fluviali.

In Emilia-Romagna, i primi interventi di ripascimento sono stati effettuati nel 1983 ed hanno interessato 5,6 km di litorale, con un apporto iniziale pari a 538.000 m³ di sabbia.

In seguito, nel corso degli anni '80 e '90, il campo degli interventi è stato esteso ad altri tratti costieri portando il totale del litorale interessato a superare i 16 km e il volume di sabbia apportata a 3,2 milioni di m³.

Di questi, più di 2,5 milioni di m³ sono stati prelevati da cave a terra, circa 300.000 m³ da aree litoranee dove si era venuto a creare un surplus di sabbia, circa 200.000 m³ dal dragaggio delle imboccature dei porti canali ed altri 200.000 m³ dagli scavi per la realizzazione della nuova darsena di Rimini.

La pluralità delle fonti di prelievo della sabbia sopra elencate evidenzia da un lato, aspetti certamente positivi quali la valorizzazione del materiale proveniente dal dragaggio dei porti, fino a qualche anno fa scaricato in mare al largo della costa, dall'altro, aspetti negativi quali il forte prelievo dalle cave a terra. Il materiale delle cave a terra è risultato in molti casi di scarsa qualità e comunque molto costoso (attualmente circa 15 €/m³).

In ogni caso è un doppio non senso curare un guasto ambientale creandone un altro e "buttare in mare" materiale buono per altri usi, tra cui quello edilizio.

Le diverse caratteristiche iniziali dei tratti oggetto di intervento, le diverse tipologie delle opere di contenimento adottate (barriere in sacchi, pennelli in roccia e più recentemente scogliere sommerse), la diversa provenienza delle sabbie (da cava, da accumuli litoranei, dal dragaggio dei porti) hanno permesso di acquisire negli ultimi 20 anni un notevole bagaglio conoscitivo che, per ragioni di spazio, non può essere descritto in questo articolo.

Ciò che va riportato è il giudizio positivo che si è potuto ricavare dall'applicazione del ripascimento artificiale.

Tra gli elementi che hanno contribuito alla formazione di questo giudizio i principali sono la ricostruzione della spiaggia e il riscontro, avvalorato dai numerosi monitoraggi effettuati, che la sabbia fuoriuscita dalle zone di apporto va ad alimentare le spiagge limitrofe garantendone l'equilibrio.

Il beneficio del ripascimento non può quindi essere riferito alla sola zona di intervento, ma ad un tratto di costa molto più esteso.

La differenza quindi rispetto al comportamento delle scogliere è totale. Il ripascimento inoltre non altera i caratteri paesaggistici ed ambientali della zona di intervento e la dinamica litoranea.

Il limite principale del ripascimento artificiale è la sua efficacia temporanea, in quanto la sabbia viene progressivamente asportata dalla zona di intervento dalle mareggiate. Dopo qualche anno, in assenza di apporti integrativi, si ritorna quindi alle condizioni di partenza.

Visti i grandi vantaggi che si hanno sotto il profilo della qualità ambientale, per rendere sistematica l'applicazione del ripascimento artificiale come tipologia di intervento contro l'erosione delle spiagge e più in generale per la difesa del territorio e degli abitanti dal mare, occorre soddisfare due esigenze fondamentali: disporre di grandi quantità di sabbia e applicare il criterio della gestione nella definizione degli interventi.

Il secondo studio di pianificazione generale del litorale emiliano-romagnolo, pubblicato da Idroser per conto della Regione nel 1996, dal titolo: "Progetto di Piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna" ha reso evidente che, stante i lunghi tempi della ripresa del trasporto solido a mare da parte dei fiumi, le fonti di prelievo delle sabbie a terra o litoranee non sono sufficienti a soddisfare il forte fabbisogno di sabbia causato dai processi erosivi delle spiagge. Per garantire il prosieguo della difesa delle spiagge con il ripascimento non rimane quindi che il ricorso alle risorse sottomarine.

All'inizio del 2000, la Regione Emilia-Romagna ha deciso così di finanziare con £ 21.580.000.000 il primo intervento di ripascimento con sabbie sottomarine delle proprie spiagge.

Inquadramento amministrativo e finanziario del progetto

Nel finanziare il 1° progetto di ripascimento con sabbie sottomarine, la Giunta della Regione Emilia-Romagna si è basata sui positivi risultati delle ricerche di accumuli sabbiosi in Adriatico conseguiti dalla società regionale Idroser nel corso di tre campagne di ricerca, condotte nel 1984, 1987-1988 e nel 1993. Queste ricerche hanno infatti portato alla scoperta di alcuni corpi sabbiosi posti tra 35 e 55 km dalla costa, in cui sono accumulati diverse decine di milioni di m³ di sabbia (Fig. 2).

I positivi risultati delle ricerche in mare, sommati a quelli altrettanto positivi forniti dagli interventi di ripascimento delle spiagge realizzati con sabbie di cava o litoranee a partire dal 1983, hanno portato la Giunta Regionale ad approvare, con delibera n. 618 del 01-03-2000 il: "Progetto di messa in sicurezza dei tratti critici del litorale emiliano-romagnolo mediante ripascimento con sabbie sottomarine".

Per evitare il ripetersi dei danni causati dagli eventi calamitosi verificatosi tra il 1996 e il 1999 nelle

province costiere emiliano-romagnole, la Protezione Civile Nazionale ha stanziato considerevoli risorse economiche finalizzate alla messa in sicurezza del territorio (Leggi 61/98, 224/99 e O.M. 3027/99).

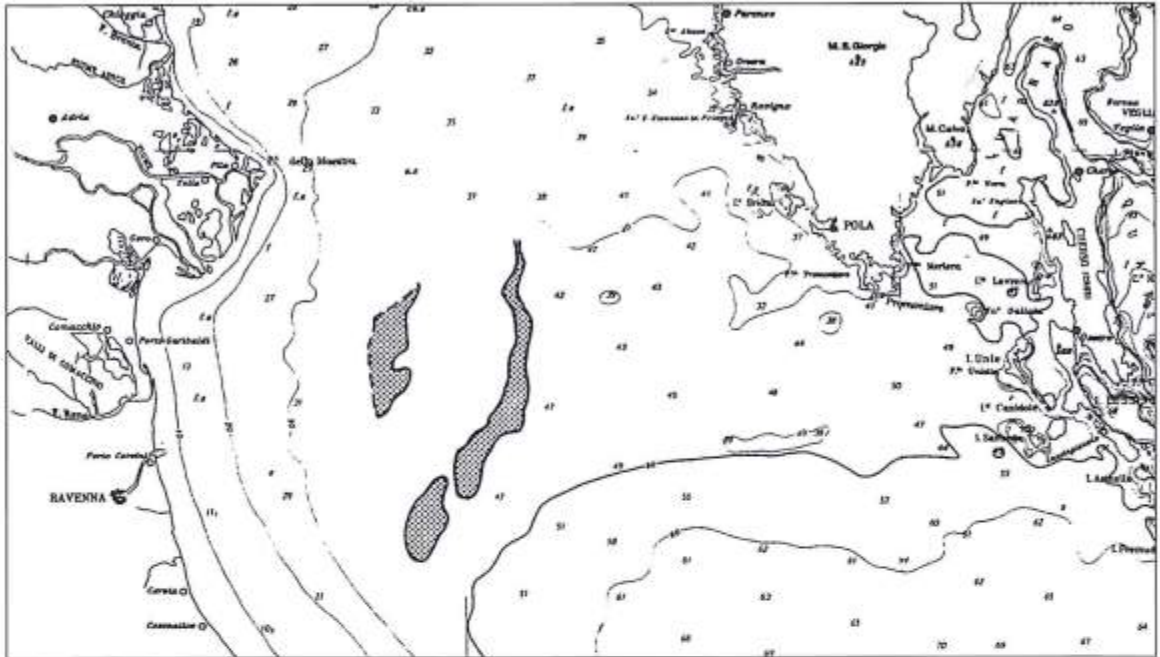


Figura 2 - Adriatico settentrionale: strutture sedimentarie individuate con le ricerche Idroser degli anni '80.

La copertura finanziaria dei numerosi progetti di difesa del territorio e delle spiagge redatti da Comuni, Consorzi di Bonifica e Servizi Difesa del Suolo, è stata assicurata per il 75% dalla Protezione Civile Nazionale e per il 25% dalla Regione stessa.

L'intervento di ripascimento con sabbie sottomarine nasce all'interno del Comitato Tecnico istituito presso il Servizio Protezione Civile Regionale, per l'esame di tutti i progetti avanzati dai vari enti. In quella sede, sono stati infatti illustrati e recepiti due rilevanti aspetti alla base di un progetto finalizzato all'utilizzo di sabbie sottomarine: l'efficacia degli interventi di difesa del litorale è scarsa quando i fondi vengono distribuiti "a pioggia", al di fuori quindi di una logica di gestione complessiva del litorale; la convenienza di un intervento di ripascimento con sabbie sottomarine aumenta con l'aumentare dei volumi movimentati in quanto i costi fissi del cantiere e della draga sono molto elevati.

Per rendere fattibile l'utilizzo delle sabbie sottomarine si è resa necessaria così un'operazione di aggregazione di fondi già destinati alla difesa di 9 tratti di spiaggia in stato di forte criticità, appartenenti a 9 comuni delle province di Rimini, Forlì-Cesena e Ravenna.

Come si vede, alcuni passaggi amministrativi e finanziari avvenuti durante la fase di assegnazione dei fondi si sono tradotti poi in significativi vincoli progettuali. La necessità di dover ripascere 9 spiagge distinte, distribuite in un arco costiero ampio 55 km, con sabbie prelevate su un fondale di 40 m, a 55 km dalla costa, costituivano indubbiamente delle novità assolute sia per l'esperienza italiana che europea. Stante la complessità del progetto, la Giunta Regionale ha deciso di affidare ad un unico soggetto la ricerca di dettaglio dell'area di prelievo, la progettazione preliminare ed esecutiva, la caratterizzazione fisico-ambientale dell'area di prelievo e delle spiagge da ripascere ed inoltre il monitoraggio della suddetta area durante la fase di prelievo della sabbia.

In considerazione dell'esperienza maturata in 20 anni di attività nel settore della difesa dal mare e nella ricerca di accumuli sabbiosi sottomarini dal gruppo tecnico di Idroser, confluito nel 1996 in ARPA-

Ingegneria Ambientale, la Regione ha incaricato ARPA, il 6 giugno 2000, di procedere all'esecuzione di tutte le attività sopra descritte.

Per la realizzazione di un progetto caratterizzato da un elevato grado di complessità, del tutto nuovo per il litorale emiliano-romagnolo, ARPA-Ingegneria Ambientale ha deciso di integrare le proprie competenze con quelle di strutture altamente specializzate nei settori dell'ingegneria e delle scienze del mare.

Sono stati così coinvolti:

- Istituto di Geologia Marina del CNR di Bologna, per la ricerca di dettaglio dell'area di prelievo in mare.
- IDROTEC Milano, per il supporto tecnico alla progettazione.
- ICRAM Roma, ARPA Daphne e il Dipartimento di biologia animale dell'Università di Modena per la caratterizzazione dell'area di prelievo in mare.

