

Studi costieri

Dinamica e difesa dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

N. 18
2011



Studi costieri

Dinamica dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

Collana diretta da:

Enzo Pranzini

Dipartimento di Scienze della Terra
Borgo Albizi, 28 - 50122 Firenze
Tel. 055 2479241 - Fax 055 2001618

Redazione: **Serena Ferri**

E-mail: serena.ferri@unifi.it

Impaginazione: **Chiara Loi**

E-mail: chiara.loi@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
Antonio Brambati - Trieste
Leonardo D'Alessandro - Chieti
Giuliano Fierro - Genova
Leopoldo Franco - Roma
Giovanni Battista La Monica - Roma
Alberto Lamberti - Bologna
Gianfranco Liberatore - Udine

Elvidio Lupia Palmieri - Roma
Piero Ruol - Padova
Alberto Noli - Roma
Mario Calabrese - Napoli
Giulio Scarsi - Genova
Umberto Simeoni - Ferrara
Sandro Stura - Genova
Giuseppe Roberto Tomasicchio - Bari
Marcello Zunica - Padova

Stampato presso
Nuova Grafica Fiorentina
Via Traversari, 76
20126 Firenze

Studi costieri

Dinamica dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

Numero 18

Indice

Riferimenti normativi utili alla definizione delle caratteristiche chimiche e biologiche dei sedimenti per interventi di ripascimento degli arenili in Toscana Giuseppe Bruschi	p. 3-11
Idrodinamica indotta sulla costa da un <i>artificial surfing reef</i> ed ipotesi di progetto a Cattolica (RN) Mirko Castagnetti, Barbara Zanuttigh e Stefano Bagli	p. 13-43
Morfologie relitte e antiche linee di riva delle "Secche della Meloria" Nicola Casarosa, Monica Bini e Anna Maria De Biasi	p. 45-54
Protezione delle coste con contenitori in geotessuto riempiti di sabbia: stato dell'arte Enrica Mori, Pierluigi Aminti e Ilaria Crema	p. 55-73
SPICOSA (Science and Policy Integration for COastal Systems Assessment) Strategie alternative di supporto alla Gestione Integrata della Zona Costiera Laura Giordano e Diego Vicinanza	p. 75-86
Analisi dei livelli marini estremi e delle acque alte lungo il litorale ravennate Marinella Masina e Paolo Ciavola	p. 87-101
RemTech Expo - Giornata Giovani GNRAC - Lorenzo Cappietti per GNRAC Metodologie per la valutazione degli aspetti estetici delle opere di difesa costiera ai fini dell'analisi di fattibilità - Genny De Angelis	p. 103 p. 105-112
Stima delle accuratèzze spaziali delle morfologie estratte da video-monitoraggio: il caso della stazione Torre del Sole (Lazio, Terracina) - Luca Parlagreco	p. 113-117
Ricerca di una metodologia per la definizione di una linea di costa sostenibile: esperienza nel tratto di litorale di Milano Marittima (Ravenna) - Sara Cortesi	p. 119-120
Sviluppo e validazione di un modello numerico bifase per lo studio dell'interazione onda-struttura - Maria Gabriella Gaeta	p. 121-122
Indagini sperimentali e numeriche per lo studio dell'interazione tra il moto ondoso e le condotte sottomarine - Matteo Mattioli	p. 123-124
Sostenibilità turistica della spiaggia tra Porto Garibaldi e Lido di Volano (Provincia di Ferrara) Ilaria Rodella	p. 125-126
Tendenze evolutive delle pocket beach dell'Isola d'Elba - Valentina Rosas	p. 127-128
Il comportamento della linea di riva nel breve termine - Viviana Russo	p. 129-130
Valutazione dell'attuale livello di rischio costiero attraverso lo studio geomorfologico di eventi catastrofici passati - Matteo Vacchi	p. 131-132
Valutazione cromatica della sabbia: casi studio nell'ambito dei litorali toscani - Giovanni Vitale	p. 133-134
Recensioni Le linee della costa. Definizioni, riferimenti altimetrici e modalità di acquisizione dei dati di M. Milli e L. Surace	p. 135-136
Norme per gli Autori	p. 137-138



**Gruppo Nazionale per la
Ricerca sull'Ambiente Costiero**

ISSN 1129-8588

Riferimenti normativi utili alla definizione delle caratteristiche chimiche e biologiche dei sedimenti per interventi di ripascimento degli arenili in Toscana

Giuseppe Bruschi

Comune di Carrara-Settore Ambiente, P.zza II Giugno, 1 - 54033 Carrara (MS)
Tel.: 0585-71227, Fax: 0585-757490

Riassunto

In Italia le caratteristiche chimiche e biologiche del materiale da utilizzare negli interventi di ripascimento di arenili devono fare riferimento a varie norme e manuali tecnici che possono essere anche tra loro contrastanti. L'esame delle norme e linee guida attualmente adottate in Italia ed in particolare in Toscana evidenzia l'insorgere di problemi interpretativi, specialmente quando non sono noti i siti di approvvigionamento del materiale e pertanto è necessario porre una voce di capitolato nel progetto che identifichi degli standard di qualità per il materiale da utilizzare.

Il contatto diretto ed esteso dei frequentatori delle spiagge con i sedimenti, impone di seguire un principio cautelativo nell'accettazione dei materiali da ripascimento, adottando come riferimento i limiti piuttosto restrittivi previsti dagli "Standard di qualità dei sedimenti nei corpi idrici marino-costieri e di transizione" recentemente inseriti nel D.Lgs n° 152/06 (Norme in materia ambientale).

Parole chiave: ripascimento artificiale, normativa ripascimento.

Abstract

The required chemical and biological characteristics of the material to be used in nourishment of Italian beaches must be inferred from various norms, technical reports and guidelines, which may be sometimes divergent.

Interpretation problems may rise when current National and Regional (particularly in Tuscany) legislation are examined, particularly when the sites supplying the material are unknown, in which case it is necessary to give precise indications of the characteristics of the material that is appropriate for the nourishment in case.

The direct and prolonged contact of sediments with local population and visitors suggests that the choice of nourishment material should be made with caution, adopting as reference basis the rather restrictive limits reported in the "Standard of quality of the sediments in the sea-coastal water bodies", recently inserted in the D.Lgs n° 152/06

Keywords: nourishment, nourishment laws.

Introduzione

Le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche dei sedimenti da utilizzarsi per ripascimenti di arenili non sono stabilite da un'unica norma specifica ma l'argomento è trattato da manuali realizzati da vari organi tecnici quali ISPRA (ex ICRAM ed ex APAT), ARPAT, ARPAL etc. e da norme che illustrano in termini generali la qualità dei sedimenti marini.

I manuali riguardano innanzitutto la movimentazione dei sedimenti in ambiente marino con particolare riferimento ai dragaggi dei fondali e non affrontano in modo specifico il tema della realizzazione di ripascimenti

con materiale proveniente dalla terra ferma. Le norme generalmente non pongono specifici limiti di accettazione dei materiali; solo in alcuni casi riportano limiti chimici di riferimento per la definizione di “standard di qualità” dei sedimenti marini. Infine, nelle indicazioni impartite in sede di verifica di assoggettabilità alla Valutazione di Impatto Ambientale di livello regionale (L.R. Toscana 10/2010), a cui sono sottoposte tutte le opere costiere destinate a combattere l’erosione, spesso si tende a richiamare tutta una serie di norme, anche tra loro contrastanti, contribuendo a creare un quadro poco chiaro.

Il presente lavoro ha lo scopo di analizzare le fonti normative esistenti sull’argomento e presentare una proposta riguardante i limiti di accettabilità delle sabbie da utilizzare per i lavori di ripascimento. Non deve pertanto essere considerato al pari di una linea guida o un manuale tecnico ma vuole semplicemente rappresentare una buona pratica derivata dall’esperienza per colmare un vuoto normativo. In particolare verrà affrontato il caso, sempre più frequente, nel quale non è nota la provenienza del materiale da utilizzare e, pertanto, devono essere posti stringenti limiti di accettabilità dei materiali nei capitolati speciali d’appalto.

Sintesi delle norme e linee guida attualmente operative

Decreto Ministeriale del 24/01/1996. Ministero dell’Ambiente “Direttive inerenti le attività istruttorie per il rilascio delle autorizzazioni di cui all’art. 11 della legge 10 maggio 1976, n. 319 e successive modifiche ed integrazioni, relative allo scarico nelle acque del mare o in ambienti ad esso contigui, di materiali provenienti da escavo di fondali di ambienti marini o salmastri o terreni litoranei emersi, nonché da ogni altra movimentazione di sedimenti in ambiente marino”.

Le disposizioni di questo decreto “si applicano allo scarico deliberato nelle acque del mare o in ambienti ad esso contigui quali spiagge, lagune, stagni salmastri e terrapieni costieri, di sedimenti provenienti da dragaggi di fondali di ambienti marini o salmastri o da dragaggi di terreni litoranei emersi.”

Il decreto stabilisce le procedure istruttorie per lo scarico a mare di materiali dragati non facendo nessun riferimento a sedimenti di altra origine, e nell’Allegato B/1 riporta una serie di analisi chimico, fisiche e microbiologiche da effettuare sui sedimenti destinati allo scarico senza però indicare dei limiti di riferimento. Nell’allegato A, punto 2, si stabilisce in modo generico che non possono essere scaricati in mare materiali di dragaggio classificabili come rifiuti tossici nocivi o materiali di dragaggio che contengono determinati componenti (definiti nello stesso allegato) in quantità, concentrazione o stato chimico fisico tali da poter compromettere l’equilibrio produttivo delle risorse biologiche interessanti la pesca o l’acquacoltura o la fruizione delle spiagge e la balneazione o modificare in senso negativo le qualità organolettiche ed igienico sanitarie delle produzioni ittiche o alterare significativamente l’equilibrio ecosistemico esistente.

Sono richiesti accertamenti analitici da allegare alla domanda di autorizzazione allo scarico del materiale di dragaggio da inoltrare al Ministero dell’Ambiente che provvede all’istruttoria per l’autorizzazione. Il decreto, spesso chiamato in causa nelle prescrizioni impartite nelle verifiche di assoggettabilità alla Valutazione di Impatto Ambientale, anche se costituisce un riferimento metodologico importante, non indica dei veri e propri limiti chimici ai parametri ma, come ben chiarito dalla norma stessa, tratta solo il caso in cui il ripascimento sia eseguito utilizzando materiali di dragaggio (punto 4 dell’Allegato A del decreto stesso).

Decreto Ministeriale 7 novembre 2008. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare. “Disciplina delle operazioni di dragaggio nei siti di bonifica di interesse nazionale, - Articolo 1, comma 996, legge 27 dicembre 2006, n. 296”.

Anche questo decreto, specifico per dragaggi portuali all’interno dei siti di bonifica di interesse nazionale, recentemente modificato dal D.M. 4 agosto 2010, riporta in Allegato A una lunga serie di analisi, comprese quelle ecotossicologiche da eseguire sui sedimenti da dragare, ma non riporta specifici limiti di riferimento. In questo caso il Decreto, all’art. 2, comma 2, “Analisi chimiche e valori di riferimento”, stabilisce che sulla base dei risultati delle analisi, il decreto di autorizzazione al dragaggio determina gli utilizzi dei materiali dragati ai sensi della L. 84/94 “Riordino della legislazione in materia portuale”.

A questo proposito risulta interessante l’art. 5, comma 11 ter, della citata L. 84/94 che recita “I materiali derivanti dalle attività di dragaggio, che presentano caratteristiche chimiche, fisiche e microbiologiche, analoghe al fondo naturale con riferimento al sito di prelievo e idonee con riferimento al sito di destinazione, nonché non esibiscono positività a test ecotossicologici, possono essere immessi o refluiti in mare ovvero impiegati per formare terreni costieri, su autorizzazione del Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare, che provvede nell’ambito del

procedimento di cui al comma 11-bis. Restano salve le eventuali competenze della regione territorialmente interessata. I materiali di dragaggio aventi le caratteristiche di cui sopra possono essere utilizzati anche per il ripascimento degli arenili, su autorizzazione della regione territorialmente competente.”

Decreto legislativo 3 aprile 2006, n° 152, “Norme in materia ambientale”.

Il testo unico sull’ambiente contiene varie indicazioni che devono essere prese in considerazione nella determinazione della qualità dei sedimenti da utilizzare come ripascimento arenili.

Oltre alle recenti modifiche introdotte dal Decreto n° 56/2009 che analizzeremo nel dettaglio in seguito, deve essere tenuta in debita considerazione la Tab. 1 dell’All.5 della parte Quarta (Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati) del D.Lgs 152/2006.