Da parte sua la Regione Emilia-Romagna ha nominato il responsabile del proprio Servizio di Difesa del Suolo di Ferrara come Responsabile del Procedimento ed inoltre si è assunta l'onere della gara d'appalto, della Direzione Lavori e del Collaudo.

Ricerche in mare per l'individuazione dell'area di prelievo della sabbia

Come accennato in precedenza, una vasta superficie di fondali marini antistanti il litorale emiliano-romagnolo, per un totale di circa 2000 km², è stata esplorata nel corso degli anni '80 e '90 mediante campagne geofisiche e geognostiche a maglia larga, finalizzate alla ricerca di accumuli sabbiosi da utilizzare per il ripascimento delle spiagge.

I risultati di questo lavoro sono stati riportati in volumi editi da Idroser per conto della Regione Emilia-Romagna. Di fatto, il primo di questi, pubblicato nel 1985, rappresenta il primo lavoro organico sul tema della ricerca di sabbia in mare uscito in Italia.

Nel momento in cui la Regione ha deciso di realizzare il 1° intervento di ripascimento con sabbie sottomarine, era indispensabile quindi procedere all'individuazione di un'area, ampia 1 km², da cui prelevare circa 1 milione di m³ di sabbia, avente caratteristiche compatibili con quelle delle spiagge da ripascere.

Prima di avviare la progettazione, si è così proceduto all'esecuzione di campagne geofisiche e geognostiche di dettaglio sui corpi sabbiosi scoperti con le ricerche Idroser.

Il lavoro è stato eseguito direttamente da ARPA-Ingegneria Ambientale con il supporto tecnico-scientifico dell'Istituto di Geologia Marina del CNR di Bologna ed ha riguardato 3 aree, denominate convenzionalmente A, B e C; la cui ubicazione è riportata nella Figura 3.

L'area A riguarda un rilievo morfologico individuato e studiato da Idroser Spa già nel 1987, ad una profondità di 34 m, su cui sono stati effettuati alcuni carotaggi nel 1988 e nel 1993. I risultati ottenuti con queste indagini preliminari portavano a considerare quest'area quella più interessante dal punto di vista della granulometria della sabbia.

L'area B è stata individuata come possibile accumulo di sabbia a seguito di ricerche geofisiche effettuate dall'Istituto di Geologia Marina nel 1992 nell'ambito della redazione della carta Geologica dei Mari Italiani, Foglio NL33 Ravenna (scala 1:250.000), giace su un fondale di 34 m e su di essa sono state effettuate quattro carote da ARPA-Ingegneria Ambientale nel 1996. I risultati ottenuti evidenziano che, sotto una coltre di circa un metro di limo, vi è presenza di sabbia per uno spessore di circa 1 m. L'interesse di quest'area è dato dalla sua vicinanza alla costa.

L'area C è stata individuata da Idroser Spa, su un fondale di 41 m, nel 1984, ed è costituita da due dossi lunghi circa 12-15 km ciascuno (Fig. 3).

Con l'obiettivo di individuare uno strato di sabbia avente uno spessore superiore a 1,5 m, per le tre aree A, B e C è stato progettato uno specifico programma di ricerca articolato in due campagne di indagini: una geofisica e una geognostica. L'indagine geofisica ad alta risoluzione permette di discriminare la successione degli strati subsuperficiali, mentre quella geognostica, grazie al prelievo di carote, evidenzia la natura degli stessi strati.

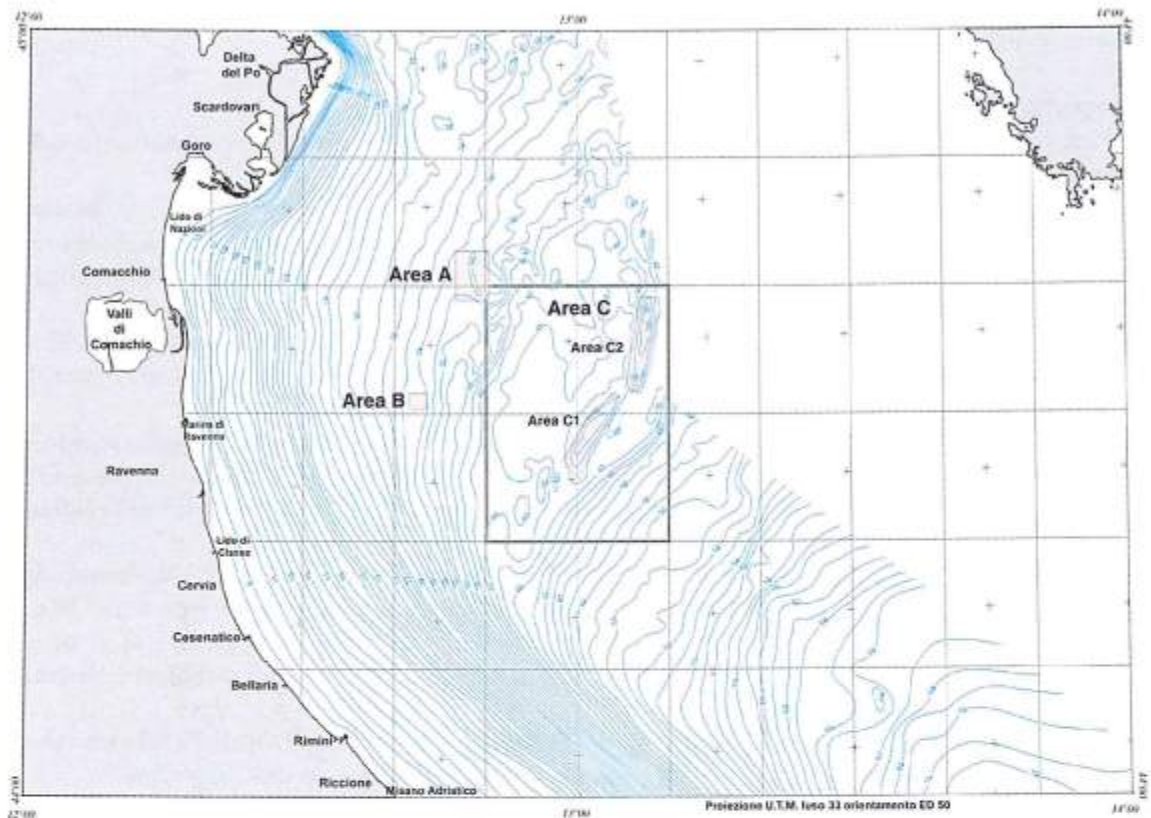


Figura 3 - Planimetria generale con le tre aree d'indagine.

Campagna Geofisica

Nelle aree A e B l'indagine geofisica è stata effettuata dall'Istituto di Geologia Marina con l'utilizzo della Nave Oceanografica Urania del CNR. È stato utilizzato un Sub Bottom Profiler tipo Chirp Sonar, con 16 trasduttori a bassa frequenza (2-7 kHz) montati in chiglia e un'unità di registrazione digitale che ha reso possibile l'acquisizione di profili sismoacustici di alta qualità. La tecnologia Chirp utilizza la trasmissione di un segnale a banda limitata, di durata temporale finita con "Modulazione di Frequenza Lineare", per cui gli impulsi incrementano il range dinamico del sistema di 20+30 dB rispetto ai Sub-Bottom tradizionali. A differenza di questi ultimi, in cui la risoluzione è inversamente proporzionale alla lunghezza dell'impulso, la risoluzione di un Chirp è proporzionale alla larghezza di banda dell'impulso trasmesso. Pertanto la capacità del Chirp di trasmettere impulsi di lunga durata con una larghezza di banda ampia, si traduce in un'immagine sonar a più alta risoluzione (fino a 4 volte superiore a quella dei sistemi operanti nella stessa gamma di frequenze) e, a causa del significativo aumento di energia trasmessa, in un maggiore range dinamico del sonar.

Nell'area A già oggetto di indagini nel 1988 e 1994, sono stati effettuati 360 km di profili in una superficie di 50 km². Il grigliato di acquisizione è costituito da profili orientati est-ovest distanti l'uno dall'altro 150 m e da profili orientati nord-sud distanti 300 m.

Nell'area B sono stati eseguiti 160 km di profili geofisici a maglia quadrata con lato di 300 m, su una superficie di 25 km².

Nell'area C, oggetto di una successiva campagna geofisica commissionata da ARPA alla G.A.S. s.a.s. di Bologna, sono stati acquisiti profili sismoacustici Chirp Sonar, utilizzando uno strumento con un minor numero di trasduttori trainato in profondità. L'utilizzo dei profili geofisici equidistanti circa 1 km acquisiti da Idroser Spa nel 1984 e di altri acquisiti nel 1992, '95 e '99 dall'Istituto di Geologia Marina, ha portato ad assegnare, per quest'area, un maggior peso all'indagine geognostica.

Nell'ultima campagna geofisica, per l'area C, sono stati raccolti profili per un totale di 110 km su una superficie di 131 km².

Campagna Geognostica

A partire dai risultati della campagna geofisica, è stata impostata la campagna geognostica con l'obiettivo di prelevare complessivamente 40 carote nelle tre aree A, B e C.

La campagna geognostica si è svolta in due fasi; la prima ha interessato le aree A e B, mentre la seconda l'area C e una piccola parte dell'area A dove occorreva completare il quadro d'indagine della prima fase. La prima fase è stata avviata il 29 Agosto 2000 e si è conclusa il 28 settembre 2000, mentre la seconda è stata eseguita a fine novembre 2000.

Al fine di ricavare elementi indicativi sulla natura dei sedimenti superficiali dei dossi dell'area C si è deciso di effettuare, prima della campagna geognostica, il prelievo di 12 campioni con una benna. Per eseguire il lavoro è stata utilizzata la motonave oceanografica Daphne II.

Nell'ambito delle operazioni a mare della campagna geognostica il posizionamento delle stazioni di campionatura è stato realizzato utilizzando un ricevitore GPS differenziale. Questo ricevitore GPS, interfacciato al sistema di navigazione, ha permesso di raggiungere con precisione i siti di campionatura, individuati in precedenza sui profili geofisici acquisiti.

Per le operazioni di carotaggio è stato utilizzato un vibrocarotiere AIMERS-MC LEAN con asta da 6 metri. L'utilizzo e il peso di questo strumento fa sì che, per essere calato in mare e riportato a bordo, il mezzo navale più idoneo sia il pontone, in quanto dotato di un braccio gru superiore ai 12 m e di un ampio spazio libero in coperta, indispensabile per effettuare le operazioni di recupero delle carote (Fig. 4).

La descrizione sedimentologica delle carote è stata eseguita nell'Istituto di Geologia Marina, che è provvisto delle attrezzature necessarie alla loro apertura e allo stoccaggio in cella frigorifera.

Risultati

L'analisi delle caratteristiche sedimentologiche e tessiturali delle sabbie rinvenute nei depositi trasgressivi tardoquaternari del bacino adriatico presenti nelle aree A, B e C ha portato a privilegiare l'area C ed in particolare la porzione centrale della zona C1, come area migliore per il prelievo di sabbia da destinare al ripascimento (Fig.5).

Inoltre, nella zona prescelta lo spessore della sabbia è di circa 3 m, è del tutto assente la copertura di materiali fini e nel complesso del sedimento la percentuale di argilla e limo non supera il 6%.