La Tab. 1 “Concentrazione soglia di contaminazione nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d’uso dei siti da bonificare”, presenta limiti di concentrazione per un gran numero di composti, ed in particolare la colonna A si riferisce ai limiti previsti per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

La norma ambientale così come attualmente articolata prevede che se in un terreno non vengono superate le CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione), che sono appunto definite come soglia di contaminazione, tale terreno non deve essere sottoposto a nessuna attività legata alle bonifiche ambientali, neanche quelle finalizzate alla caratterizzazione dell’area.

Su come collegare la normativa sulle bonifiche alla materia trattata, i manuali e le procedure operative che verranno meglio descritte più avanti presentano diverse interpretazioni. La procedura operativa ARPAT (2005) riferendosi alle tabelle del vecchio D.M. 471/99 (in particolare alla colonna B, Tabella 1, Allegato 1), sostituite attualmente dalla citata Tab. 1 dell’All. 5 della parte Quarta del D.Lgs 152/2006, definisce tali limiti come “massima concentrazione accettabile (per qualsiasi destinazione d’uso), oltre la quale il sedimento prelevato è da considerarsi rifiuto a tutti gli effetti e non potrà mai essere utilizzato tal quale in ambiente marino”; inoltre il documento ARPAT sembra proporre di adottare come limiti per il conferimento in vasca di colmata dei sedimenti dragati quelli corrispondenti alla colonna B del D.M. 471/99 ridotti del 10%.

Il manuale ICRAM-APAT (2007) prevede che nel caso in cui la deposizione dei sedimenti avvenga all’interno dei bacini di contenimento con destinazione d’uso finale “suolo”, le caratteristiche dei materiali dovrebbero comunque rispettare i valori limite riportati in colonna A, Tabella 1, Allegato V, parte IV del D.Lgs 152/06.

Il “Protocollo relativo ai criteri di campionamento e valutazione del materiale destinato a ripascimento stagionale degli arenili” elaborato da ARPAL nel 2002, inoltre, sempre a riguardo dei limiti proposti dalla legge sulle bonifiche ambientali, riporta che il materiale destinato a ripascimento non rientra nel campo di applicazione della norma sulle bonifiche, ma tuttavia è possibile riferirsi a titolo indicativo ai limiti previsti in tale norma per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale che possono risultare quelli più simili al caso in questione. A prescindere dalle varie interpretazioni resta il fatto che i limiti di cui alla Tab. 1 dell’All.5 alla parte Quarta del D.Lgs 152/2006 sono gli unici contenuti in una norma cogente; non si tratta di standard di qualità, limiti consigliati o manuali tecnici vari, ma di un riferimento normativo che non può essere mai derogato se non per la presenza di valori del fondo naturale con concentrazioni maggiori.

Decreto n° 56 del 14/04/2009. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare. Regolamento recante “Criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l’identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell’art. 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo”.

Il decreto riguarda la sostituzione dell’All. 1 della parte terza del decreto legislativo 3 aprile 2006, n° 152 inerente il monitoraggio e la classificazione dei corpi idrici. Con l’entrata in vigore del Decreto 56/2009 e pertanto delle lettere A.2.6.1 e A.2.7.1 dell’All. 1, cessa di avere efficacia la Tab. 2 del decreto ministeriale del 6 novembre 2003, 367 relativa agli “Standard di qualità dei sedimenti di acque marino-costiere, lagune e stagni costieri”.

Le parti di interesse riguardano pertanto le lettere A.2.6.1 e A.2.7.1 dell’Allegato 1 della parte terza del decreto legislativo 3 aprile 2006, n° 152.

Rispetto al vecchio D.M. 367/2003 si assiste ad un aumento dei limiti per alcuni parametri come ad es.: i fitofarmaci, gli IPA e PCB totali.

La lettera A.2.6.1 intitolata “Standard di qualità dei sedimenti nei corpi idrici marino-costieri e di transizione”, pone una serie di obblighi in capo alle Regioni relativi al monitoraggio delle acque e dei sedimenti ed alla classificazione dei corpi idrici e riporta due tabelle con dei limiti chimici per alcuni parametri da ricercare nei sedimenti: la Tab. 2/A Standard di qualità dei sedimenti e la Tab. 3/A Standard di Qualità biota (Stato Chimico). Ai fini della classificazione del buono stato chimico è comunque ammesso uno scostamento pari al 20% dai valori riportati in tabella riferiti ai singoli parametri.

Il superamento degli standard di qualità comporta per le regioni l'esecuzione di approfondimenti analitici anche mediante saggi biologici al fine di riconsiderare la classificazione del corpo idrico effettuata sulla base del monitoraggio nella colonna d'acqua ed anche l'adozione di misure necessarie alla tutela del corpo idrico. La lettera A.2.7.1 intitolata “Standard di qualità ambientale per altre sostanze, non appartenenti all'elenco di priorità, nei sedimenti per i corpi idrici marino-costieri e di transizione”, riporta la Tab. 3/B che pone ulteriori limiti chimici validi per le classificazioni.

Procedura operativa “Movimentazione materiali in ambiente marino o in zone ad esso contigue” ARPAT Giugno 2005.

Anche se superato dalle recenti modifiche normative rappresenta un documento importantissimo per quanto riguarda molti aspetti inerenti il presente lavoro, dalla ripartizione delle competenze amministrative, agli aspetti tecnici e procedurali.

La procedura operativa, come del resto il manuale che analizzeremo in seguito, ha per oggetto la movimentazione di sedimenti in ambiente marino e, partendo quindi dalla conoscenza del materiale di origine, si incentra sul concetto di “compatibilità ambientale” con il sito di destinazione dei sedimenti da utilizzare.

Il manuale da ampio spazio alle attività di campionamento e tratta in modo dettagliato la caratterizzazione dei materiali presenti nel sito di prelievo. L'argomento dei ripascimenti è accennato nel capitolo 6 “Classificazione del materiale da movimentare ed opzioni di gestione” dove, sulla base delle analisi eseguite, vengono individuate tre classi principali di qualità del sedimento, ciascuna delle quali è compatibile con specifici utilizzi e destinazioni. Per l'utilizzo come ripascimento di arenili il sedimento deve essere classificato A1 e pertanto deve aver le seguenti caratteristiche:

- 1) le concentrazioni delle sostanze chimiche devono essere inferiori o uguali ai valori di riferimento di cui alla Tab. 2 del D.M. 367/2003 (attualmente abrogato e sostituito dal D.M. 56/2009) salvo l'ammissione di alcuni scostamenti nel caso non siano stati stabiliti valori chimici di riferimento locali, che secondo il documento stesso sono individuati dalle regioni;
- 2) le risposte tossiche ottenute dai saggi biologici con tre specie test devono risultare come da Tab. 5 colonna 2 della procedura operativa, che in genere corrisponde ad un EC20 \geq 100%.

Nel caso di utilizzo di materiali inerti non provenienti da ambiente marino o zone ad esso contigue (per esempio da cave terrestri), la procedura prescrive che oltre ai parametri fisici e chimici sopra citati, dovranno essere effettuati test di cessione in conformità a quanto stabilito dal D.M. 05/02/1998 per i rifiuti inerti.

La procedura operativa tratta inoltre l'argomento della compatibilità microbiologica dei sedimenti; anche se viene puntualizzato che a livello normativo non esistono limiti si indica la possibilità di riferirsi ai valori limiti per le acque di balneazione. A questo proposito si fa presente che il nuovo D.Lgs 116/08, “Attuazione della direttiva 2006/7/CE relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione e abrogazione della direttiva 76/160/CEE”, ha modificato sostanzialmente quanto disponeva il D.P.R. 470/1982 prevedendo la classificazione delle acque in più classi di qualità (scarsa, sufficiente, buona, eccellente) con la possibilità di adibire alla balneazione acque con differenti cariche batteriche.

Su questo argomento risulta utile quanto riportato nel “Protocollo relativo ai criteri di campionamento e valutazione del materiale destinato a ripascimento stagionale degli arenili” elaborato da ARPAL nel 2002. Il protocollo ARPAL dedica un intero capitolo ai parametri microbiologici delle sabbie da ripascimento e nel paragrafo 4.2.5. riporta una tabella di grande interesse ricavata dal progetto “Studio per la verifica sperimentale del decadimento microbico sui sedimenti di origine fluviale per esposizione di agenti atmosferici” (ARPAL Imperia e ARPAL Genova, 1998).

La tabella, oltre ad una classificazione del tipo di inquinamento, riporta i tempi di stoccaggio dei cumuli di sabbia agli agenti atmosferici per ottenere un abbattimento fino ad una concentrazione accettabile della carica batterica presente nel sedimento di origine.

Il manuale ARPAL riporta una prassi che prevede lo stoccaggio per un tempo determinato del materiale da ripascimento sulla spiaggia con esposizione alle radiazioni solari ed all'atmosfera prima della definitiva stesura.

“Manuale per la movimentazione di sedimenti marini” – Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Realizzato da ICRAM APAT – 2007.

Come nel caso precedente il manuale prende in considerazione vari aspetti sia tecnici che procedurali e si incentra principalmente nella caratterizzazione dei materiali da dragare e nella classificazione degli stessi.

Nel Cap. 2 al par. 3.1. vengono individuate tre classi principali di qualità di sedimento, ciascuna delle quali è compatibile con specifici utilizzi e destinazioni. La classificazione del sedimento scaturisce dall'integrazione delle informazioni fisico-chimiche ed ecotossicologiche.

Il sedimento viene attribuito alla classe A1 e pertanto utilizzabile per ripascimento di arenili (vedi Tab. 2.2. del manuale) nel seguente caso:

- il sedimento risulti costituito da sabbie (pelite <10 %);
- le concentrazioni delle sostanze chimiche risultino inferiori o uguali ai valori LCB (Livello Chimico di Base) riportati in apposita tabella (Tab. 2.3A del manuale), eventualmente corretti secondo i valori chimici locali;
- l'esecuzione delle analisi ecotossicologiche è da valutare caso per caso. In caso si ritengano necessarie le risposte ottenute dai saggi biologici devono risultare conformi a quanto riportato in apposita tabella (Tab. 2.4. del manuale).

Per quanto riguarda la compatibilità per i parametri chimici è da sottolineare il fatto che i valori del Livello Chimico di Base (LCB) richiamato dal manuale rappresentano una situazione media nel contesto nazionale, non contemplando tipologie di sedimenti provenienti da aree con arricchimenti naturali particolarmente evidenti. Il manuale ammette pertanto scostamenti rispetto ai valori di riferimento nel caso non siano stati stabiliti valori chimici di riferimento “locali”.

Il manuale tratta separatamente le due operazioni di prelievo e deposizione dando utili indicazioni per la caratterizzazione dei siti da ripescare a prescindere dal materiale di provenienza.

Piuttosto importante ai fini del presente lavoro risulta il capitolo dedicato alle attività di deposizione del materiale dragato con particolare riferimento ai ripescamenti costieri. Oltre alle indicazioni per caratterizzare le aree di deposizione il manuale tratta anche gli aspetti del monitoraggio degli interventi sia per quanto riguarda i parametri topografici che dei popolamenti macrobentonici.

Discussione e conclusioni

L'approvvigionamento del materiale idoneo al ripascimento di arenili può essere eseguito in vari modi: via mare, via terra, con inerti derivanti da cave conosciute al momento della progettazione; oppure, nel caso sempre più frequente, cercando di reperire il materiale necessario sul mercato senza conoscerne preventivamente la provenienza.

Nel caso in cui il ripascimento venga eseguito con materiale proveniente da dragaggi, o in generale con materiale del quale si conosce la provenienza, è sufficiente seguire quanto disposto dai manuali citati integrandoli con gli ultimi aggiornamenti normativi; nella progettazione dell'intervento verrà dato ampio spazio alla determinazione della compatibilità delle sabbie di provenienza con le aree di deposizione.

I problemi interpretativi sorgono quando non sono noti i siti di approvvigionamento e pertanto è necessario scegliere durante la progettazione una stringente voce di capitolato che identifichi il materiale idoneo per essere utilizzato come ripascimento.

Come si può rilevare dalla sintesi precedente emerge un quadro poco chiaro e soprattutto non univoco degli standard qualitativi da pretendere per l'esecuzione dei lavori di ripascimento e pertanto bisogna operare delle scelte che devono tenere in considerazione, in primo luogo, gli aspetti ambientali e della fruizione delle spiagge, ma anche la possibilità di reperire il materiale necessario agli interventi. Per quanto concerne l'ultimo punto risulta banale ma utile da evidenziare in questa sede che, stante i numerosi parametri geologici che determinano la composizione chimico-fisica e mineralogica dei sedimenti, non esistono materiali, prelevati anche a distanze modeste dall'area di intervento, che possiedono esattamente le stesse caratteristiche della sabbia del litorale oggetto dell'intervento; spesso differenze sensibili dei sedimenti si possono rilevare tra punti diversi dello stesso litorale.