L'area A è stata scartata, pur essendovi corpi sabbiosi spessi 3 m, per l'elevata variabilità laterale degli stessi. Infatti, a 300 m di distanza da una carota effettuata nel 1993 che aveva evidenziato un livello di 3 m di sabbia, un'altra effettuata nel 2000 ha riportato 3 m di fango.

L'area B, la più vicina alla costa, è stata scartata per l'insufficienza del livello sabbioso (1 m) e per la presenza di 1 m di materiali fini in copertura.

Progettazione

Progetto preliminare

Come anticipato nei capitoli precedenti, obiettivo del progetto era la messa in sicurezza di 9 tratti del litorale dell'Emilia-Romagna che, in base all'esperienza di gestione della costa realizzata nell'ultimo ventennio, si erano rivelati particolarmente critici dal punto di vista della tendenza all'erosione della spiaggia e della vulnerabilità delle infrastrutture a terra.

A causa dell'erosione dell'arenile ad opera del mare, in queste zone si sono verificati infatti danni consistenti alle infrastrutture di spiaggia e ingressioni marine negli abitati e nelle aree ambientali di grande pregio retrostanti la spiaggia, durante mareggiate di forte intensità associate ad eventi di acqua alta. Visto che la messa in sicurezza delle spiagge regionali non poteva essere attuata con opere rigide, come



Figura 4 - Il carotiere utilizzato per la campagna geognostica 2000 in posizione verticale sul pontone.

dimostra il fatto che quattro dei 9 tratti da proteggere erano già difesi da una fitta serie di scogliere a mare e un quinto da un campo di pennelli molto ravvicinati, l'obiettivo poteva essere raggiunto unicamente allargando la spiaggia mediante apporto di sabbia.

Occorreva quindi attuare un significativo potenziamento del sistema spiaggia, basato su un innalzamento della quota e un allargamento verso mare dell'arenile, in modo da garantire la sicurezza di quanto sta al retro per un periodo di 5-10 anni.

Definite con le ricerche in mare le caratteristiche e la distanza dalla costa dell'area di prelievo della sabbia, occorre sviluppare lo studio, nell'ambito del progetto preliminare, delle modalità e dei mezzi di estrazione, trasporto e scarico della sabbia.

Per questo scopo potevano risultare di grande utilità le esperienze di riferimento derivanti dalla realizzazione d'altri interventi simili.

Infatti, negli ultimi 12 anni, sono stati attuati lungo le coste del Mediterraneo numerosi progetti di ripascimento artificiale con l'impiego di sedimenti prelevati al largo. Questa tecnica è stata largamente applicata in Spagna per la salvaguardia e la ricostituzione di spiagge e, più recentemente, anche in Italia, in particolare a partire dal 1995 per

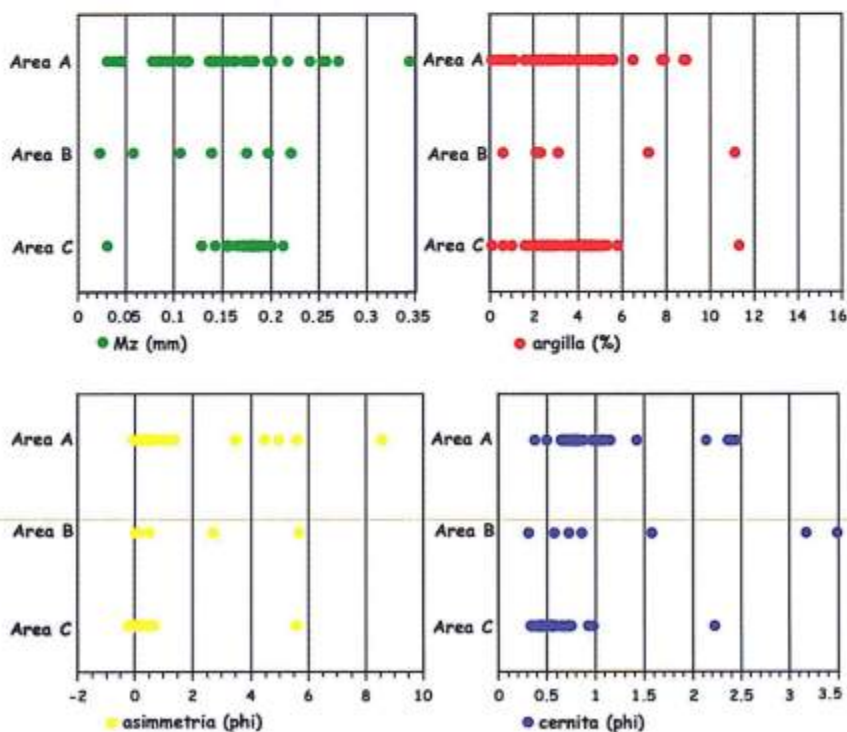


Figura 5 - Media (M_z), Classazione (σ_i), Asimmetria (Sk_i) e percentuale di frazione fine nei sedimenti delle tre aree considerate.

la protezione delle spiagge della laguna di Venezia e nel 1999 nel Lazio, per la protezione di un tratto della spiaggia di Ostia. In tutti i casi le modalità operative generali sono simili.

Per il dragaggio dei sedimenti nell'area del deposito sono state impiegate draghe a strascico autocaricanti e rifluenti. Completato il carico, la draga navigava fino alla zona del ripascimento e si ormeggiava nella posizione più prossima alla costa compatibile con il pescaggio a pieno carico. Nella maggior parte dei casi il refluento è avvenuto tramite una tubazione sommersa, in acciaio, posata tra la spiaggia e un terminale, posto su pontone, cui la draga si connetteva. Nei casi in cui la tubazione era molto corta sono state utilizzate tubazioni galleggianti, le tubazioni di questo tipo vengono comunque utilizzate poco per i rischi elevati di danni in caso di mareggiate ed i problemi di usura, costo e tempi di approvvigionamento. La miscela pompata sulla spiaggia è stata distribuita con tubazioni parallele alla battigia, prolungate e spostate secondo le necessità. Mezzi terrestri provvedevano a profilare il versamento.

Nel riportare questo schema operativo al caso emiliano-romagnolo, è emersa una specificità che si è tradotta ben presto in un notevole problema da risolvere in sede progettuale.

Stante l'elevata profondità dei depositi sottomarini (40 m) e l'elevata distanza dalla costa degli stessi (circa 30 miglia) l'esecuzione del lavoro richiedeva il ricorso ad una grossa draga.

Un mezzo navale di questo tipo ha però un pescaggio a pieno carico di circa 8,5 m per cui per ovvie ragioni di sicurezza non può operare a profondità inferiore ai 10 m.

Le pendenze del fondale davanti al litorale regionale sono del tutto simili a quelle della laguna Veneta e di Ostia nelle zone di Misano e Riccione, cioè a sud, per cui la draga può avvicinarsi alla costa per il refluento fino a circa 2 km. Più a nord invece, davanti a Cesenatico e Cervia, la batimetrica dei 10 m è a circa 5 km dalla costa, il che comporta la necessità di costruire tubazioni molto lunghe, mai realizzate negli interventi effettuati nel Mediterraneo.

Per superare questo ostacolo è stata presa in esame anche la possibilità di creare una zona di deposito intermedio della sabbia prossima alla costa, su un fondale di 12-14 m.

L'ipotesi presentava elementi di notevole interesse non solo ai fini della realizzazione dell'intervento, ma anche per la necessità di manutenzioni future. Per questo, la sua fattibilità è stata sviluppata a tutti i livelli, verificandone anche i costi con alcune imprese di dragaggio. Per costruire la zona di deposito si potevano utilizzare le draghe di elevata produttività dell'ultima generazione (Jumbo dredgers) e per riprendere i materiali mezzi di dimensioni inferiori che possono avvicinarsi a costa. Alla fine, in accordo con gli Uffici Regionali competenti, questa ipotesi è stata abbandonata.

La ragione principale alla base di questa scelta è la natura del fondale, costituito da fanghi molli, nelle aree più indicate per la costituzione del deposito di stoccaggio. Un ingente volume di sabbia sarebbe servito infatti per consolidare un simile terreno e in ogni caso restava sempre il rischio di movimentare insieme fanghi e sabbie nella fase di ripresa, quando invece le sabbie al largo sono praticamente prive di materiali fini.

A questo punto, il progetto preliminare doveva necessariamente far riferimento alla metodologia del trasporto diretto da parte di un'unica draga.

Dopo aver esaminato accuratamente le caratteristiche di un notevole numero di draghe si è visto che, pur con qualche accorgimento, l'operazione poteva essere sviluppata.

La progettazione preliminare veniva così completata con gli schemi di intervento per ognuno dei 9 siti e con un computo metrico preliminare, che consentiva una stima dei costi e il relativo quadro economico.

Dopo aver definito in 10 ore il ciclo operativo della draga (carico, navigazione, ormeggio, pompaggio, disormeggio e navigazione) si è definito il prezzo unitario della sabbia posta in opera valutandola in 22.000 £/m³.

Il progetto è stato così realizzato secondo lo schema descritto in precedenza, con l'aggravio dei costi derivanti dalla realizzazione di tubazioni lunghe 4-5 km e dai tempi di pompaggio più lunghi a causa della maggior diluizione della miscela acqua-sabbia che, mediamente è composta per l'80% d'acqua e il 20% da sabbia.

Progetto esecutivo

Definite nel progetto preliminare le modalità di esecuzione del dragaggio trasporto e scarico della sabbia, oltre che gli schemi d'intervento per ognuna dei singoli tratti da ripascere, si è passati alla progettazione esecutiva.

Occorre precisare che, pur essendo già definiti a priori il numero dei tratti da ripascere e i relativi finanziamenti, per cui, una volta definito il prezzo unitario anche il volume della sabbia risultava in qualche misura vincolato, tutta la fase progettuale è stata preceduta e accompagnata da una notevole mole di studi finalizzati alla caratterizzazione fisico-ambientale dei 55 km del litorale regionale interessati dall'intervento.

Tali studi hanno riguardato: il clima meteomarinico, la subsidenza, gli apporti fluviali, la sedimentologia e il regime del litorale

I risultati di questi studi sono stati riportati in un elaborato del progetto esecutivo dal titolo "Relazione specialistica idraulico-marittima".

La base conoscitiva acquisita con i suddetti studi ha permesso di elaborare per ognuno dei 9 siti uno specifico progetto esecutivo.

Gli elaborati grafici di progetto riportano, per ogni spiaggia, gli elementi di valutazione sulle tendenze evolutive rilevate negli ultimi anni ed in particolare nel periodo recente, e quindi la documentazione sui fenomeni che gli interventi di progetto debbono contrastare.

Il criterio di progetto che è stato utilizzato consiste nel realizzare, nei tratti più vulnerabili, un versamento tale da assicurare il mantenimento di una spiaggia più ampia ed a quota superiore di quella attuale per un periodo di 5-10 anni.