Stante la complicazione del quadro normativo e soprattutto la delicatezza dell'argomento, sarebbe auspicabile

che si mettesse mano ad una normativa specifica anche per definire dei limiti per i parametri non trattati nei manuali tecnici e che si stabilissero dei valori chimici di riferimento locali (nel Manuale APAT-ICRAM sono indicati come Livello Chimico di Base) che tengano conto delle caratteristiche geochimiche di specifici tratti di costa. Quest'ultimo punto risulta fondamentale per agevolare il lavoro dei progettisti e per non incappare in gravi problemi sia tecnici che giuridici e può agevolmente essere eseguito dalla regione grazie all'esperienza delle ARPAT provinciali maturata durante gli interventi eseguiti negli ultimi anni. Anche se nella Regione Toscana le competenze autorizzative sono state trasferite alle province (L.R. 19/2003), è comunque necessario che una serie di attività di carattere generale, come la determinazione dei valori chimici di riferimento locali o la ricerca di siti di approvvigionamento del materiale da ripascimento, rimanga in capo alla regione, anche per uniformare la qualità degli interventi che saranno eseguiti.

Purtroppo a causa delle carenze e conflitti normativi palesati da questo lavoro tutto viene scaricato sulla progettazione che deve porre grande attenzione ed energie per districarsi dall'ingarbugliata matassa di leggi, decreti e manuali.

In quest'ottica un progetto di ripascimento deve partire da un'attenta e puntuale caratterizzazione del sito da ripascere attraverso analisi chimico-fisiche biologiche, determinazione mineralogiche e del colore dei sedimenti, rilievi batimetrici etc. come riportato al punto 4.2.2.1.1 del manuale APAT. In particolare sono molto importanti le analisi chimiche che possono mettere in evidenza particolari composizioni dei sedimenti derivanti dalle geochimica dell'area di alimentazione delle spiagge. Nel caso si riscontrino valori elevati di alcuni specifici elementi derivanti da anomalie geochimiche del territorio è necessario che la disposizione di deroghe ai limiti previsti per tali elementi sia eseguita in accordo con le ARPAT locali.

Questa fase di caratterizzazione è molto importante anche per determinare dei riferimenti da porre in capitolato per la valutazione della compatibilità del materiale da ripascimento sotto l'aspetto macroscopico: colore, mineralogia prevalente etc.

Il colore, o meglio la compatibilità del colore tra sabbie di riporto e quelle presenti in loco, risulta una delle caratteristiche principali sotto il profilo paesaggistico e per il gradimento dell'intervento da parte dei frequentatori. Anche se la determinazione delle caratteristiche colorimetriche della sabbia non è l'argomento del presente lavoro, è utile ricordare gli studi di Pranzini (2008) sulla percezione, caratterizzazione e compatibilità del colore nei ripascimenti artificiali. In particolare nello studio citato, al quale si rimanda per ulteriori approfondimenti, vengono messe a confronto una serie di tecniche per la determinazione cromatica delle sabbie, dalle Tavole Munsell all'utilizzo di colorimetri professionali per la determinazione delle coordinate colorimetriche. In particolare, il sistema colorimetrico indicato come CIEL*a*b*, risulta di grande interesse per studi sulla compatibilità in quanto permette una quantificazione della distanza cromatica tra due campioni diversi. Per le caratteristiche chimiche delle sabbie da porre come voce di capitolato, al di là di eventuali deroghe per situazioni locali, è utile seguire un principio cautelativo scegliendo come base i parametri ed i relativi limiti, piuttosto restrittivi, previsti dagli standard di qualità dei sedimenti contemplati dall'All. 1 della parte terza del D.Lgs n° 152/06, lettere A.2.6.1 e A.2.7.1, (Allegato introdotto dal Decreto n° 56 del 14/04/2009) e di integrare la lista degli analiti e relativi valori limite con quanto previsto per il Livello Chimico di Base (LCB) definito dal manuale ICRAM-APAT. Nella Tabella n 1 viene sintetizzato quanto sopra esposto ed è riportata la lista dei parametri previsti con i relativi valori limite. L'All. 1 alla parte terza del D.Lgs n° 152/06, come sostituito dal Decreto 56/2009, definisce degli "standard di qualità" e l'approccio proposto è dettato dall'opportunità di prevedere ripascimenti con sedimenti che non possano peggiorare sotto il profilo chimico la qualità del litorale, salvo definizioni di valori di fondo che si discostano da tali soglie, da parte delle amministrazioni competenti. A questo proposito il manuale ARPAT riporta le seguenti conclusioni: "... il fatto di adottare limiti più restrittivi della colonna A della Tab. 1 dell'All.5 del D.Lgs 152/2006 (specifica per siti con destinazione d'uso a verde pubblico, privato e residenziale, ai quali potrebbero essere assimilate le spiagge), che a loro volta garantiscono un livello superiore di tutela della salute pubblica rispetto alla colonna B (uso commerciale ed industriale), è suggerito dal tipo di contatto diretto, anche continuato ed esteso, di questi materiali con la popolazione (balneare), sicuramente maggiore di quanto non avvenga sui normali suoli terrestri".

Per altri parametri non compresi nei testi citati i limiti più restrittivi, ai quali è possibile riferirsi a livello indicativo, sono quelli della colonna A della Tab. 1 dell'All.5 del D.Lgs 152/2006 (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale), anche se per alcuni parametri bisogna comunque prevedere limiti locali inferiori, oppure, nel caso della presenza di alcune sostanze come ad es. le fibre di amianto, riservarsi la possibilità di

Tabella 1 - Principali parametri e concentrazioni di riferimento (per molti parametri sono ammessi scostamenti percentuali dalle concentrazioni riportate).

parametro	concentrazioni	unità di misura	riferimento
As	12	mg/kg s.s.	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 3/B
Cr totale	50	mg/kg s.s.	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 3/B
Cr VI	2	mg/kg s.s.	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 3/B
Cd	0,3	mg/kg s.s.	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Hg	0,3	mg/kg s.s.	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Ni	30	mg/kg s.s.	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Pb	30	mg/kg s.s.	Manuale 2007 Min.Amb.-ICRAM-APAT, Tab.2.3A
Cu	40 (15)	mg/kg s.s.	Manuale 2007 Min.Amb.-ICRAM-APAT, Tab.2.3A
Zn	100 (50)	mg/kg s.s.	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Tributilstagno	5	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 3/B
IPA totali	800	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Benzo(a)pirene	30	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Benzo(b)fluorantene	40	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Benzo(k)fluorantene	20	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Benzo(g,h,i)perilene	55	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Indenopirene	70	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Antracene	45	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Fluorantene	110	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Naftalene	35	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Esaclorobenzene	0,4	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Aldrin	0,2	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Alfa esaclorocicloesano	0,2	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Beta esaclorocicloesano	0,2	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Gamma esaclorocicloesano lindano	0,2	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
DDT	1	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
DDD	0,8	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
DDE	1,8	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Dieldrin	0,2	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 2/A
Clordano	2,3	µg/kg	Manuale 2007 Min.Amb.-ICRAM-APAT, Tab.2.3A
Endrin	2,7	µg/kg	Manuale 2007 Min.Amb.-ICRAM-APAT, Tab.2.3A
Eptacloro epossido	0,6	µg/kg	Manuale 2007 Min.Amb.-ICRAM-APAT, Tab.2.3A
Acenafte	7	µg/kg	Manuale 2007 Min.Amb.-ICRAM-APAT, Tab.2.3A
Benzo(a)antracene	75	µg/kg	Manuale 2007 Min.Amb.-ICRAM-APAT, Tab.2.3A
Dibenzo(a,h)antracene	6	µg/kg	Manuale 2007 Min.Amb.-ICRAM-APAT, Tab.2.3A
Fenantrene	87	µg/kg	Manuale 2007 Min.Amb.-ICRAM-APAT, Tab.2.3A
Fluorene	21	µg/kg	Manuale 2007 Min.Amb.-ICRAM-APAT, Tab.2.3A
Pirene	153	µg/kg	Manuale 2007 Min.Amb.-ICRAM-APAT, Tab.2.3A
Sommat. T.E. PCDD, PCDF (Diossine e Furani) e PCB diossina simili	2*10 ⁻³	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 3/B
PCB totali	8	µg/kg	D.Lgs 152/06, All. 1 parte terza, Tab. 3/B

non accettare il materiale. In questi casi il riferimento al D.Lgs 152/2006 è solamente indicativo, e risulta importante, prima di qualsiasi decisione, far eseguire tutti gli approfondimenti del caso da ARPAT ed Az USL. Per quanto riguarda le analisi ecotossicologiche sia la procedura operativa ARPAT del Giugno 2005 che il manuale ICRAM-APAT del 2007 riportano requisiti ecotossicologici simili per l'inserimento dei sedimenti nella classe relativa al ripascimento. Il manuale ARPAT può essere considerato genericamente più restrittivo a questo riguardo, in quanto non deroga dall'esecuzione delle analisi ecotossicologiche e tratta anche la questione delle caratteristiche microbiologiche dei sedimenti. Su quest'ultimo punto bisogna comunque sempre tenere in considerazione quanto riportato nel protocollo ARPAL del 2002 sulla possibilità di abbattimento della carica batterica per semplice esposizione dei cumuli di sabbia agli agenti atmosferici.

A puro titolo esemplificativo si riporta di seguito una descrizione generale dei sedimenti che può essere posta in capitolato per lavori di ripascimento; tale descrizione è eventualmente soggetta ad integrazioni con eventuali valori più elevati del fondo naturale per alcuni parametri e con le caratteristiche fisiche e macroscopiche della zona di intervento:

“La sabbia dovrà essere conforme ai limiti previsti dall'Allegato 1 alla parte terza del D.Lgs n° 152/06, lettere A.2.6.1 (Tab. 2/A) e A.2.7.1 (Tab. 3/B); per i parametri non contemplati dall'Allegato 1 lettere A.2.6.1 e A.2.7.1, i sedimenti dovranno essere conformi alla Tab. 2.3A del “Manuale per la movimentazione di sedimenti marini” (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 2007).

La sabbia dovrà essere sottoposta agli accertamenti previsti dal D.M. 24/01/96 ed a test ecotossicologici e dovrà rientrare nella “Classe A1 - usi per ripascimento di arenili”, così come definito dalla Procedura operativa per la “Movimentazione dei materiali in ambienti marini od in zone ad esso contigue” (ARPAT 2005);

Per i materiali inerti non provenienti da ambiente marino o zone ad esso contigue, ma da cave terrestri, dovrà essere verificata l'idoneità all'immersione effettuando test di cessione in acqua, secondo la procedura indicata dal D.M. 5 febbraio 1998 come modificato dal Decreto n° 186 del 5 aprile 2006”.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Ing. Alessandra Pacciani per la collaborazione e la revisione del manoscritto.

Bibliografia

- ARPAL (2002) - *Protocollo relativo ai criteri di campionamento e valutazione del materiale destinato a ripascimento stagionale degli arenili*, pp. 64.
- ARPAL Imperia e ARPAL Genova (1998) - *Studio per la verifica sperimentale del decadimento microbico sui sedimenti di origine fluviale per esposizione di agenti atmosferici*.
- ARPAT (2005) - *Procedura operativa “Movimentazione materiali in ambiente marino o in zone ad esso contigue”*, pp. 60.
- Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. ICRAM, APAT (2007) - *Manuale per la movimentazione di sedimenti marini*, pp. 72.
- Pranzini E. (2008) – *Il colore della sabbia: percezione, caratterizzazione e compatibilità nel ripascimento artificiale delle spiagge*. Studi Costieri, 15: 89-108.
- Pranzini E., Simonetti D. e Vitale G. (2008) – *Il colore della sabbia: indagine sul gradimento dei frequentatori di spiagge naturali e di spiagge oggetto di ripascimento artificiale*. Studi Costieri, 15 109-120.

Riferimenti normativi citati:

Decreto Ministeriale del 24/01/1996, Ministero dell'Ambiente “Direttive inerenti le attività istruttorie per il rilascio delle autorizzazioni di cui all'art. 11 della legge 10 maggio 1976, n. 319 e successive modifiche ed integrazioni, relative allo scarico nelle acque del mare o in ambienti ad esso contigui, di materiali provenienti da escavo di fondali di ambienti marini o salmastri o terreni litoranei emersi, nonché da ogni altra movimentazione di sedimenti in ambiente marino”.

Decreto Ministeriale 25 ottobre 1999, n° 471. Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'art. 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22. ABBROGATO.

Decreto Ministeriale 6 novembre 2003, n° 367. Regolamento concernente la fissazione di standard di qualità nell'ambiente acquatico per le sostanze pericolose, ai sensi dell'articolo 3, comma 4, del decreto legislativo

11 maggio 1999, n. 152. ABBROGATO.

Decreto legislativo 3 aprile 2006, n° 152, “Norme in materia ambientale”.

Decreto Ministeriale 7 novembre 2008. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare. “Disciplina delle operazioni di dragaggio nei siti di bonifica di interesse nazionale, - Articolo 1, comma 996, legge 27 dicembre 2006, n. 296”.

Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n° 116. Attuazione della direttiva 2006/7/CE relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione e abrogazione della direttiva 76/160/CEE.

Decreto n° 56 del 14/04/2009, Ministero dell’Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare. Regolamento recante “Criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l’identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell’art. 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo”.

Decreto Ministeriale 4 agosto 2010, Operazioni di dragaggio nei siti di bonifica di interesse nazionale – Modifica del Dm 7 novembre 2008.

Legge Regionale Toscana 12 febbraio 2010, n. 10, Norme in materia di valutazione ambientale strategica (VAS), di valutazione di impatto ambientale (VIA) e di valutazione di incidenza.

Legge Regionale Toscana 4 aprile 2003, n. 19, Disposizioni in materia di tutela della fascia costiera e di inquinamento delle acque. Modifica alla legge regionale 1 dicembre 1998, n. 88 (Attribuzione agli Enti locali e disciplina generale delle funzioni amministrative e dei compiti in materia di urbanistica e pianificazione territoriale, protezione della natura e dell’ambiente, tutela dell’ambiente dagli inquinamenti e gestione dei rifiuti, risorse idriche e difesa del suolo, energia e risorse geotermiche, opere pubbliche, viabilità e trasporti conferite alla Regione dal D. Lgs. 31 marzo 1998, n. 112)

Ricevuto il 17/3/2010, accettato il 23/3/2011.

Idrodinamica indotta sulla costa da un *artificial surfing reef* ed ipotesi di progetto a Cattolica (RN)

Mirko Castagnetti¹, Barbara Zanuttigh¹ e Stefano Bagli²

¹DICAM, Università di Bologna, Viale Risorgimento, 2 - 40136 Bologna,
mirko.castagnetti2@unibo.it, barbara.zanuttigh@unibo.it

²GECOSISTEMA Viale Carducci, 15 - 47023 Cesena. Tel.: 0547 22619 ,
stefano.bagli@gecosistema.it

Riassunto

Un *artificial surfing reef* (di seguito ASR) è un'opera multifunzionale che ha come obiettivo principale la riproduzione di condizioni idrodinamiche ideali per eseguire il *surfe* contemporaneamente può servire come opera di difesa dall'erosione della spiaggia per effetto dello smorzamento dell'energia ondosa incidente. Quest'articolo evidenzia i parametri idrodinamici fondamentali per rendere un paraggio fruibile dai surfisti, analizza gli effetti di un ASR sul litorale, definisce i criteri di progettazione di ASR, sulla base di studi pregressi e applica infine tali criteri progettuali ad un caso pratico sulle coste emiliano - romagnole, nella provincia di Rimini laddove il fiume Conca sfocia in Adriatico. Per questa applicazione si considerano più alternative progettuali, tra le quali si effettua la scelta sulla base dell'analisi dei costi di costruzione e posa e si verifica quindi il funzionamento della soluzione prescelta mediante il codice MIKE21.

Parole chiave: Artificial Surfing Reef, peel angle, rip-channel, MIKE21, Cattolica.

Abstract

A multipurpose artificial surfing reef (ASR) has the main objective of generating ideal hydrodynamic conditions for surf whereas defending at the same time the coast from erosion caused by incident wave energy. This article highlights the basic hydrodynamic parameters necessary for making the beach appropriate to be used and enjoyed by surfers, analyses the effects of ASR on the coast, sets criteria for ASR design based on previous studies, and applies those criteria to design a real case of study on the Emilia – Romagna coast (Rimini province, where Conca river flows into the Adriatic Sea). For this application some design alternatives shall be considered, including a cost analysis based on construction and installation costs. The preferred solution shall be verified through by a numerical code such as MIKE21.

Keywords: Artificial Surfing Reef, peel angle, rip-channel, MIKE21, Cattolica.

Introduzione

Un *artificial surfing reef* (ASR) è un'opera marittima che combina difesa costiera e sviluppo della pratica del *surf*. Favorendo la frequentazione da parte dei *surfers*, un'opera di questo genere può "ripagare" automaticamente negli anni l'esborso iniziale mediante la promozione di un circuito turistico che si basa su questo spettacolare sport (Black e Mead, 2001).

Al contempo, con la sua capacità di smorzare il moto ondoso incidente, un ASR può essere usato a protezione

della spiaggia quale opera a cresta bassa. In generale, tale affermazione è vera se, allo studio della trasmissione ondosa, viene affiancata la valutazione dell'idrodinamica e della morfodinamica indotta sul litorale. Infatti, il coefficiente di trasmissione per opere a cresta bassa dipende essenzialmente dalla quota e dalla larghezza della cresta (Pilarczyk, 2003) ma questo da solo non basta a giustificare la sua effettiva funzionalità per quanto attiene alla difesa della costa dall'erosione. Lo studio dell'idrodinamica del *reef* e dell'alterazione del trasporto solido possono fornire importanti indicazioni circa l'evoluzione della costa a seguito della costruzione dell'opera, specialmente per quanto riguarda la formazione di correnti di ritorno che, com'è noto, possono creare non pochi problemi per l'erosione (Zanuttigh, 2006).

Inoltre, come per qualsiasi opera marittima, la forma, la posizione rispetto alla linea di riva ed il materiale con cui è fatto un ASR devono essere scelti in modo da limitare sgradevoli effetti sull'ecosistema della costa, in particolare modo nei riguardi delle diverse specie che vivono in tale sito.

Molti materiali presenti sul mercato attualmente permettono di limitare i danni dovuti alla sostituzione di un fondale soffice, come quello sabbioso, con uno più duro e roccioso, come per esempio avviene con la costruzione di scogliere parallele a riva. I geocontenitori e i geosacchi appartengono certamente a questa categoria di materiali (Matteotti et al., 2006) e possono essere usati a pieno titolo per la costruzione di un ASR. Alcuni progetti sono stati realizzati nell'ultimo decennio lungo le coste australiane, americane, neozelandesi ed inglesi, ed alcuni esempi di seguito riportati mostrano come la scelta oculata del materiale da costruzione possa rendere queste opere meno impattanti dal punto di vista ambientale.

Il *reef* di Narrowneck (Fig.1), realizzato in sacchi di sabbia, è forse l'esempio progettuale meglio riuscito, poiché ha presentato negli anni una modesta necessità di manutenzione a fronte di benefici riguardanti la difesa della costa, l'implementazione di un eco-turismo imperniato sulla pratica del *surf* ed uno sviluppo di biodiversità che ha portato alla rapida colonizzazione del *reef* e quindi al suo inserimento all'interno dell'ecosistema marino autoctono. L'impiego di un ASR sulla Gold Coast in luogo alle tradizionali opere di difesa ha permesso di:

- ridurre la volumetria di circa la metà rispetto alla stessa opera costruita in massi;
- impiegare sabbia autoctona ed eliminare il rischio di contaminazione per rottura del geosacchetto;
- ridurre la durezza del fondale, e quindi aumentare il livello di sicurezza sia per i surfisti che possono cadere dalla tavola, sia per le piccole imbarcazioni turistiche che, trovandosi nelle vicinanze, possono urtare il proprio scafo contro l'opera;
- permettere l'impianto stabile di fauna e flora marina.

L'ASR, di dimensioni indicativamente 270 m per 170 m paralleli alla costa e del volume di 120.000 m³, era composto inizialmente da 408 *geocontainers* lunghi 20 m cadauno e di 3.0 – 4.5 m di diametro, riempiti di sabbia del luogo per una capacità che varia tra 100 e 300 m³; l'opera presentava valori di sommergezza compresi tra -1.5 m (sulla cresta) e -10 m (ai piedi del *reef*, lato mare) in condizioni di bassa marea. Il *reef* è formato da due bracci disposti a "V" ed un canale centrale che assicura moderate correnti di ritorno verso largo a seguito del frangimento, che possono essere sfruttate dal surfista per raggiungere la zona di *take off*. Uno dei due bracci (nella fattispecie, quello Nord) è prolungato fino a riva e funge da pennello sommerso per ostacolare il trasporto litoraneo, permettendo l'accumulo di sabbia. Il punto di forza di questa struttura risiede nella modesta manutenzione richiesta dall'opera in termini di ricarica di geotubi (ricarica cumulata di 50 geotubi in sei anni).

L'obiettivo principale dal punto di vista della difesa costiera era evitare la dispersione della sabbia impiegata nei ripascimenti periodici, allargando la spiaggia e rinforzando il cordone dunare presente. Tale scopo è stato conseguito con un avanzamento verso il mare della linea di riva di circa 50 m, permettendo di intrappolare oltre 100.000 m³ all'anno di sabbia mediante la formazione di un saliente (Jackson et al., 2007). L'allargamento della spiaggia ha certamente incrementato il numero di bagnanti e surfisti, che già peraltro affollavano le coste australiane, rendendo più appetibile la spiaggia dal punto di vista ricreativo. Il secondo (ma non meno importante) obiettivo era quello di migliorare i parametri di surfabilità del paraggio. Dopo circa otto anni di monitoraggio (Jackson et al., 2007) si registra una frequenza annua con cui si sono venute a creare onde ideali per il *surf* in media pari al 50% (vale a dire quasi 184 giorni l'anno), con massimi del 62% (nel 2002) e minimi del 21% (nel 1999, quando però l'opera era ancora in fase di costruzione). La tipologia di frangenti che si presentano per onde medie che vanno da 1.0 m a 1.5 m d'altezza è più *spilling* che *plunging* (favorendo i surfisti meno esperti). Per mareggiate di media ed elevata intensità ($H_s > 2$ m), il frangente diventa decisamente

plunging. L'impiego di pietrame nella costruzione di opere di difesa poteva inoltre rappresentare un deterrente per i numerosi surfisti che tutto l'anno affollavano lo *spot* (cioè il luogo deputato alla pratica del *surf*). Terzo, ma non ultimo, obiettivo da conseguire era la creazione di un habitat colonizzabile dalle variegatae forme di vita acquatica. I progettisti ed i biologi si attendevano una colonizzazione abbastanza vasta da parte della fauna marina (pesci, granchi, mitili, ecc.) mentre fu del tutto inaspettata una massiva adesione alle porose fibre del geotessile da parte della flora, specie in acque basse: questo sviluppo fu così rapido che dopo una sola settimana fu chiaramente visibile un biofilm algale di 50 mm che ricopriva parte della superficie dei geocententori mentre, dopo 2-3 settimane, l'intero reef era completamente coperto. Contestualmente a questo processo, si è affermata la presenza di una vasta varietà di pesci e di creature sottomarine. La colonizzazione da parte delle microalghe è comunque quella più massiccia sull'opera e ricopre circa il 70% della superficie disponibile del reef (Jackson et al., 2007).

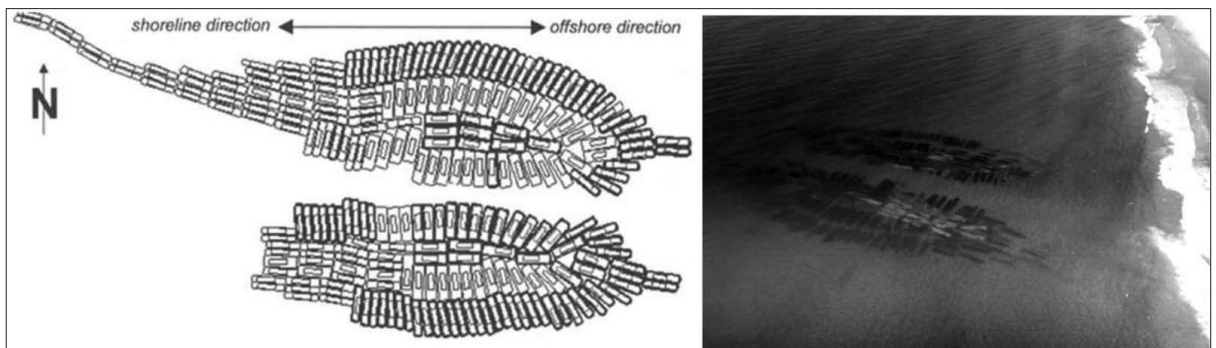


Figura 1 - A sinistra, geometria del reef di Narrowneck (Heerten et al., 2000), mentre a destra una foto dall'alto dello stesso reef.