Definiti i quantitativi per ogni sito (Tab. 1), si è studiata la sezione del versamento e la planimetria dello stesso con i seguenti criteri:

- si è previsto un ripascimento della parte alta della spiaggia emersa a quota il più possibile elevata compatibilmente con le quote della spiaggia e delle infrastrutture esistenti. La sagoma emersa del versamento compresa tra il limite a terra ed una linea definita quale "linea di riferimento" rappresenta la sagoma da rispettare nella costruzione;
- per la pendenza a mare rispetto alla "linea di riferimento" si è imposto un valore medio di 1:20. Questa pendenza rappresenta una valutazione della pendenza media subito dopo il versamento ed ha lo scopo di individuare la forma del versamento necessaria per fornire le quantità previste, quantità che rappresentano l'obiettivo progettuale da conseguire;
- si è quindi studiata la disposizione planimetrica del versamento in modo da ottenere i quantitativi locali previsti ed evitare configurazioni molto diverse da quelle naturali, che sarebbero soggette a perdite per trasporto longitudinale più elevate di quelle attuali;
- con l'uso di modelli matematici si è studiata per 2 situazioni campione (Milano Marittima e Riccione) l'evoluzione della forma del profilo trasversale del versamento e della planimetria, in modo da verificare che gli effetti di mareggiata non determinassero asportazioni di materiali tali da creare situazioni di rischio.

Come si vede, stante i limiti del finanziamento (£ 21.580.000.000) e la lunghezza complessiva dei tratti da ripascere (10,1 km), i quantitativi unitari di sabbia sono in genere inferiori ai 100 m³ per metro lineare. Un quantitativo decisamente modesto se riferito agli interventi di Pellestrina (≈ 400 m³/m) o di Ostia (≈ 300 m³/m).

Nel progetto esecutivo è stato ulteriormente approfondito il problema del refluito diretto della sabbia dalla draga alla spiaggia, già affrontato nel progetto preliminare. Si è considerato che per evitare eccessive perdite di tempo negli spostamenti delle tubazioni, in tutti i 9 tratti, una soluzione ottimale poteva essere quella di creare 3 punti di scarico diretto nelle 3 località principali e di rifornire le altre spiagge con una seconda movimentazione da effettuare con autocarri. Questa impostazione è riportata nella planimetria generale del progetto (Fig. 6).

Tabella 1 - Spiagge oggetto di intervento, lunghezza dei tratti da ripascere e versamenti di sabbia previsti dal progetto esecutivo.

Località	Lunghezza del tratto interessato (m)	Versamento previsto (m ³)
Misano Adriatico	1.650	168.000
Riccione (tratto Sud)	2.200	208.000
Igea Marina	1.300	70.000
San Mauro a Mare e Savignano a Mare	550	27.000
Gatteo a Mare	600	18.000
Zadina	1.300	40.000
Milano Marittima	1.500	145.000
Lido di Classe-Foce Bevano	1.000	66.000
Totali	10.100	742.000

Per ogni spiaggia sono stati quindi descritti gli interventi eseguiti e l'evoluzione recente, le caratteristiche del fondale, le linee di riva di partenza e quella di versamento, nonché i profili di versamento per sezioni distanti 100-200 m l'una dall'altra.

L'iter per l'approvazione del progetto si è sviluppato attraverso diversi passaggi avvenuti nel periodo giugno-settembre 2001. ARPA Ingegneria Ambientale ha infatti consegnato il progetto alla Regione il 31 maggio 2001.

I mesi di giugno e luglio sono stati occupati dai tempi tecnici richiesti dall'espletamento della procedura di verifica ambientale (screening), così come previsto dalla normativa regionale in materia. In questo periodo sono stati acquisiti dalla Regione anche i pareri favorevoli da parte dei 9 comuni interessati.

Per l'approvazione del progetto, il Responsabile del Procedimento ha convocato la Conferenza dei

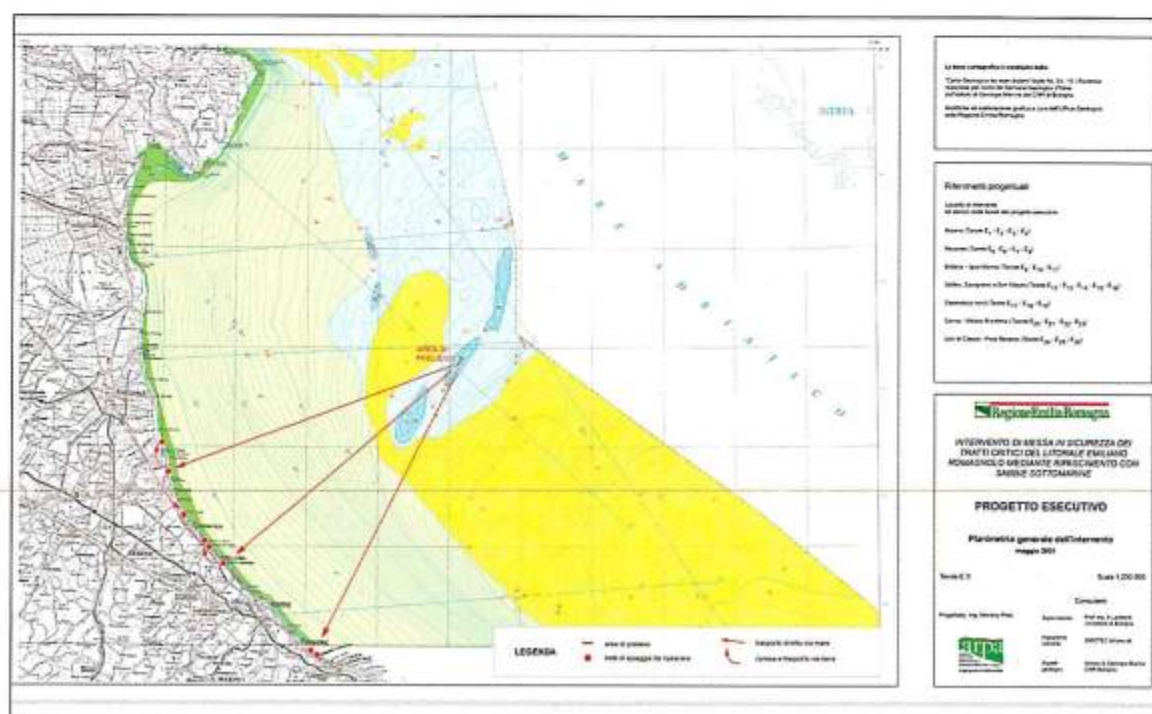


Figura 6 - Planimetria generale del progetto esecutivo.

Servizi per il giorno 7 agosto, ottenendo parere favorevole. In quella sede i rappresentanti del Ministero dell'Ambiente hanno fatto presente però che, in base ad una recente circolare ministeriale, il decreto autorizzativo da parte dello stesso Ministero era subordinato alla discussione del progetto e al voto delle Commissioni Consultive della Pesca interessate.

A seguito delle riunioni delle suddette commissioni avvenute il 21 agosto a Rimini e il 22 agosto a Ravenna, il Ministero dell'Ambiente ha emanato, il giorno 11 settembre, il Decreto con cui autorizzava la Regione a dragare un milione di m³ di sabbia dall'area di 1 km² indicata dal progetto, per il ripascimento dei 9 tratti di spiaggia considerati.

Il 26 settembre veniva così pubblicato sui quotidiani il bando di gara.

Descrizione dell'intervento

La gara europea per la realizzazione dell'intervento, indetta per conto della Regione dall'Ufficio Difesa del Suolo di Ferrara, si è chiusa il 16 ottobre 2001.

I lavori sono stati assegnati ad un'impresa italiana (Mantovani di Padova) supportata, in quanto a mezzi navali, da un'impresa di dragaggio olandese (Ham).

In sede progettuale la durata complessiva del lavoro era stata fissata in 6 mesi, di cui 2 per la preparazione del cantiere e l'esecuzione dei rilievi di 1° pianta a terra, oltre che per l'esecuzione delle operazioni di bonifica degli ordigni bellici nell'area al largo.

In considerazione del vincolo costituito dal blocco dei lavori lungo costa durante la stagione balneare, posto dalle Autorità Marittime, i 6 mesi suddetti sono stati fissati dal 1° novembre 2001 al 30 aprile 2002.

In realtà il primo importante lavoro, l'assemblaggio delle tubazioni, è iniziato ai primi di gennaio 2002, con un ritardo quindi di 2 mesi rispetto alle previsioni del progetto esecutivo.

Per recuperare il ritardo e rispettare la data del 30 aprile, l'impresa ha impostato un programma di lavoro basato sull'annullamento dei tempi di sosta della draga, derivanti dallo spostamento della tubazione di refluitamento da un sito all'altro.

Secondariamente, si è posta l'obiettivo di realizzare il più alto numero possibile di interventi direttamente da mare, evitando così la seconda movimentazione via terra della sabbia con gli autocarri, che avrebbe comportato un allungamento dei tempi.

Per conseguire questi obiettivi sono state realizzate 2 tubazioni, del diametro di 800 mm, lunghe rispettivamente 2 e 4 km.

Le spiagge di Riccione e Cervia sono state scelte come aree di cantiere a terra per l'assemblaggio delle tubazioni in quanto sono prossime alle aree di intervento, molto larghe e lunghe e facilmente raggiungibili dall'autostrada.

Gli spezzoni modulari delle tubazioni, lunghi 9 – 12 m, sono stati portati su queste spiagge mediante autocarri direttamente dalla Germania e dall'Olanda (Fig. 7).

Questi tubi, dello spessore di 20 mm, in parte erano nuovi e in parte già usati per lavori analoghi. Sulla spiaggia, tre squadre specializzate, supportate da apposite strutture mobili, hanno saldato per tutto il mese di gennaio i vari spezzoni di tubo tra di loro. In tal modo, sono state realizzate due tubazioni lunghe più di 2 km ciascuna sulla spiaggia di Cervia e una terza tubazione da 2 km su quella di Riccione (Fig. 8). Terminato questo lavoro, le tubazioni sono state chiuse alle estremità (Fig. 9), quindi spinte da mezzi terrestri in mare.

Una volta in mare, ogni tubazione (in quanto galleggiante) è stata agganciata da un mezzo navale e spostata lungo costa fino alla zona di cantiere, dove un mezzo terrestre l'ha ripresa e portata con un'estremità sulla spiaggia (Fig. 10).

L'altra estremità a mare è stata collegata ad un tratto di circa 100 m di tubazione galleggiante, dotata di un apposito giunto di attacco con la tubazione della draga durante la fase di refluitamento (Fig. 11). Il tratto galleggiante della tubazione è indispensabile per la connessione con la draga perché, tolte le piastre di chiusura alle estremità, la tubazione d'acciaio viene calata sul fondo marino.

Per far sì che la draga potesse lavorare 24 ore su 24 ore, l'impresa ha destinato la tubazione di 2 km,



Figura 7 - Riccione: operazione di scarico dei tubi trasportati via terra dal nord Europa.

realizzata a Riccione, agli interventi dell'area sud, dove i fondali sono più acclivi, per cui la draga può avvicinarsi maggiormente alla costa. I due tubi da 2 km ciascuno, realizzati a Cervia, sono stati giuntati in modo da ottenere una tubazione di 4 km, da destinare al ripascimento delle spiagge più a nord, aventi il fondale antistante a leggera pendenza.

In questo modo, quando una tubazione veniva rimessa in galleggiamento, sostituendo aria all'acqua, per spostarla in un altro cantiere, la draga continuava ad operare sull'altra tubazione.