L'ASR di Cable Station (Fig. 2) fu costruito a scopo essenzialmente ricreativo. Il progetto originale, partito già nel 1988, intendeva rendere tale *spot* il più surfabile tra tutti quelli dell'area metropolitana di Perth. Tuttavia, la costruzione del reef in massi ebbe inizio nel 1997 e fu completata solo nel 1999. A causa di alcune scogliere naturali poste a largo, nonché per la presenza dell'isola di Rottnest, una notevole quantità di energia ondosa incidente viene dissipata. Questa dissipazione si ripercuote specialmente nella riduzione dell'altezza d'onda e nella manifestazione di frangenti talora tendenti al *surging* (del tutto inadatti al *surf*). La costruzione dell'ASR in tale luogo ha incrementato l'altezza d'onda per *shoaling* ed ha riprodotto al contempo un frangente ideale (tipicamente *spilling* o *plunging*) per effettuare spettacolari manovre in acqua. Dall'analisi delle registrazioni

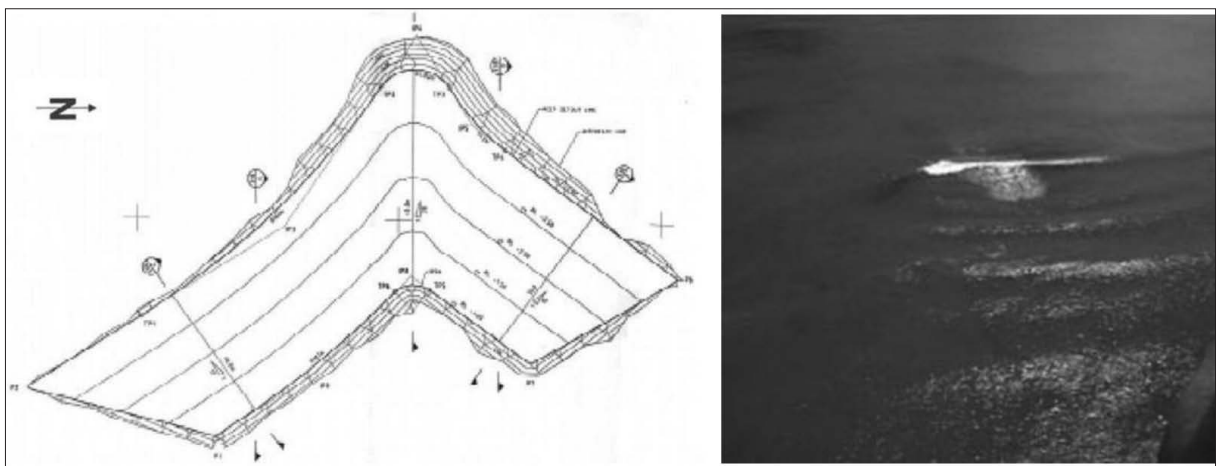


Figura 2 - A sinistra, geometria del reef di Cable Station (Bancroft, 1999) mentre a destra una foto dall'alto dello stesso reef durante il frangimento dell'onda.

mediante webcam si può infatti asserire che le condizioni ondose ricreate siano in accordo (se non migliori) di quelle ipotizzate in fase di progetto (Pattiaratchi, 2000). Inoltre, è opinione comune di molti surfisti che il reef di Cable Station sia uno degli *spot* migliori di tutta l'Australia. Nel 1999 furono ben 178 i giorni in cui si registrarono onde frangenti sul reef e 142 di queste presentavano un'elevata surfabilità. Il numero di giorni in cui lo *spot* si presentò altamente surfabile rimase poi praticamente invariato nel corso degli anni in cui il reef ha funzionato. L'attività di monitoraggio (Pattiaratchi, 2000) a distanza di un anno dalla completazione dell'opera ha dimostrato che le onde incidenti frangono con frangenti tipicamente *plunging* per periodi superiori a 6 s (periodi inferiori a tale valore si verificano con una frequenza media annua del 20%) ed altezze d'onda maggiori a 0.5 m, in accordo soprattutto con le condizioni di marea. In effetti il reef risulta essere troppo profondo (-1.78 m in cresta) per poter indurre al frangimento onde di altezza uguale o addirittura inferiori a 0.5 m, com'era inizialmente previsto dal progetto originale. L'ASR è aperto ad un settore di Nord-Ovest, sebbene lo *swell* dominante sia Ovest-Sud-Ovest. L'intervento ha richiesto l'impiego di massi naturali di granito per un totale di circa 10.000 t. Le attività di monitoraggio (Pattiaratchi, 2000) mostrano un folto e variegato strato di alghe che hanno ricoperto la superficie dei massi, confermando il pieno inserimento dell'opera nell'ecosistema del sito.

Non tutti gli ASR sono riusciti nel loro intento di proteggere la spiaggia e di ricreare condizioni d'onda ideali per la *surf*. Un esempio chiarificatore è quello di El Segundo, in California (Fig. 3). Il reef, uno dei primi al mondo assieme a quello di Cable Station, fu costruito nel 2000. Nel 1984 venne costruito a Santa Monica (cittadina attigua a El Segundo) un molo che inficiò le condizioni di surfabilità della spiaggia limitrofa. Le associazioni di surfisti promossero una dura lotta per la costruzione di un ASR nel caso in cui fosse dimostrato che il molo in questione avesse alterato negativamente il clima ondoso idoneo per la *surf*.

Nel 1999, dopo aver vinto numerose cause, prese il via la costruzione del reef (conosciuto anche come *Pratt's reef*, in onore del fondatore delle associazioni dei surfisti) con un primo finanziamento di 300mila dollari. Venne fatta una prima gettata di 110 geosacchi. Le condizioni di surfabilità dello *spot* però non migliorarono e con un ulteriore finanziamento di 200 mila dollari venne eseguito una seconda ricarica di 90 geosacchi nella primavera del 2001 (Frost, 2003). Nonostante ciò, non si ebbero incrementi ragionevoli nella surfabilità delle onde incidenti, specie per quanto attiene alla frequenza con cui esse si presentavano. Questo fece decadere del

tutto la sua funzione ricreativa, avviando al declino il reef di El Segundo. Ragione principale del suo insuccesso fu la cresta dell'opera, posta tra -0.5 m in bassa marea e -2.0 m in alta marea, e come risultato venne fatto un utilizzo poco frequente del reef, che fu smantellato nel 2008 vista la sua inutilità.

In Italia questa tipologia di opera non ha ancora trovato un radicato accoglimento, sia per la scarsa surfabilità naturale dei paraggi, sia per la predilezione della maggior parte dei surfisti ad "emigrare" per cercare onde oceaniche di altezza consistente e lungo periodo. Tuttavia nel 2007 venne proposta (Franco et al, 2007) la costruzione di un ASR in località S.Marinella (Roma). Nel litorale di S.Marinella è costituita una baia naturale detta dei "Tre Zeppi" e un vicino *spot* detto "Banzai", noto per le sue discrete caratteristiche di surfabilità. In effetti, anche nelle aree a ridotta escursione mareale come il Mar Tirreno il *surf* è uno

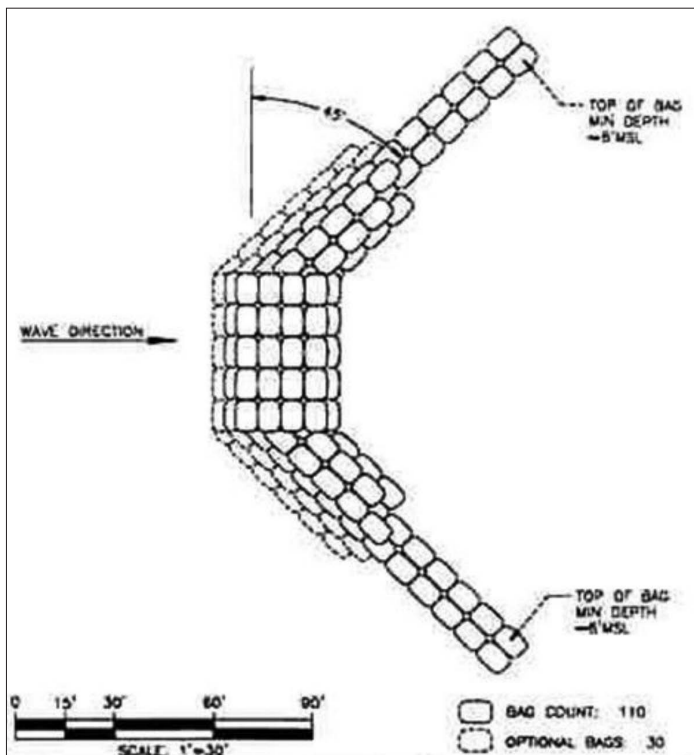


Figura 3 - Geometria e forma dell'ASR di El Segundo (Borrero, 1999).

sport assai popolare fin dai primi anni '80. Il *natural reef* presente a Tre Zeppi, come si può osservare dalla ricostruzione della batimetria (Franco et al., 2007), ha una forma tipicamente a "V", attinente con il modello batimetrico dei *surf break* naturali che Mead e Black individuarono (2003) al fine di confrontarli con gli *artificial reef*. Inoltre, il passaggio dell'importante arteria stradale della via Aurelia, la presenza di ristoranti ed esercizi commerciali nell'immediato entroterra hanno via via richiesto la costruzione di scogliere parallele prossime a riva, lunghe circa 120 m. La costruzione di un ASR migliorerebbe la capacità di difesa della costa da parte delle opere tradizionali già esistenti ed al contempo permetterebbe di potenziare le caratteristiche di surfabilità dello *spot*.

Il progetto dell'ASR, che ingloba e rafforza le barriere già esistenti, è orientato a 200°N (settore di Libeccio) ed ha una lunghezza di progetto di 380 m con due bracci convergenti di diverso orientamento e quota in cresta, i cui estremi sono distanti 300 m l'un dall'altro. La quota è variabile tra -0.5 e -1.0 m rispetto al m.m., mentre il varco centrale ha una profondità di 3.5 m. La pendenza lato mare è abbastanza moderata (1/7) al fine di ottenere un frangente di debole intensità per poter effettuare manovre quali il *tube riding*. Secondo il progetto, i bracci principali sono costituiti di geotubi e geocontenitori, mentre solo le zone dove non si pratica il *surf* sono costruite in massi di pietra naturale, al fine di risparmiare sui costi e di riutilizzare parte del materiale dei frangiflutti esistenti. La superficie liscia dei geotubi, oltre a ridurre la turbolenza locale, abbassa il rischio di incidenti per i surfisti in caso di collisione. La costruzione dell'ASR deve prevedere infine un ripascimento della spiaggia per un volume stimato di sabbia pari 10.000 m³ (Franco et al., 2007).

Dopo questa serie di esempi si passerà ora alla dettagliata disamina del progetto di un *reef* artificiale, tenuto conto delle molteplici variabili progettuali in gioco. Dapprima si cercherà di stabilire le condizioni di surfabilità di un'onda (anche in relazione alla tipologia di *surf* eseguito dai *surfers*), poi, dopo aver descritto le componenti batimetriche principali, si cercherà di definire i criteri ed i parametri di progetto ed i metodi per combinarli al fine di poter giungere ad una soluzione progettuale che soddisfi gli obiettivi preposti. Si illustrerà un'ipotesi di progetto sul litorale romagnolo, tra Porto Verde e Cattolica (RN). La progettazione passerà dalla ricognizione delle caratteristiche del sito, da una definizione di massima della geometria impiegando le formule dedotte nei paragrafi precedenti e da una verifica mediante codice numerico MIKE 21. Infine si riporteranno i risultati delle simulazioni, sia per quanto attiene al funzionamento ottimale del *reef* sia per quanto riguarda le necessità di salvaguardia della spiaggia e gli effetti indotti sull'idrodinamica.

L'idrodinamica e l'esercizio del surf

I parametri che regolano il *surf* sono sostanzialmente quattro, qui di seguito riportati.

Altezza e tipologia dell'onda frangente

In dipendenza dalla preparazione del surfista, sono considerate cavalcabili le onde di altezza maggiore di 0.5 m. Non è così semplice definire un frangente ideale per l'esercizio del *surf*. E' risaputo che cavalcare l'onda è più piacevole se l'onda frange con una forma *plunging*, identificabile per mezzo del parametro di Iribarren e Battjes

$$\xi = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{s}} \quad , \text{dove} \quad s = \frac{H}{L} \quad (1)$$

ove s è la ripidità dell'onda, L la lunghezza d'onda, H l'altezza d'onda al frangimento e $\tan\alpha$ è la pendenza locale del fondale. Esistono tre tipi di frangenti: *spilling* ($\xi < 0.5$), *plunging* ($0.5 < \xi < 3.3$) e *surgling* ($\xi > 3.3$). Tra la categoria *plunging* e *surgling* è pure presente la tipologia *collapsing*, in una prima fase simile al *plunging*, differenziandosi per il fatto che il fronte d'onda s'innalza repentinamente all'inizio e subito dopo collassa.

Tornando alla questione del frangente *plunging* ideale per il *surf*, esso in generale dipende dalla pratica che il surfista intende espletare e ciò si comprende maggiormente dalla Tabella 1, nella quale vengono sinteticamente riportate le preferenze dei surfisti (Hutt et al., 1998) riguardo al frangente desiderato in base al tipo di pratica da eseguire. Ora, il parametro di Iribarren e Battjes definito mediante la (1) è tuttavia inadatto a descrivere, all'interno della categoria *plunging*, le caratteristiche con cui le onde frangono (Fig. 4).