Il lavoro è proceduto così senza intoppi significativi, con un'unica interruzione di 10 giorni consecutivi dovuta al collegamento difettoso tra le due tubazioni di 2 km ciascuna: la riparazione del guasto è stata ritardata da 6 giorni di mare agitato e da 4 giorni di sospensione del lavoro da parte delle Autorità Marittime competenti, per ragioni di sicurezza della navigazione durante il periodo pasquale.

Il primo viaggio della draga è avvenuto il 13 febbraio con destinazione Riccione sud. Durante le prime settimane, il ciclo tipico della draga è risultato di 10 ore, identico quindi a quello di progetto, ed era, per un apporto di circa 6.000 m³, così articolato:

– Carico	169 minuti
– Viaggio a pieno carico	138 minuti
– Pompaggio	120 minuti
– Attacco e distacco	20 minuti
– Pulizia tubi	19 minuti
– Viaggio a vuoto	133 minuti

Nelle ultime settimane, forse anche per la riduzione del carico resa necessaria dal dover operare in sicurezza su fondali inferiori ai 10 m, i tempi di un ciclo medio si sono relativamente ridotti, avvicinandosi alle 8 ore.



Figura 8 - Spiaggia di Cervia: in alto, distribuzione lungo due linee dei singoli tubi; in basso, struttura mobile adibita alla saldatura dei singoli elementi.



Figura 9 - In alto: tubazione pronta per il varo sulla spiaggia di Cervia; in basso: piastra di chiusura degli estremi della tubazione per renderla galleggiante.



Figura 10 - In alto: tubazione in galleggiamento manovrata da un mezzo navale durante la fase di avvicinamento alla spiaggia; in basso: la stessa tubazione viene agganciata da una pala meccanica per essere tirata sulla spiaggia.



Figura 11 - Spiaggia di Cervia: operazioni di collegamento tra il segmento galleggiante e la tubazione in acciaio; in basso: in evidenza la congiunzione tra la tubazione della nave e il tratto galleggiante collegato alla tubazione di mandata a terra.

Per quanto riguarda l'esecuzione del ripascimento a terra, due sono le modalità più interessanti che si sono potute riscontrare. Precisato che il ripascimento avviene in avanzamento, quindi aggiungendo tubi flangiati alla tubazione posta lungo la spiaggia, la prima modalità è basata sulla ricostruzione della spiaggia ad opera della sabbia distribuita dal flusso dell'acqua che fuoriesce dal tubo (il ripascimento si spinge così fino al primo tratto della spiaggia sommersa), mentre la seconda si basa sulla realizzazione di un argine a mare (Fig. 12), costruito da alcuni mezzi a terra nell'intervallo tra un viaggio e l'altro della draga, che obbliga la miscela acqua-sabbia a scorrere lungo la spiaggia per più tempo dando modo ad un maggior volume di sabbia di depositarsi; si ottiene così un maggior rialzo della spiaggia, ma anche un maggior gradino tra spiaggia emersa e sommersa.

L'ultimo viaggio della draga è avvenuto il 6 maggio verso la spiaggia antistante la zona ad alto pregio naturalistico, quindi priva di stabilimenti balneari, compresa tra Lido di Classe e la foce del torrente Bevano. Sulla stessa sono state poi fatte convergere tutte e tre le tubazioni da 2 km per essere rizeionate e gli spezzoni trasportati verso altri cantieri (Fig. 13).

In Figura 14, la descrizione delle modalità e tecniche di realizzazione del lavoro sopra riportata viene integrata con la rappresentazione di due elementi costruttivi specifici.

Monitoraggio

In Italia la movimentazione di materiale in ambito marino e litoraneo è subordinata alle indicazioni del Decreto del Ministero dell'Ambiente del 24 gennaio 1996. Il progetto di ripascimento delle spiagge emiliano-romagnole con circa 800.000 m³ di sabbie sottomarine poteva quindi essere realizzato solo a seguito dell'emissione di un apposito decreto autorizzativo da parte del Ministero dell'Ambiente.

A tal fine, fin dalle prime fasi della progettazione, sono stati contattati i funzionari preposti del suddetto Ministero per definire il programma di massima per la tutela e il monitoraggio dell'area di prelievo. In accordo con ICRAM ed altri Istituti scientifici coinvolti, è stato in seguito definito un articolato programma di caratterizzazione dell'area di prelievo da realizzare prima dell'avvio delle operazioni di dragaggio.

Come accennato precedentemente, l'area di prelievo dista circa 30 miglia dalla costa e corrisponde ad un rettangolo di 500 m x 2000 m di lato, lo spessore della sabbia è di circa 3 m.

Per caratterizzare l'area in tutti i suoi aspetti sono state individuate 9 stazioni di riferimento (diventate poi 10) di cui 3 interne all'area, tutte comunque disposte su due transetti perpendicolari tra loro ed intersecantisi al centro dell'area (Fig. 15). In ogni stazione sono state acquisite, nella primavera 2001, con la motonave Daphne II ed altre imbarcazioni, informazioni relative ai parametri fisico-chimici dell'acqua (trasmissanza, pH, salinità, temperatura, ossigeno disciolto, clorofilla "a" e nutrienti) e dei sedimenti (descrizione macroscopica dei materiali, granulometria, contenuto di elementi in tracce, IPA, PCB, sostanze organoclorurate, sostanza organica), biologici (campionamento della fauna macrobentonica e campagna di pesca a strascico, per la definizione delle specie demersali), e microbiologici dei sedimenti (analisi batteriologiche e virologiche).

In seguito sono state realizzate attività di rilievo indiretto volte alla definizione delle caratteristiche fisiografiche del fondale, tramite Side Scan Sonar e Multibeam.

Contemporaneamente alla caratterizzazione dell'area di prelievo, ARPA Ingegneria Ambientale con la collaborazione delle Sezioni provinciali dell'ARPA di Rimini, Ravenna, Forlì e Ferrara, ha caratterizzato le spiagge da ripascere. I risultati di tutte le attività di caratterizzazione sono stati riportati in due specifici elaborati del progetto esecutivo.

Per verificare l'impatto delle attività di dragaggio sull'ambiente, sul benthos e sulla pesca, sono state realizzate 3 campagne di monitoraggio in corso d'opera nell'area di prelievo e in quella circostante, con prelievo di campioni dalle stesse stazioni individuate durante la fase di caratterizzazione, eseguendo inoltre rilievi Side Scan Sonar, Multibeam e tirate di pesca.



Figura 12 - Modalità di distribuzione della sabbia. In alto: la spiaggia di Riccione ricostruita dal libero fluire verso mare della miscela acqua sabbia. In basso: la spiaggia di Milano Marittima ricostruita contenendo il flusso acqua sabbia con un argine lato mare.



Figura 13 - Operazioni di recupero e risonatura delle tubazioni a fine lavori.



Figura 14 - Particolari costruttivi delle condotte di mandata della sabbia. In alto: giunto a testata sferica per il collegamento tra due tubazioni lunghe 2 km ciascuna. In basso: elemento a 3 vie, con valvole, per il collegamento della tubazione sommersa di mandata dalla nave con le tubazioni di distribuzione della sabbia sulla spiaggia.

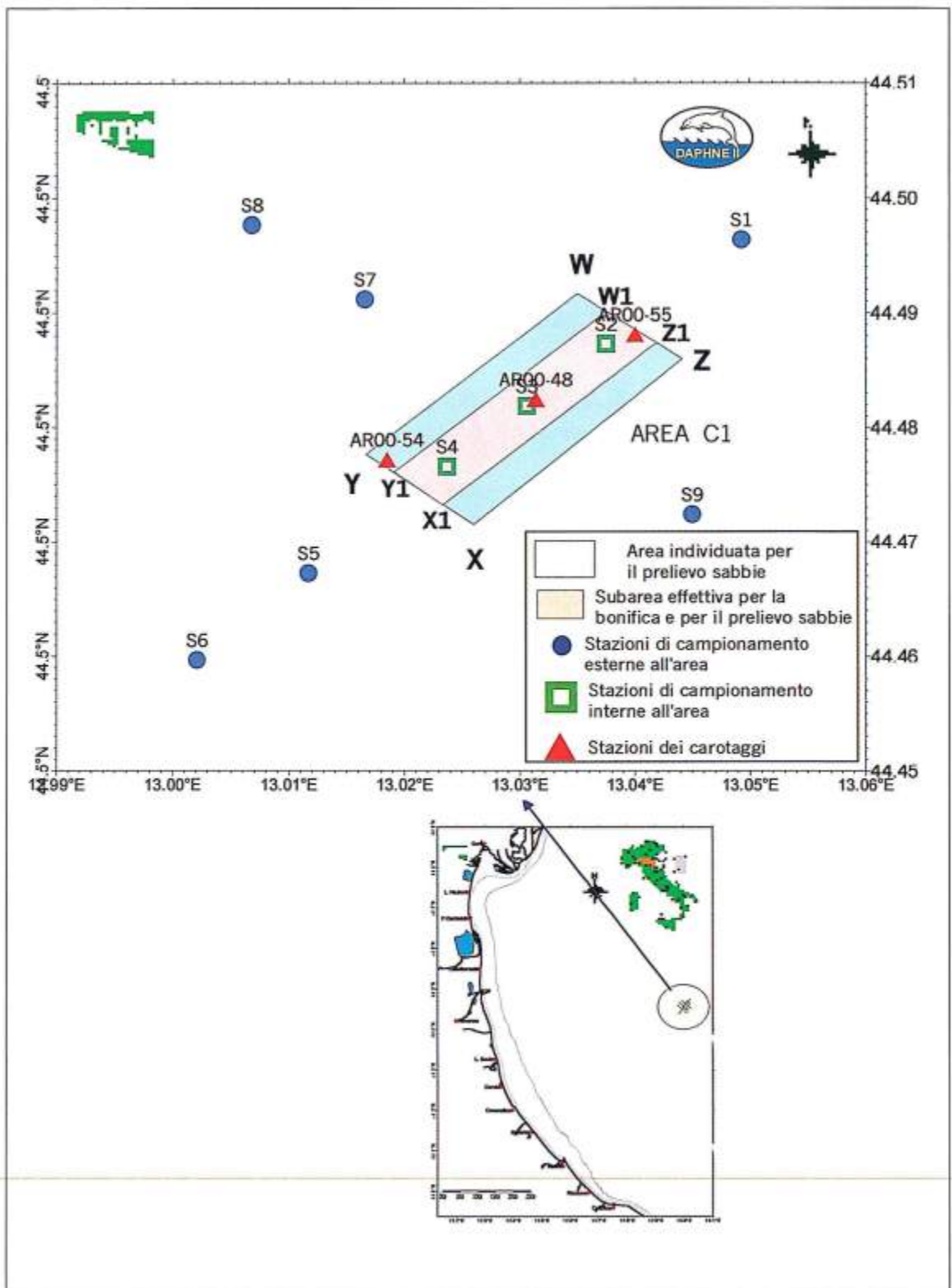


Figura 15 - Distribuzione delle stazioni di campionamento e di misura per la caratterizzazione dell'area di prelievo delle sabbie per il ripascimento delle spiagge dell'Emilia-Romagna.

Terminati i lavori, la Regione Emilia-Romagna ha incaricato ARPA di verificare tempi e modalità di ricolonizzazione dell'area da parte delle diverse specie bentoniche e più in generale l'evoluzione dell'intera area di prelievo, mediante l'esecuzione di 5 campagne di monitoraggio da eseguire nel periodo 2002-2005. Il monitoraggio riguarderà anche l'evoluzione delle spiagge oggetto di intervento.

È importante sottolineare che uno dei vincoli principali del progetto, ribadito dal decreto autorizzativo del Ministero dell'Ambiente, era il rispetto da parte della draga dell'area di 1 km² assegnata per il dragaggio della sabbia.

Per evitare il possibile verificarsi di violazioni dei limiti dell'area assegnata, è stato impostato un doppio sistema di controllo: in continuo, mediante un'apposita strumentazione installata sulla nave e relativa stazione di controllo presso la Capitaneria di Porto di Ravenna, che permetteva di localizzare in ogni istante rotta e posizione della draga; periodico, mediante rilievi Side Scan Sonar e Multibeam. A lavori finiti è risultato comunque un rispetto pressoché totale dei limiti dell'area assegnata.

Conclusioni

Nei primi cinque mesi del 2002, la Regione Emilia-Romagna ha realizzato il primo intervento di difesa del proprio litorale mediante il ripascimento con sabbie sottomarine di 9 tratti di spiaggia in stato di forte criticità.

A partire dalle prime fasi della redazione del progetto preliminare, questo intervento ha evidenziato una serie di specificità che lo rendevano del tutto diverso dagli altri realizzati nella laguna Veneta e a Ostia, e più in generale in Europa. Queste caratteristiche peculiari sono:

- elevata distanza dalla costa (30 miglia) e profondità (40 m) dell'area di prelievo in mare;
- elevato numero di tratti di spiaggia da ripascere (9);
- modesta pendenza dei fondali sottocosta (a Cesenatico la -10 m è a 5 km);
- ridotto volume di sabbia da apportare per metro lineare di spiaggia ($\leq 100 \text{ m}^3$);
- presenza su 5 dei 9 tratti da ripascere di scogliere o pennelli;
- vincolo a non operare durante la stagione balneare (maggio-settembre).

Tali problematiche hanno reso il progetto altamente complesso e conseguentemente le soluzioni adottate altamente innovative.

A fine lavori risulta che, in 72 giorni, una draga della capacità di 6000 m³ ha portato circa 800.000 m³ di sabbia di ottima qualità su 10 km di costa, frazionati in 9 tratti distinti, a loro volta distribuiti su 55 km di litorale.

In tutti i 9 siti, il ripascimento è stato effettuato direttamente dalla draga, quindi senza il ricorso al trasporto via autocarro, per cui l'impatto ambientale a terra è stato minimo.

L'allargamento dell'arenile è stato mediamente di 30-40 m, ma a Riccione sud sono stati raggiunti i 70 m (Fig. 16).

Gli operatori balneari delle aree interessate, che da anni mal sopportano il via vai dei camion che a primavera portano la sabbia dalle cave, hanno assistito, tra l'incredulo e lo stupefatto, al rapido allargamento della loro spiaggia.

Tre erano gli aspetti che, già in fase di progettazione risultavano potenzialmente in grado di intaccare la portata dell'intervento e di ridurre il gradimento da parte degli operatori di spiaggia e più in generale dell'opinione pubblica. Tutti e tre sono diventati puntualmente, in qualche misura, oggetto di cronaca.

Il primo è il colore della sabbia dei dossi sottomarini che inizialmente non era "bionda" come quella delle attuali spiagge, ma grigia. Il tema è passato però subito in secondo piano sia perché ha prevalso la soddisfazione derivante dal forte allargamento della spiaggia, sia perché dopo pochi giorni, il grigio iniziale si è notevolmente attenuato ed infine perché il progetto prevedeva la ricopertura della sabbia apportata con quella di spiaggia, preventivamente accumulata.

Il secondo aspetto, che ha provocato qualche perplessità, è il notevole quantitativo di gusci di molluschi presenti nelle sabbie portate sulla spiaggia di Riccione durante la prima settimana di lavori. Anche



Figura 16 - Riccione sud: la spiaggia prima e dopo l'intervento di ripascimento.

questo tema si è presto stemperato perché lo strato conchigliare è presente nella parte sommitale dell'area di prelievo, quindi con il procedere del dragaggio la percentuale delle conchiglie è via via diminuita. La presenza di conchiglie fossili, aventi un'età di 8-9.000 anni e dimensioni insolite per la costa romagnola, è diventata al contrario una nota di colore in quanto ha destato la curiosità di moltissime persone che armate di paletta e sportina si sono dedicate alla loro raccolta.

Un peso ben diverso ha avuto il terzo tema, ovvero l'impatto ambientale provocato dal dragaggio nell'area al largo, anche perché è stato fatto proprio dalle associazioni di categoria dei pescatori. I loro rappresentanti sostenevano infatti che l'area di dragaggio aveva un elevato valore ambientale perché era all'interno di una zona di riproduzione ittica. Quest'affermazione è stata negata dagli Istituti scientifici specializzati. In ogni caso, la Regione si è impegnata a verificare le modalità e i tempi di ricolonizzazione dell'area da parte delle diverse specie bentoniche, affidando ad ARPA l'incarico per eseguire un articolato programma di monitoraggio negli anni che vanno dal 2002 al 2005.

Per dare risposte certe ai pescatori sui risultati del monitoraggio, la Regione ha inoltre allestito un tavolo di lavoro, presieduto dall'Assessore alla Difesa del Suolo e della Costa, a cui partecipano i rappresentanti delle categorie della pesca, i funzionari regionali interessati e il responsabile del monitoraggio per conto di ARPA.

Nel momento in cui spiagge ridotte a pochi metri di larghezza, da decenni di erosione, sono state ampliate al punto da ritornare alle dimensioni di 30-40 anni fa, le domande che ora tutti si pongono sono: ma quanto tempo resta questa sabbia? e, quando si farà un altro intervento simile?

Queste domande sono, da un lato la conferma dell'elevato gradimento ottenuto dall'intervento appena terminato, dall'altro il presupposto da cui partire per impostare un'avanzata politica di difesa dei litorali, basata su un approccio di tipo gestionale. Prima ancora della gestione integrata della zona costiera, che resta comunque l'obiettivo di fondo su cui si sta indirizzando la giunta della Regione Emilia-Romagna, si può facilmente attuare una politica di gestione degli interventi di difesa.

È sufficiente infatti continuare a sviluppare l'esperienza maturata negli ultimi 20 anni, basata sull'attuazione degli indirizzi forniti dai 2 studi di pianificazione della costa del 1981 e del 1996, supportandola con un adeguato flusso di risorse finanziarie.

In questo periodo infatti, pur tra mille difficoltà, la difesa del litorale in Emilia-Romagna è stata attuata in gran parte operando all'interno di una visione complessiva dei processi, con chiari obiettivi di recupero dei valori ambientali e ottimizzazione delle risorse, quindi nel rispetto dei principi della gestione integrata.

Lo testimoniano le politiche attuate dalla Regione, finalizzate alla riduzione della subsidenza, al ripristino del trasporto solido a mare da parte dei fiumi, a scoraggiare il prolungamento dei moli portuali e la costruzione di nuove scogliere e l'applicazione su larga scala del ripascimento (destinando a questo anche la parte migliore del materiale dragato nei porti). Diversamente non si può escludere un ritorno al passato. Non va dimenticato infatti che, fino alla realizzazione dell'intervento con sabbie sottomarine, per la maggior parte degli operatori turistici la difesa dall'erosione veniva fatta coincidere con l'opera rigida, quindi con le scogliere, un tempo emerse, ultimamente sommerse.

Si tratta di una visione culturale, pur comprensibile, legata al conseguimento d'interessi economici di breve periodo, che sconta però la mancanza di una visione d'insieme del litorale e delle cause del suo dissesto e non considera il forte impatto ambientale che le opere rigide determinano.

Questa cultura va quindi superata, perché senza un'alta qualità ambientale non può esserci sviluppo dell'economia turistico-balneare.

Bibliografia

- AA.VV. (1981) - *Piano progettuale per la difesa della costa adriatica emiliano-romagnola*. IDROSER, Bologna.
- AA.VV. (1996) - *Progetto di piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna*. IDROSER, Bologna.
- AA.VV. (1997) - *Carta geomorfologica della pianura padana, Carta altimetrica e dei movimenti verticali del suolo della pianura padana*. M.U.R.S.T, Edizione S.E.L.C.A, Firenze.
- Antoniazzi A. 1976 - *L'erosione marina nel litorale tra Cervia e Pesaro*, C.C.I.A.A., pp.161, Forlì.
- Arca S. e Beretta G.P. (1985) - *Prima sintesi geodetica-geologica sui movimenti verticali del suolo dell'Italia settentrionale*. Boll. Geod. Sc. Aff., XLIV/2: 125-126.
- Bondensan M., Calderoni G., Dal Cin R. (1978) - *Il litorale delle province di Ferrara e Ravenna (Alto Adriatico). Evoluzione morfologica e distribuzione dei sedimenti*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 97: 247-287.
- Bondensan M., Castiglioni G.B., Elmi C., Gabbianelli G., Marocco R., Pirazzoli P.A. e Tomasin A. (1995) - *Coastal Areas at Risk from Storm Surges and Sea - Level Rise in Northeastern Italy*. Journal of Coastal Research, 11: 1354-1379.
- Brambati A. (1984) - *Erosione e difesa delle spiagge adriatiche*. Boll. Oceanol. Teor. Appl. 2: 1-15.
- Bruun P. (1962) - *Sea level rise as a cause of shore erosion*. Proc. ASCE J Waterways Harbour Coastal. 88: 1-117.
- Cecconi G. (1999) - *La protezione dell'ambiente lagunare e costiero Veneziano*. In 17° giornata sull'ambiente. Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, Atti del Convegno Lincei, 161: 157-173.
- Cecconi G. (1997) - *Venezia e il problema delle acque alte. Il rischio di danno al patrimonio urbano a causa della crescita relativa del livello del mare*. Consorzio Venezia Nuova, Quaderni trimestrali, 2: 23-44.
- Cencini A., Cuccoli L., Fabbri P., Montanari F., Semboloni F., Torresani S. e Varani L. (1979) - *Le spiagge di Romagna: uno spazio da proteggere*. Prog. Final. Conserv. Suolo - Sottopr. Dinamica Litorali, C.N.R. Bologna. Quaderno N. 1: 1-159.
- Ciabatti M. (1968) - *Ricerche sull'evoluzione del Delta Padano*, Giorn. Geol., Ser. II XXXIV, 2: 1-26.
- Colantoni P., Gallignani P. (1978) - *Ricerche sulla piattaforma continentale dell'Alto Adriatico*. Progetto Finalizzato Oceanografia e Fondi Marini, Quaderno n. 1: 1-113.
- Colantoni P., Gallignani P. (1980) - *Ricerche sulla piattaforma continentale dell'Alto Adriatico*. Progetto Finalizzato Oceanografia e Fondi Marini, Quaderno n. 2: 1-87.
- Colantoni P., Preti M., Villani B. (1990) - *Sistema deposizionale e linea di riva olocenica sommersi in Adriatico al largo di Ravenna*. Giorn. Geol., 52, pp. 1-18.
- Correggiari A., Roveri M., Trincardi F. (1996) - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. Il Quaternario, 9: 697-704.
- Fabbri et al. *Carta geologica dei mari italiani*, foglio NL33-10 Ravenna, 1:250.000, Ist. Pol. e Zecca dello Stato, in corso di stampa.
- Lupino P. (2000) - *Giornata di studio sulla difesa delle coste. Esperienze e nuove prospettive nella difesa dei litorali*. Relazione Convegno Regione Lazio, 27 ottobre.
- Pirazzoli P.A. (2000) - *Cambiamenti globali e variazione del livello del mare: meccanismi e tendenze evolutive*, da Mare e Cambiamenti Globali. Aspetti scientifici e gestione del territorio, ed. ICRAM, pp. 15-28.
- Preti M. (1985) - *Ricerca di depositi sabbiosi sul fondo del mare Adriatico da utilizzare per il ripascimento delle spiagge in erosione*. IDROSER, Bologna.
- Preti M. (1990) - *Ricerca di depositi sabbiosi sul fondo del mare Adriatico da utilizzare per il ripascimento delle spiagge in erosione, 2° campagna*. IDROSER, Bologna.
- Preti M. (1993) - *La difesa del territorio costiero in Emilia-Romagna: esperienze e considerazioni*. In "La difesa dei litorali in Italia", Aminti e Pranzini Ed., Edizioni delle Autonomie, Roma, pp. 283-295.
- Preti M. (1999) - *Eustatismo, subsidenza e linee di intervento per la difesa del territorio costiero in Emilia*