In altre parole non basta che sia *plunging*, ma la forma assunta dal frangente condiziona fortemente la categoria di *surf* praticata dai surfisti. Sayce (1999) sviluppò un modo per predire l'intensità delle *plunging waves* basato sull'analisi del cosiddetto *vortex ratio* di seguito definito:

Tabella 1 - Frangente ideale per i surfisti (Hutt et al., 1998).

PRATICA	TIPOLOGIA DI FRANGENTE IDEALE		
	SPILLING	PLUNGING	COLLAPSING e SURGING
Bodysurfing			
Bodyboard			
Shortboard			
Minimalibu			
Malibu			
Surf Skys			
Paddle Board			
Surf Kayaks			

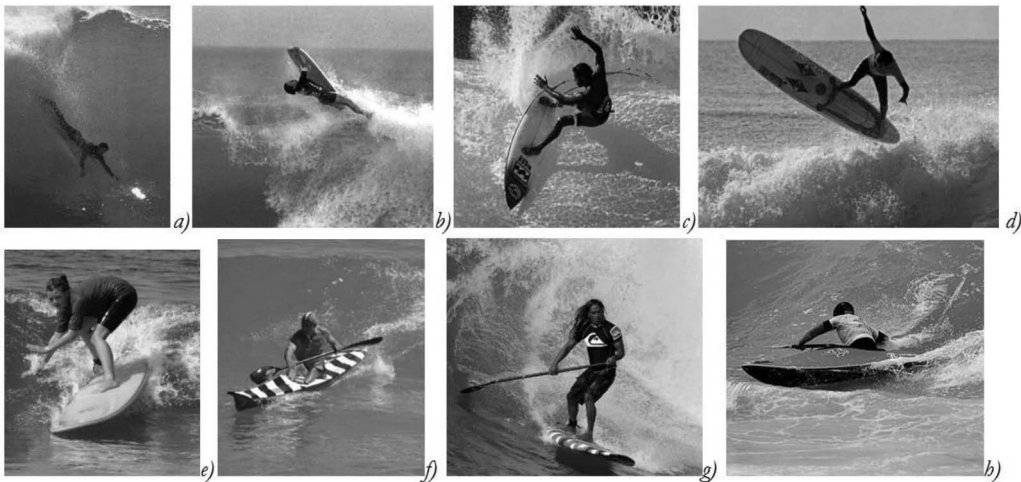


Figura 4 - Diverse categorie del surf che illustrano quelle elencate in Tab. 1: a) Bodysurfing; b) Bodyboard; c) Shortboard; d) Minimalibu; e) Malibu; f) Surf-Skys; g) Paddle-Board; h) Surf-Kayaks.

$$VR = \frac{L}{W} \quad (2)$$

dove L e W sono l'ampiezza maggiore e minore del tubo ideale sotteso dal frangente *plunging* (Fig. 5), ipotizzando che il labbro superiore dell'onda che ricade nel cavo successivo descriva una sezione che può essere analiticamente rappresentata da una curva di terzo grado (Longuet-Higgins, 1982).

L'intensità del frangimento è inversamente proporzionale al *vortex ratio*. Mead e Black (2001) arrivarono anche a definire un legame di tipo puramente empirico tra il *vortex ratio* e la variazione del fondale. E' cioè possibile stimare il rapporto e quindi identificare, all'interno della categoria *plunging*, qual è la tipologia di frangente che si forma mediante questa formula sperimentale:

$$VR = \frac{0,065}{\Delta} + 0,821 \quad (3)$$

dove Δ è il gradiente del fondale ortogonale alle isobate.

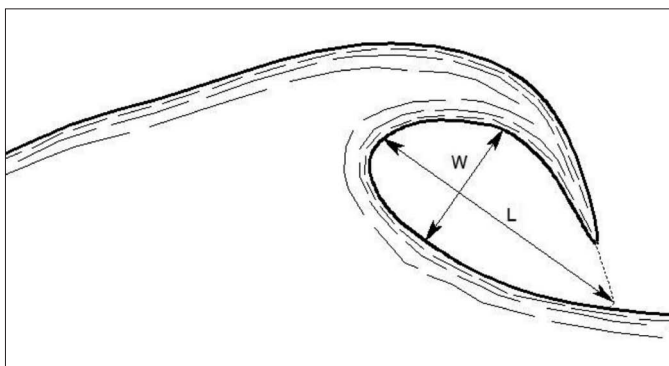


Figura 5 - Forma del frangente *plunging*, per definire il *Vortex Ratio*.

Angolo e velocità di peel e velocità del surfista

L'onda non può frangere lungo tutta la linea di cresta al medesimo momento. Come risultato di questa evidenza, l'onda comincia a frangere da una zona ben definita e progredisce in maniera graduale fino a rompersi lungo tutto lo sviluppo della cresta. Con riferimento alla Figura 6, la velocità con cui l'onda, nel sistema di riferimento relativo e solidale al verso con cui essa avanza, viene franta è definita velocità di *peel* o anche *peel velocity* e simbolicamente espressa come V_p . L'angolo di *peel*, detto anche *peel angle*, è compreso tra la linea di cresta e la linea che congiunge i frangenti tra la stessa cresta ad istanti consecutivi t_1 e t_2 dove l'onda ha compiuto un tragitto pari a $d = c (t_2 - t_1)$. In altri termini, l'angolo di *peel* è l'angolo planimetrico formato tra la cresta non ancora franta dell'onda ed il percorso seguito dal frangente nel sistema di riferimento assoluto (solidale ad un osservatore fisso) ed è quel parametro che determina la *peel velocity* a parità di celerità d'onda. La somma vettoriale della velocità di *peel* e della celerità d'onda determina la velocità del surfista nel riferimento assoluto, detta anche V_s o *surfer velocity*:

$$V_{s\ min} = \frac{c}{\sin\alpha} = \frac{\sqrt{gh}}{\sin\alpha} \quad (4)$$

La V_s così espressa è la minima velocità che il surfista deve mantenere per poter cavalcare l'onda (Scarfe, 2002), nel sistema di riferimento fisso. E' allora chiaro che, da come è stato definito l'angolo di *peel*, valori di α troppo piccoli non permettono ai surfisti di cavalcare perché la *surfer velocity* diventa molto elevata ed è quindi impossibile per il surfista rimanere in fase con l'onda (Hutt et al., 2001). Pertanto l'angolo α ottimale è principalmente variabile in funzione dell'abilità del surfista e dell'altezza d'onda in questione (generalmente tra 30° e 60°).

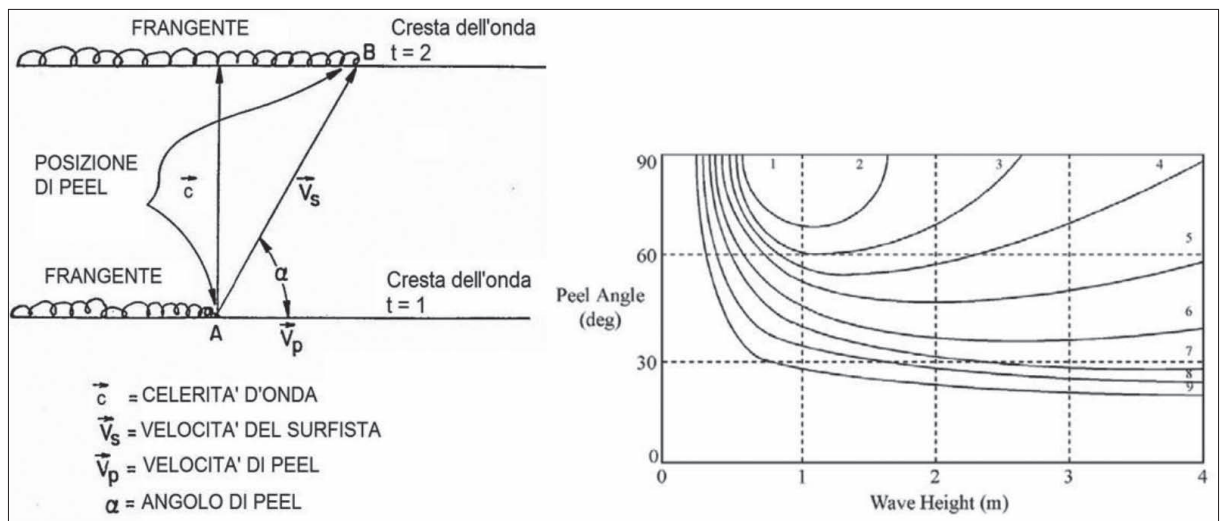


Figura 6 - A sinistra, definizione dell'angolo di peel, della velocità del surfista e della velocità di *peel* (Hutt et al., 2001). A destra, l'angolo di *peel* ideale in funzione dell'altezza d'onda e del grado di abilità del surfista. I livelli da 1 a 9 evolvono da surfista dilettante a surfista più esperto. Più l'atleta prende confidenza con le onde, più il *peel angle* si abbassa (Scarfe et al., 2002).

Correnti indotte dal frangimento

Le correnti devono avere in generale velocità abbastanza contenute per consentire l'accesso alla zona di partenza del surfista (detta anche zona del *line up*). Quando le correnti attraversano la linea dei frangenti, interferiscono con le onde e le fanno frangere in maniera assai irregolare, del tutto inadatta alla pratica del *surf*. Per contro, le correnti di *rip* possono essere (talora pericolosamente) usate per raggiungere più agilmente le zone di frangimento.

Criteri progettuali di un artificial surfing

Le caratteristiche geometriche dei *reef* naturali possono essere in larga parte riprese per la progettazione di un

ASR. Mead e Black (2001) identificarono sei zone batimetriche peculiari del *reef* che sono di basilare importanza per la trasformazione ondosa (Fig. 7).

Wedge e *focus* (scarpa e punta) costituiscono le parti principali dei *surf breaks* naturali e permettono di ottenere onde di alta qualità (*a-frame*) assieme ad un angolo di *peel* ottimale nella zona del *line up* che consenta al surfista di catturare l'onda in arrivo. I bracci sono disposti simmetricamente rispetto all'asse della struttura e legano la loro orientazione all'angolo di *peel* ottimale che si vuole ottenere. Il *focus* invece è un punto di convergenza dei raggi d'onda ed è la parte che assicura la formazione di un'onda frangente di tipo *a-frame* cioè un'onda che frange simmetricamente rispetto ad un punto centrale (situato proprio sopra *focus*), definendo due zone di *take off* per i surfisti. Il meccanismo di trasformazione ondosa si basa sul fenomeno della rifrazione sopra i bracci, mediante il quale i raggi vengono deviati sul *focus* dove poi l'onda frange. Il *ridge* (crinale) cioè una zona ad incremento improvviso ed istantaneo del gradiente del fondale, provvede a ridurre il valore dell'angolo di *peel* ed aumentare l'intensità del frangente nel caso questi due parametri raggiungano valori rispettivamente troppo alti e troppo bassi. L'onda che avanza lungo il profilo del *focus* aumenta la sua ripidità per *shoaling* e frange in corrispondenza del picco, determinando il frangente prediletto.

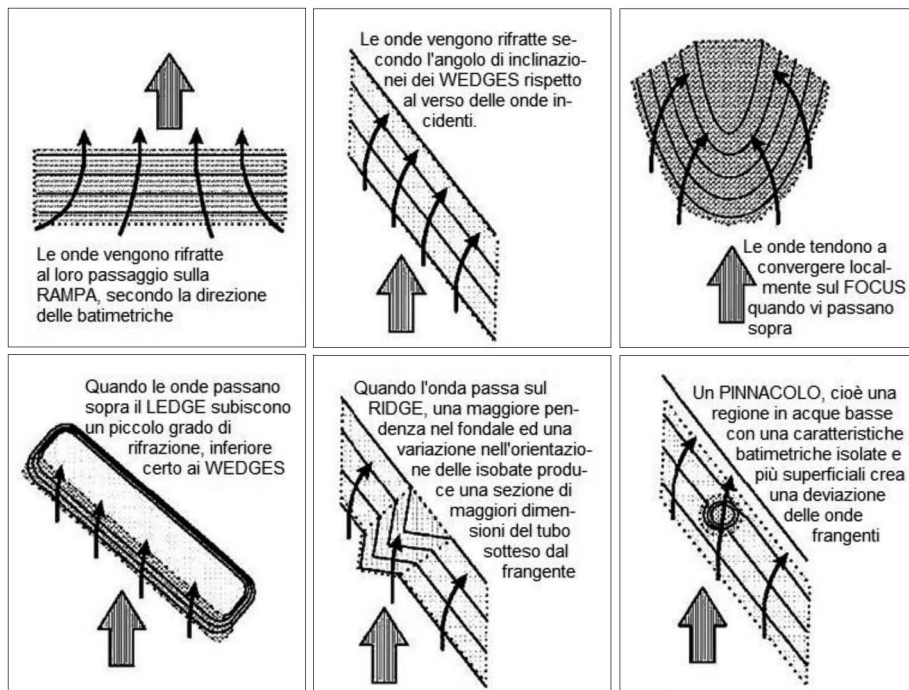


Figura 7 - Meccanismo di trasformazione delle onde sopra un *natural reef* (Mead e Black, 2003).