- Romagna. Mare e cambiamenti globali: aspetti scientifici e gestione del territorio*, ICRAM, pp. 167-179.
- Preti M. (1999) - *The Holocene transgression and the land-sea interaction south of the Po delta*. Giorn. Geol., 61: 143-159.
- Salvioni G. (1957) - *I movimenti del suolo nell'Italia centro-settentrionale*. Boll. Geodesia e Sc. Affini, XVI, 3: 325-366.
- Veggiani A. (1960) - *Le cave di sabbia e ghiaia tra Cervia e Ravenna e il loro interesse geologico*. Studi Romagnoli, XI, pp. 3-20.
- Visentini M. e Borghi G. (1938) - *Le spiagge padane*, C.N.R., 137 pp., Roma.

Medcoast '03
The Sixth International Conference on
the Mediterranean Coastal Environment

7-11 October 2003, Ravenna, Italy

Organised by:

MEDCOAST Secretariat, Middle East Technical University, Ankara, Turkey

In collaboration with:

Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre of the European Commission, Ispra, Italy

University of Bologna (Ravenna Campus), Department of Environmental Sciences

University of Ferrara, Department of Earth Sciences

University of Florence, Department of Earth Sciences

University of Genoa, Department of Territory and its Resources

Conference Chairman

Erdal Özhan, Middle East Technical University, Ankara, Turkey

Conference Co-Chairmen

Vittorio Barale, Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre of the European Commission, Ispra, Italy

Giuliano Fierro, University of Genoa, Italy

Umberto Simeoni, University of Ferrara, Italy

International Advisory Committee

Abdelbaki, A., Laboratoire D'Etudes Maritimes, Alger, Algeria

Ammarasinghe, S., Lanka Hydraulic Institute, Colombo, Sri Lanka

Barale, V., JRC of the EC, Ispra, Italy

Baric, A., Institute of Oceanography and Fisheries, Split, Croatia

Benessai, E., Univ. of Naples

Bologa, A., Romanian Marine Research Institute, Romania

Brambati, A., Univ. of Trieste

Casazza, G., APAT, Rome

Cicin-Sain, B., JOCM, Delaware, USA

Cinelli, F., Univ. of Pisa

Coccosis, H., University of Aegean, Mytilene, Greece

D'Argenio, B., CNR, Naples

De Vriend, H., Delft Hydraulics, The Netherlands

Delaney, R., University of Massachusetts, Boston, USA

El Abed, A., INSTM, Salammbô, Tunisia

Ergin, A., Middle East Technical University, Ankara, Turkey

Fabbri, P., Univ. of Bologna

Gannoun, A., APAL, Tunis, Tunisia

Gvilava, M., ICZM Centre, Tbilisi, Georgia

Hatzios, M.E., The World Bank, Washington D.C., USA
Jeftic, L., Advisory Committee on Protection of the Sea, UK
Kos'yan, R., Shirshov Institute of Oceanology, Gelendzhik, Russia
Kullenberg, G., International Ocean Institute, Canada
Kumamoto, N., Hokkaigakuen University, Sapporo, Japan
La Monica, G.B., Univ. of Rome
Liberatore, G., University of Udine, Italy
Mann-Borgese, E., Dalhousie University, Nova Scotia, Canada
Mee, L.D., University of Plymouth, UK
Micallef, A., Euro Med. Centre on Insular Coastal Dynamics, Malta
Moutzouris, C., National Technical University of Athens, Greece
Nordstrom, K., Rutgers University, New Brunswick, USA
Notarbartolo di Sciarra, G., ICRAM, Rome
Oliounine, I., International Ocean Institute, Malta
Ortal, R., Natural Reserves Authority, Jarusalem, Israel
Özsoy, E., METU-Institute of Marine Sciences, Icel, Turkey
Palmentola, G., Univ. of Bari
Palmieri, E.L., Univ. of Rome
Panin, N., National Institute Of Marine Geology And Geo-Ecology, Romania
Pavasovic, A., Former Director, UNEP-MAP PAP/RAC, Croatia
Pergent, G., University of Corsica, Corte, France
Pergent-Martini, C., University of Corsica, Corte, France
Pranzini, E., Univ. of Florence
Rossi, R., Univ. of Ferrara
Sanchez-Arcilla, A., Catalunya University of Technology, Barcelona, Spain
Sharaf El-Din, S.H., Alexandria University, Alexandria, Egypt
Simunovic, I., University of Split, Croatia
Sorensen, J., University of Massachusetts, Boston, USA
Spezie, G., Univ. of Naples
Stiassnie, M., Cameri-Technion, Haifa, Israel
Tabet-Aoul, E.H., Paris, France
Trumbic, I., UNEP-MAP PAP/RAC, Split, Croatia
Vallega, A., ICCOPS & University of Genoa, Italy
Van der Meulen, F., International CZM Centre, The Netherlands
Van der Weide, J., Delft Hydraulics, The Netherlands
Veloso-Gomes, F., University of Porto, Portugal
Williams, A.T., University of Glamorgan, UK
Zunica, M., Univ of Padoa

Executive Program Committee

Aminti, P., Univ. of Florence
Barale, V., JRC of the EC, Ispra
Bertoni, W., Geological Survey and Civil Defence of Ravenna Municipality
Boato, S., Univ. of Venice
Corradi, N., Univ. of Genoa
D'Alessandro, L., University of Chieti
Gabbianelli, G., Univ. of Bologna
Micallef, A., ICOD, Malta
Özhan, E., MEDCOAST

Pergent, G., University of Corsica, France
Pranzini, E., Univ. of Florence
Sanchez-Arcilla, A., Catalunya University of Technology
Simeoni, U., Univ. of Ferrara,
Valpreda, E., ENEA, Bologna
Van der Meulen, F., Coastal Management Centre, The Netherlands
Van der Weide, J., Delft Hydraulics, The Netherlands,
Williams, A.T., University of Glamorgan, U.K.

LOCAL ORGANIZING COMMITTEE

Bassi, A., Flamanca Foundation
Bertoni, W., Geological Survey and Civil Defence of Ravenna Municipality
Casazza, G., APAT, Rome
Cecconi, G., New Venice Consortium
Cipriani, L.E., Tuscany Regional Council
Del Grande, C., Univ. of Bologna
Dinelli, E. Univ. of Bologna
Gabbianelli, G., Univ. of Bologna
Gonella, M., Medingegneria Srl
Immordino, F., ENEA, Bologna
Lombardi, P., WWF Mediterranean Program
Lorenzani, F., Liguria Region
Peretti, A., Emilia-Romagna Region
Pignone, R., Emilia-Romagna Region
Previati, L., Emilia-Romagna Region
Rinaldi, A., ARPA, Emilia-Romania
Sangiorgi, F., Univ. of Bologna
Simeoni, U., Univ. of Ferrara
Tessari, U., Univ. of Ferrara
Valpreda, E., ENEA, Bologna
Zago, V., Po River Delta Park Consortium
Zamariolo, A., Univ. of Ferrara

Sponsors & Supporters

The conference will be sponsored, contributed or supported by numerous international and Italian institutions. The names of these institutions will soon be announced.

Location

All activities of MEDCOAST 03 will take place at the premises of the modern conference facilities of Pala De André, Ravenna, Italy.

Language

The whole program of MEDCOAST 03 will be conducted in the English language.

Conference topics & Session themes

The following groups of topics indicate the coverage of presentations in MEDCOAST '03. Please note that the list below is NOT exclusive.

PHYSICAL, ECOLOGICAL, AND CONSERVATION ISSUES

- Physical features, coastal ecosystems, coastal landscapes;
- Conservation issues, archeology, biodiversity, endangered species, habitat protection, specially protected areas, coastal and marine parks.

INTEGRATED COASTAL AND OCEAN RESOURCE MANAGEMENT AND DEVELOPMENT

- Sustainable development of coastal and sea resources;
- Integrated coastal area management generally;
- Management of wetlands, coastal dunes, estuaries, deltas and lagoons;
- Management of ancient sites, monuments and ship wrecks;
- Management of living resources: fisheries and mammals;
- Coastal tourism planning and management: facility siting, marinas, ecotourism;
- Transportation issues: oil transport and pollution;
- Siting of major industrial facilities;
- Water quality issues: land based sources of pollution, pollution control, sea outfalls, hazardous and solid waste management;
- Coastal and sea policy;
- Institutional arrangements for implementing CM;
- Evaluation of ICM impact;
- Legal, economic and social issues; international aspects;
- Education and public involvement;
- Environmental impact assessment for coastal projects.

COASTAL ENGINEERING, MODELLING AND DATA MANAGEMENT

- Coastal, environmental and ecosystem modelling;
- Shoreline management and erosion control;
- Sea level rise and consequences;
- Eco-coastal engineering;
- Use of remote sensing technology and geographic information systems in coastal management.

Deadlines

Abstract Submission: 21 FEBRUARY 2003

Acceptance Notification: 21 MARCH 2003

Camera-Ready Final Paper: 30 JUNE 2003

Guidelines for Abstract submission

Abstracts for MEDCOAST '03 must be submitted no later than January 10, 2003, to MEDCOAST Secretariat. They should be limited to two pages, double spaced, and should list the names, titles, affiliations, mailing addresses, telephone and facsimile numbers and e-mail addresses of each author.

Abstracts should summarise the major theme, findings and conclusions of the paper to be presented in the conference. The last name of each author and co-author, should be underlined. In the upper right hand corner of the first page, one of the topics of MEDCOAST 03 that is addressed by your paper, must be indicated. If you see appropriate, you may use another topic not included on the list. In case the paper is co-authored, please indicate at the end of the abstract, the person who will present the paper at the conference. Abstracts may be submitted by mail, e-mail or fax.