Confronto tra *natural reef* e criteri progettuali per un *artificial reef*

Un fenomeno da computare nella trasformazione ondosa su *reef* naturali è il cosiddetto *wave pinching* (letteralmente, pizzicamento dell'onda). Questo fenomeno consiste nella progressiva diminuzione del tubo ideale contenuto all'interno del frangente ed entro il quale il surfista effettua il *tube riding*. Tale fenomeno si presenta con una riduzione, in termini di dimensioni caratteristiche del tubo, verso le estremità del *reef*, durante l'evoluzione del *breakpoint*. Per diminuire il *wave pinching* è necessario incrementare alle estremità dei *bracci* tanto la pendenza delle scarpate quanto l'angolo planimetrico di inclinazione dei bracci stessi (Mead e Black, 2001).

Inoltre, per effetto dello *shoaling* l'onda risente del fondale, sicché l'intensità del frangimento non può mantenersi costante lungo il *reef* (poiché cambia il *vortex ratio*). Per ovviare a ciò è necessario che l'ASR abbia una pendenza delle scarpate variabile, da valori più elevati nei punti a fondali più alti fino a valori più contenuti vicino a riva, ottenendo un profilo ideale di tipo parabolico-convesso (Fig. 8).

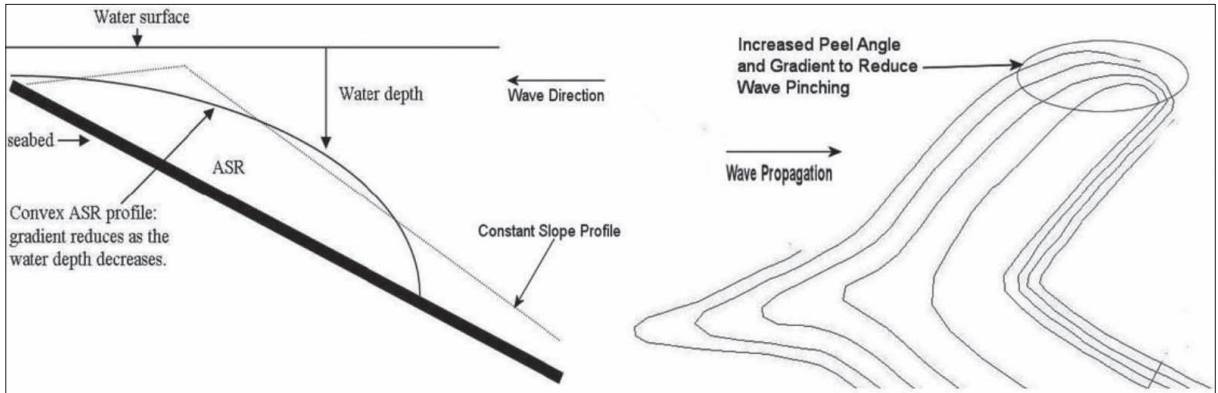


Figura 8 - Accorgimenti progettuali per migliorare la surfabilità del reef: a sinistra il profilo altimetrico viene sagomato in maniera parabolica, mentre a destra si assiste al cosiddetto “bending” che consiste nell’aumentare l’angolo dei bracci nelle zone periferiche, (Mead, 2003).

Quota della cresta

La sommergenza della cresta è un parametro progettuale importantissimo, al fine di individuare, per un prefissato livello della marea, l’altezza minima che deve possedere un’onda per frangere in corrispondenza della struttura. La sommergenza della cresta è essenziale anche per il livello di sicurezza richiesto dagli sportivi, a seguito di una caduta dalla tavola (*wipe-out*) che potrebbe minacciare la loro incolumità.

Idrodinamica e correnti attorno al reef

L’altezza d’onda da cavalcare può essere incrementata dai reef artificiali per effetto *shoaling*: Tutto questo, se da una parte aumenta H , dall’altra distorce l’angolo di *peel* perché le onde più alte tendono a frangere in acque più profonde mentre le H minori frangono di norma in acque basse ed in maniera non parallela alle isobate del reef.

Il sovrizzo del pelo libero (*wave set-up*) sull’opera, dovuto alla trasformazione di energia cinetica in energia potenziale, è tutt’altro che omogeneo: c’è un piccolo sovrizzo ai lati del reef dovuto al frangimento delle onde più piccole, seguito da un abbattimento del pelo dell’acqua nella zona interessata dalle *rip currents*.

La differenza di livello idrico causa necessariamente un flusso di massa e la creazione di *feeder currents* che scorrono dal centro dell’opera verso le zone periferiche del reef. Le stesse poi interferiscono con le correnti longitudinali, determinando una zona ad elevata turbolenza nelle zone periferiche del reef, dove il surfista sarà impossibilitato ad accedere. In questa zona si assiste alla nascita di forti correnti di ritorno a largo. Le correnti di *rip* sono intrinsecamente legate al fenomeno del *wave set-up* che può essere calcolato mediante la formula di Bellotti (2004):

$$\Delta z_c = \frac{3}{16} \frac{H^2_{bb} - H^2_{b0}}{b} \quad (5)$$

dove con il pedice 0 si indica l’altezza d’onda al piede del reef lato mare e col pedice b l’altezza al piede lato riva, se si può considerare il reef come una barra posta sul fondale di profondità b . Il *set-up* sopra la struttura può essere considerato il principale responsabile della formazione delle correnti *alongshore* e, di conseguenza, di quelle di *rip*. Nella zona dove le correnti di *rip* intersecano la linea dei frangenti, l’altezza d’onda aumenta, l’angolo di *peel* si riduce e la linea dei frangenti si sposta al largo (Fig. 9, Van Ettinger, 2005). Se la linea dei frangenti si sposta a largo, induce al frangimento onde più alte, diminuendo (pericolosamente) l’angolo di *peel*, con tutti i riscontri negativi sulla sicurezza del surfista (Mead et al., 2003). E’ quindi necessario tenere conto delle correnti di *rip* in fase di progetto, soprattutto cercando di limitare le interferenze delle stesse con il fenomeno del frangimento nelle zone periferiche del reef. Se il reef viene opportunamente sagomato, in maniera tale che la parte centrale presenti un canale che permetta il ritorno a largo di una quota parte della corrente, allora la distorsione della linea dei frangenti appare meno marcata (Van Ettinger, 2005), con un conseguente beneficio sulla sicurezza dei surfisti.

Progettazione del canale di *rip*

Si è soliti adottare la configurazione già anticipata sopra nell'intento di limitare gli effetti negativi delle correnti di *rip*. Il canale centrale, che è chiamato anche canale di *rip* (Van Ettinger, 2005; Henriquez, 2004), permette di eliminare le interferenze d'onda nel punto del *take off* dei surfisti, di aiutarli a raggiungere la zona del *take off* tramite una corrente di ritorno a largo di moderata intensità e di diminuire l'intensità della corrente di ritorno. Il posizionamento del canale comporta l'avanzamento verso riva della linea dei frangenti, in quanto le correnti di ritorno, di minore intensità, influiscono meno sull'altezza d'onda ed in particolare si avranno altezze d'onda al frangimento più piccole ma angoli di *peel* più elevati (a favore di sicurezza). Anche il sovrizzo indotto risulta minore.

L'intensità di tali correnti create dalla differenza di *wave set-up* inducono a variare, fino a valori che risultano ottimali, le caratteristiche geometriche del *rip-channel* (Raniers et al., 2004) adottando un modello numerico. La forzante è costituita da attacchi ondosi perpendicolari alla linea di riva (condizione più estrema per il *wave set-up*). Si è evidenziato che più l'angolo interno d'apertura del *rip-channel* δ ampio, minore è l'intensità delle correnti, in particolare si registra una sensibile riduzione della velocità delle correnti *alongshore*, da valori prossimi ad 1 m/s fino a valori più miti dell'ordine di 0,8 m/s per angoli prossimi a 60°. Anche la pendenza delle scarpate interne al *rip-channel* incide inevitabilmente sull'intensità: Più il canale ha pendenze elevate, più i pennacchi delle correnti si assottigliano ma si elevano in intensità. Particolare importanza riveste la larghezza del canale come parametro per controllare la velocità. In generale, non è afferabile che allargando il canale si ottengono *rip-currents* di minore intensità, come si evince dalla modellazione matematica condotta su una geometria tipica per un reef dotato di *rip-channel* (Van Ettinger, 2005). In particolare, assumendo un rapporto 1/6 tra ampiezza del reef e larghezza del *rip-channel* si minimizzano le correnti di ritorno. Da ultimo analizziamo il caso in cui l'ASR tagliato non si innesti al fondale in maniera uniforme sul lato riva ma vi sia presente un piccolo salto, cioè ipotizziamo che il reef venga "tagliato". In questo caso, le correnti di *rip* appaiono meno intense rispetto al caso precedente, con effetti benefici sul posizionamento e sulla localizzazione della linea dei frangenti. Il "taglio" del reef lato riva appare senz'altro una scelta oculata.

Orientazione ed angolo d'apertura del reef

Il tipo più semplice di reef è costituito da un'opera che in prima approssimazione può essere ricondotta ad un triangolo con la punta orientata nel verso delle onde incidenti secondo lo *swell* dominante. Un importante apporto alla determinazione della forma, allo studio della linea dei frangenti, alla definizione dell'angolo di *peel* e delle correnti indotte furono date da Henriquez (2004), combinando la modellazione numerica a quella fisica. Tali esperienze permisero di relazionare la forma del ASR agli effetti voluti per l'angolo di *peel* ed in particolare di definire quelle che sono le caratteristiche di progetto, al riguardo particolarmente della forma e posizione del *focus*.

Come abbiamo visto, valori troppo bassi dell'angolo di *peel* inducono forti *peel* e *surfer velocity* e, di rimando, un'onda cavalcabile solo da surfisti alquanto esperti. Per modulare l'angolo di *peel* si può agire sulla ripidità delle sponde e sull'angolo di inclinazione dei bracci rispetto alla linea di incidenza delle onde: va cioè considerata la rifrazione ondosa sopra il reef per permettere di frangere l'onda in maniera appropriata.

Per calcolare l'orientazione delle scarpate (e quindi l'angolo di apertura del reef) si può in prima approssimazione ricordare la ben nota legge di Snell:

$$\frac{\sin \mathcal{G}_s}{c_s} = \frac{\sin \mathcal{G}_b}{c_b} \quad (6)$$

dove gli angoli di obliquità \mathcal{G}_s e \mathcal{G}_b si riferiscono rispettivamente all'attacco del reef col fondale (*seabed*) ed al frangimento e sono definiti rispetto alla normale alle sponde. Ora, ponendo $\mathcal{G}_b = \alpha$ (angolo di *peel*) e $c_b = \sqrt{gb}$ si ottiene:

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{gb} \cdot \sin \mathcal{G}_s}{c_s} \quad (7)$$

ovvero, nel problema inverso, noto l'angolo di *peel* che vogliamo ottenere, è possibile ricavare:

$$\mathcal{G}_s = \arcsin \left(c_s \frac{\sin \alpha}{\sqrt{gb}} \right) \quad (8)$$

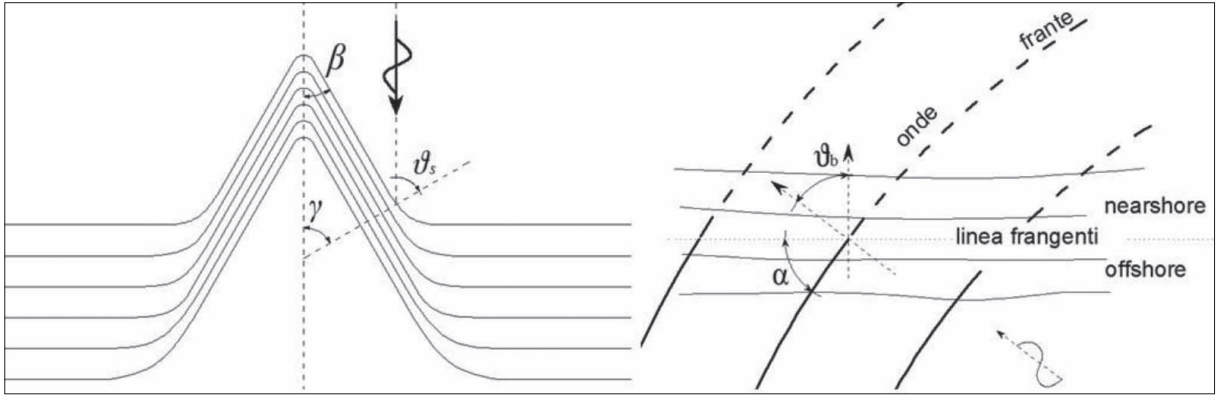
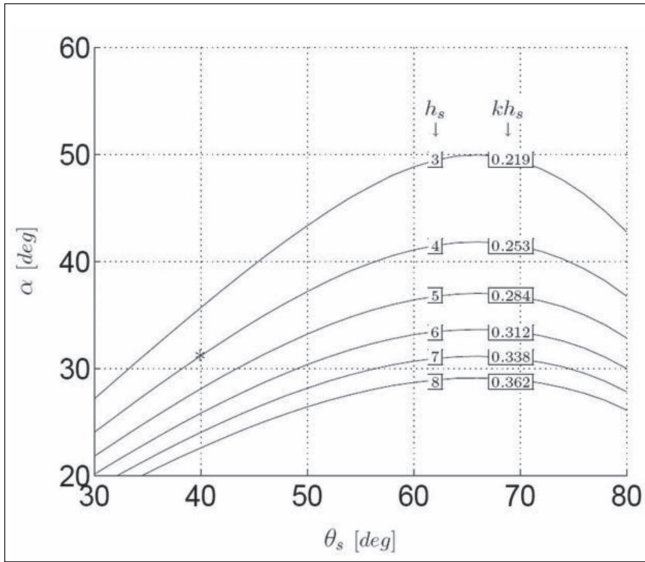


Figura 10 - A sinistra, relazioni geometriche tra l'angolo all'attacco del reef con il fondale ϑ_s , l'angolo al centro γ e l'angolo di apertura β . A destra, relazione tra l'angolo di peel e l'obliquità al frangimento ϑ_b .