Notification regarding the acceptance of the proposed paper, together with the format for preparation of manuscripts and submission instructions, will be mailed, e-mailed or faxed to the first authors from the MEDCOAST Secretariat by February 15, 2003. The final camera-ready paper, which must be prepared in full accordance with the instructions, should reach the MEDCOAST Secretariat by June 15, 2003, both in hard copy and in a diskette for publication in the Conference Proceedings.

The Executive Program Committee and MEDCOAST Secretariat will accept or reject papers based on the information in the abstracts and will assign accepted papers to appropriate sessions.

Publications

All papers accepted for oral and poster sessions will be published in the Proceedings of MEDCOAST '03 International Conference. The proceedings will be made available to the participants at the time of registration to the conference as a part of the registration fee. As it has been done for the previous MEDCOAST conferences, it is planned to publish special volumes of the Journal of Ocean and Coastal Management, and the Journal of Coastal Conservation on Mediterranean and/or Black Sea coastal and marine issues by using a number of selected papers after a peer review.

Workshops/Special sessions

A number of workshops and special sessions organised in collaboration with other fellow institutions will be included in the conference program. Information on these will be provided later as they become definite. Proposals for a workshop or a special session are welcomed.

Poster session

Certain topics may be best presented in the MEDCOAST '03 Poster Sessions. If you wish to make a poster presentation, please so indicate in your abstract. It is expected that about 60 per cent of the paper contributions will be presented as posters in several sessions.

Decision on the mode of presentation (as oral or poster) will be based solely on the subject matter addressed by the paper and the information to be presented, and not in any way on the quality of the paper. Oral and poster presentations will be treated without any form of discrimination in the proceedings and in preparation of the special journal issues.

A poster competition will take place and jury will review and evaluate all poster presentations. Best Poster Prize(s) will be given during the Closing Session to the winner(s) of the competition.

Commercial exhibit

As a side activity to the MEDCOAST '03 International Conference, an exhibit of information, services and products related to coastal and marine management will be organised. Institutions and companies that wish to have a stand in the Conference Exhibit are encouraged to contact the MEDCOAST Secretariat for rental fees and other details.

Social events

The Local Organising Committee is working on a variety of social and cultural events to enrich the stay of the conference participants in Ravenna.

Pre/Post-Conference tours

A rich choice of pre and post conference tours will be available for the participants who wish to extend their enjoyable stay in Italy. These tours will be offered by the official travel agent of the conference. The travel agent and the details on these tours will be posted later.

Mid-Conference Technical excursion

A half day (or one day) technical trip to the famous coastal sites will be offered to the participants as a part of the conference program.

Hotel accomodation

The Local Organising Committee of MEDCOAST '03 is in the process of negotiations with several classes of hotels in Ravenna for special favourable prices to be offered to the conference participants. Hotel information and the booking procedure will be posted in the near future.

Conference registration fee:

EURO 600 if paid before July 31, 2003;

EURO 700 afterwards.

The registration fee includes a set of conference proceedings, coffee and refreshments, welcome and other cocktails, mid-conference technical excursion, cultural evening and the closing banquet.

- Registration fee for accompanying persons:

EURO 300 if paid before July 31, 2003;

EURO 350 afterwards.

The registration fee for accompanying persons includes sightseeing and cultural programs, coffee and refreshments, welcome and other cocktails, mid-conference technical excursion, cultural evening and the closing banquet.

- Registration fee for students:

EURO 300 if paid before July 31, 2003;

EURO 350 afterwards.

A valid student ID card is required. The registration fee includes a set of proceedings, attendance in the lectures, coffee breaks and mid-conference technical excursion (other social events are not included).

MEDCOAST Secretariat

Middle East Technical University,

06531 Ankara - Turkey

Telephone: (+ 90 - 312) 210 54 29 / 210 24 97

Fax: (+ 90 - 312) 210 14 12

E-mail: medcoast@metu.edu.tr

Norme per gli Autori

Studi costieri pubblica articoli scientifici originali in lingua italiana su argomenti relativi alla dinamica e difesa dei litorali ed alla gestione integrata della fascia costiera. Gli articoli scientifici sono sottoposti a revisione da parte di due esperti indicati dal Comitato scientifico.

Studi costieri pubblica anche Note tecniche e Riassunti di tesi di Laurea e di Dottorato di ricerca inerenti gli stessi temi. **Studi costieri** ospita inoltre rapporti sull'attività svolta da Amministrazioni pubbliche in materia di gestione integrata della fascia costiera. Questi ultimi due tipi di contributi sono soggetti solo ad una revisione di tipo redazionale.

Gli Autori degli articoli sono pregati di rispettare le seguenti norme. Gli articoli non redatti in piena conformità con esse non potranno essere presi in considerazione per la pubblicazione.

I manoscritti devono essere inviati in triplice copia con allegate figure e tabelle. Dopo l'accettazione deve essere inviata la copia definitiva su dischetto o per posta elettronica secondo le istruzioni riportate in seguito.

Titolo - Massimo 150 caratteri inclusa la spaziatura fra le parole.

Titolo corrente - Massimo 80 caratteri inclusa la spaziatura fra le parole.

Autore/i - Nome e Cognome per esteso, seguito da un numero in apice per indicare l'eventuale Istituto di appartenenza ed il relativo indirizzo.

Riassunto - Non più di 2.000 caratteri inclusa la spaziatura fra le parole.

Parole chiave - Inserire 5 - 8 parole chiave, possibilmente non già comprese nel titolo.

Abstract - Riassunto, anche esteso, in lingua inglese di non più di 5.000 caratteri.

Key-words - In questo caso le parole chiave possono anche essere la traduzione di termini compresi nel titolo.

Stile - Adeguarsi allo stile dei lavori pubblicati su questo numero. Tutti i testi, compreso il titolo generale e quello dei paragrafi, devono essere scritti in Maiuscolo e minuscolo. Non inserire caratteri strani, di formato diverso o sottolineati. Il neretto è utilizzato solo per il titolo dei paragrafi. Eventuali sottoparagrafi possono portare un titolo in corsivo neretto. Non inserire righe bianche nel testo se non alla fine dei paragrafi e dei sottoparagrafi.

Evitare il più possibile i rientri e, comunque, farne di un solo ordine. Gli elenchi puntati sono identificati da -, 1) oppure a); ogni elemento dell'elenco è chiuso con ; salvo l'ultimo che chiude con un punto.

Formule - Se possibile utilizzare il formato testo; in alternativa l'editore di formule di Word impostando il carattere Garamond corpo 11 chiaro (copro 9 nero se le formule sono incluse in una didascalia di figure o di tabella). Utilizzare caratteri in neretto e corsivo solo se imposto dalla nomenclatura internazionale.

Tabelle - I caratteri alfabetici/numerici per le tabelle sono in stile Garamond corpo 11. Le Tabelle sono identificate con Tabella n, oppure (Tab. n) se fra parentesi. Devono essere precedute da una didascalia. Non inserire tabelle in forma di immagini.

Figure (fotografie, schemi, diagrammi) - Salvo accordi specifici con la Redazione, vengono pubblicate solo figure in bianco e nero. Le Figure sono identificate con Figura n, oppure (Fig. n) se fra parentesi. Tutte le figure devono avere una didascalia. La larghezza massima a stampa delle figure è 15 cm. Ad eccezione delle figure stampate a giustezza piena, tutte le altre non potranno avere una base superiore a 10 cm. La Redazione è a disposizione per discutere aspetti tecnici relativi a questo punto.

Note a piè di pagina - Sono da evitare il più possibile e, se lunghe o numerose, verranno riportate in corpo minore in fondo all'ultima pagina dell'articolo con richiami numerici nel testo. Indicazioni di Progetti e Finanziamenti verranno inserite prima della Bibliografia con gli eventuali Ringraziamenti.

Riferimenti bibliografici - Nell'articolo le citazioni sono racchiuse fra () con il seguente formato: (Verdi, 1990) o (Rossi e Verdi, 1989); (Verdi et al, 1987) qualora il numero degli Autori sia maggiore di due. Se citato nell'ambito di una frase il nome di un Autore (1995) è seguito dall'anno della pubblicazione a cui si fa riferimento.

Bibliografia - Tutti e solo i lavori citati nel testo devono comparire in Bibliografia. La Bibliografia deve essere in ordine alfabetico per cognome; es.:

Bianchi A., Rossi V. e Verdi T. (1999) - *Nuovi metodi di difesa dei litorali*. Studi costieri, 19: 153-157. (19 è il numero del fascicolo, 153-157 le pagine).

Neri A. e Rossi C. (1978) - *Elementi di geomorfologia costiera*. Nessuno Ed., Roma. pp.324.

Violi K. (1998) - *Il ripascimento dei litorali in Italia*. Atti XXI Congr. Soc. Ital. Geomorfologia. Bari. pp. 34-76.

Evitare di usare AA.VV., anche se il numero degli Autori è elevato.

Versione definitiva - Il file contenente la versione definitiva dell'articolo, in Word per Windows, deve essere inviato dopo la comunicazione di accettazione del manoscritto. Il testo non deve essere giustificato e, fatta eccezione per le formule scritte con l'editore specifico, può essere scritto con qualsiasi carattere.

Le didascalie delle figure (grafici e foto) dovranno essere inserite nel testo nel punto più opportuno. Le figure dovranno essere inviate in file separati (.tif o .jpg) e salvate con il nome del primo Autore seguito da Fig n (es. Rossi Fig 1.tif).

Altre informazioni - Nella preparazione degli articoli si tenga conto del fatto che una buona impaginazione necessita di un elevato rapporto testo/figure. Anche se gli Autori non devono procedere all'impaginazione dell'articolo, è bene che operino in modo tale da facilitare l'inserimento di ciascuna Figura dopo il rispettivo richiamo. Analogo discorso vale per le Tabelle.

Diritti d'autore - Nella lettera di accompagnamento del manoscritto gli autori, o anche uno solo di essi, devono dichiarare che quanto contenuto nell'articolo è di loro proprietà e che autorizzano l'Editore a pubblicare tutto il materiale da loro inviato. Il Direttore della collana si ritiene autorizzato ad utilizzare gli articoli per eventuali ristampe o per l'edizione di volumi tematici. Di ciò verrà comunque data notizia agli Autori.

Estratti - È prevista la stampa di 100 estratti per ciascun articolo. Agli Autori è richiesto un contributo di € 26 +IVA per pagina pubblicata sulla Rivista. Gli Autori sono pregati di inviare, insieme alle bozze corrette, le indicazioni necessarie per l'intestazione della nota di debito.

I manoscritti devono essere inviati o alla
Redazione di Studi costieri
c/o Dipartimento di Scienze della Terra
Via Jacopo Nardi, 2 - 50132 Firenze
Tel. 055 243486 - Fax 055 241595
E-mail: epranzini@unifi.it

o alla
Segreteria del Comitato scientifico di Studi costieri
c/o Dipartimento di Ingegneria civile
Via Santa Marta, 4 - 50139 Firenze
Tel. 055 4796224 Fax 055 495333
E-mail aminti@dicea.unifi.it