Assumiamo l'orientazione dell'asse di simmetria del reef coincidente con la direzione dello *swell* dominante e facciamo riferimento alla Figura 10. Si vede come l'angolo γ coincida in realtà con ϑ_s e pertanto l'angolo di apertura 2β (angolo di apertura del reef) sarà dato da:

$$2\beta = \pi - 2 \cdot \vartheta_s \tag{9}$$

E' quindi evidente dalla (7) che l'angolo di peel, almeno in prima approssimazione, è funzione del rapporto tra le celerità al frangimento e al piede delle scarpate, nonché l'angolo con cui le onde incidono sugli stessi ovvero, per diretta conseguenza, l'inclinazione del reef rispetto alla linea di costa.



Alcuni autori (Henriquez, 2005) cercarono di rapportare l'angolo di peel all'obliquità ϑ_s che le onde assumono sul *seabed* ed alla profondità dello stesso rispetto al medio mare h_s . Si evince come l'angolo di peel decresca all'aumentare del fondale (Fig. 11). Una volta dunque nota l'obliquità ϑ_s e il fondale locale è immediato determinare l'angolo di peel ovvero, nel caso di progetto del reef, richiedendo un peel angle specifico (non troppo basso per motivi di sicurezza), si entra nel grafico con α e, a parità di h_s , si deduce ϑ_s .

Figura 11 - Andamento dell'angolo di peel con il fondale e l'angolo davanti al reef, rispettivamente h_s e ϑ_s .

Effetti sul trasporto solido e sul litorale

Da ultimo occorre considerare che il posizionamento di un ASR (come tutte le opere a cresta bassa) provoca una locale riduzione della energia ondosa incidente e quindi delle correnti e del trasporto solido. Non ci sono studi specifici che consentano di valutare con precisione l'effetto di un reef sul litorale. Per quanto concerne gli effetti locali di un reef sussistono alcuni criteri empirici mediante i quali è possibile determinare la formazione di un saliente o un tombolo (Black e Andrews, 2001) per effetto del posizionamento rispetto alla linea di riva e delle sue caratteristiche geometriche. Con riferimento alla Figura 12, il saliente può non formarsi se

$$\frac{B}{S} \geq 0.1 \tag{10}$$

dove S ed B sono rispettivamente la distanza da riva e la larghezza (intesa parallelamente alla linea di costa) del *reef*. Il tombolo può formarsi se

$$\frac{B}{S} \geq 0,6 \quad (11)$$

La dimensione (approssimativa) del saliente può essere calcolata mediante:

$$\frac{X}{B} = 0,498 \cdot \left(\frac{B}{S}\right)^{-1,268} \quad (12)$$

mentre l'estensione del saliente è deducibile da:

$$\frac{Y_{off}}{D_{tot}} = 0,125 \pm 0,02 \quad (13)$$

dove Y e X sono, rispettivamente, l'ampiezza (intesa perpendicolarmente alla linea di costa) del saliente e la distanza di questo dal *reef*, sicché si ha anche $X+Y=D$.

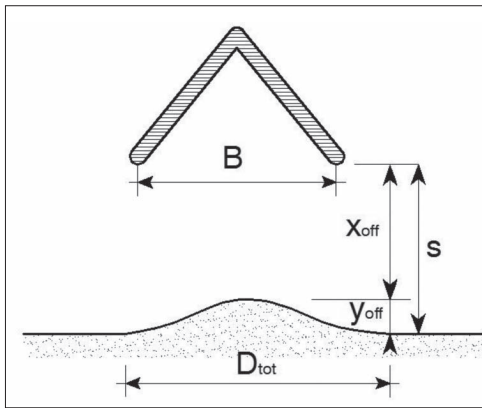


Figura 12 - Schematizzazione del saliente e indicazione delle dimensioni.

Ipotesi progettuale

Il sito

Il vivo interesse del “Marasma Surf Club”, associazione sportiva che pratica il *surf* nelle vicinanze del fiume Conca ha motivato l'impiego di un ASR quale struttura marittima multifunzionale per la difesa e l'uso ricreativo della costa.

I luoghi interessati dall'intervento sono le cittadine di Cattolica e Porto Verde (frazione di Misano Adriatico, noto per la darsena turistica) in provincia di Rimini (Figura 13). Nella zona è presente la foce del Fiume Conca dove, sulla sinistra, sorge la darsena turistica di Porto Verde mentre, sulla destra, l'acquario “Le Navi” e la serie di barriere emergenti che sono poste a presidio per la difesa della spiaggia.

Una delle ultime campagne di rilievo *multibeam* del 2006 ha permesso di elaborare una dettagliata batimetria della zona d'intervento: essa appare subito uniforme, con isobate quasi sempre parallele alla linea di costa, eccettuata la zona prospiciente a Porto Verde dove, la presenza del porto turistico, rende necessaria la periodica manutenzione del fondale mediante le consuete operazioni di dragaggio.

Da Porto Verde procedendo lungo il litorale verso Nord, nei pressi di Misano Adriatico, la presenza di pennelli ortogonali alla riva ha modificato fortemente l'andamento delle isobate, creando delle zone di accumulo e delle fosse di erosione localizzate: in alcune zone, laddove il fondale presenta in media la profondità di -2.0 m, sono presenti fosse a quota -3.5 m rispetto al medio mare.

La natura mineralogica dei sedimenti presenti nell'area è per il 50% formata da materiale carbonatico, mentre la rimanente parte è costituita da materiali più resistenti all'azione ciclica dell'onda battente, per lo più feldspati e quarzo (come da campagna di rilevazione geologica e granulometrica risalente al 1982 condotta da IDROSER). Tale composizione è dovuta alla miscelazione di sedimenti trasportati dalle correnti litoranee, dal trasporto solido del Conca e dalle sabbie da ripascimento, le quali hanno un elevato tenore di feldspati e quarzi e sono privi (non oltre il 5%) di materiale organico. Per quanto attiene alla pezzatura dei sedimenti, il D_{n50} sulla spiaggia oscilla tra 0.2 e 0.3 mm senza forti scostamenti da quelli rilevati sulle coste del litorale romagnolo. La distribuzione dei materiali presenta una progressiva ma continua diminuzione del D_{n50} dei sedimenti, con una maggiore uniformità dei diametri stessi progredendo verso acque profonde. Fino alla batimetria -2.0 m il D_{n50} è compreso tra 0.20 e 0.25 mm, con punte anche di 0.30 mm mentre, tra -2.0 m e -5.0 m di profondità, i diametri oscillano tra 0.15 e 0.20 mm. Il D_{n50} si stabilizza attorno al valore 0.10 mm attorno alle isobate -8.0 m o -10.0 m. Tuttavia, pur avendo diametri maggiori alla media probabilmente dovuti all'erosione della falesia al promontorio del S. Bartolo nonché alla vicinanza della foce

del Conca, è pur sempre rispettato il consueto rapporto di 2 a 1 tra i diametri medi passando dalla battigia a fondali ben più profondi.

Conducendo una serie di prove penetrometriche dinamiche SPT nell'ambito dei lavori per l'ampliamento del vicino porto di Cattolica, è stato possibile poi ricostruire la stratigrafia del terreno. Fino ad 1.50 m dal piano campagna (coincidente con il fondale locale) prevale terreno sabbioso con sfasciume conchigliare e piccola presenza di materiale organico. Da 1.50 a 5.40 di profondità è presente uno strato di limo argilloso, da 5.4 a 9.0 m ghiaia fortemente eterometrica con presenza di limo. Gli strati più profondi (a circa 10 m dal piano campagna) sono caratterizzati da un materasso di sabbia mista a ghiaia. Inoltre, attraverso la medesima prova, è stato possibile determinare la liquefacibilità del terreno, intesa come verifica del coefficiente di sicurezza (che deve sempre essere maggiore almeno ad 1,3):

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} \quad (14)$$

dove per *CRR* si intende la *Cyclic Resistance Ratio* (resistenza a taglio ciclico del terreno) e per *CSR* la *Cyclic Stress Ratio* (intesa come massima sollecitazione di taglio ciclico indotta sulla struttura) secondo il metodo *CNR – GNDT* (Monaco, 2008), assumendo un grado di sismicità pari a 9, una percentuale del 10% a tutte le profondità per il materiale fine (passante al vaglio 200 ASTM), confrontando tale assunzione con i riscontri granulometrici del sito.

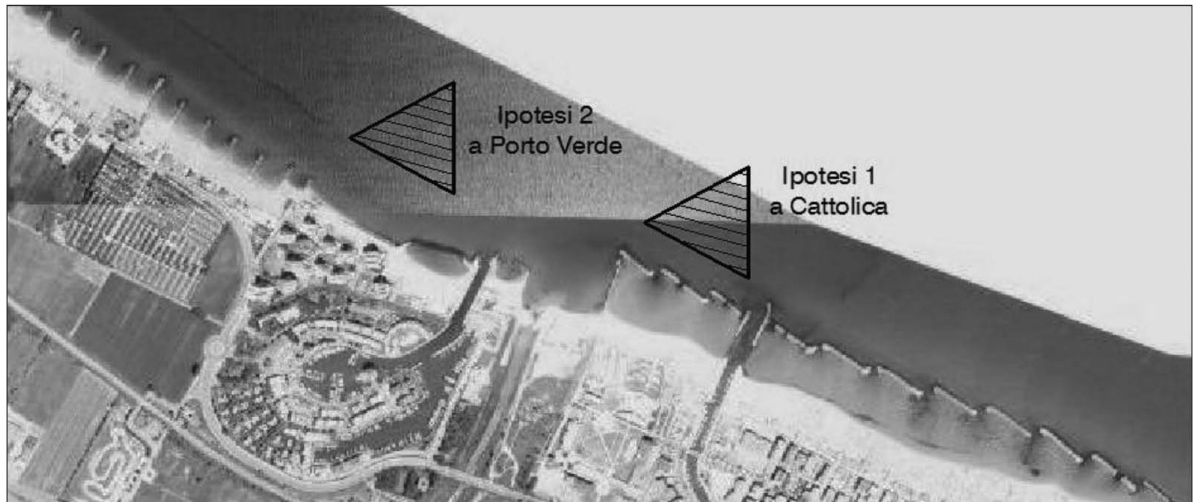


Figura 13 - Zona d'intervento, alla foce del fiume Conca, dove vengono evidenziate le possibile zone di collocazione di un ASR.

Ricostruzione del regime ondoso a largo di Rimini

Il clima meteomarinò è stato ricostruito analizzando una serie storica lunga nove anni (1993-2002) contenente i dati ondametrici, anemometrici e meteorologici provenienti dalla boa di acquisizione dati montata sulla piattaforma Azalea a largo di Rimini (coordinate geografiche latitudine 44°10'020"N, longitudine 12°43'180" E) su fondali di -19 m, supponendo di trovarci in acque profonde e quindi di non considerare gli effetti di *shoaling* e rifrazione. Il clima meteomarinò è pertanto stato ricostruito in termini di tabelle di frequenza relativa d'accadimento. Per quanto attiene alle direzioni d'onda ricavate a largo, è opportuno sintetizzarle e raggrupparle in un intervallo di direzioni che tenga conto dell'orientazione della spiaggia rispetto al Nord (109°) e dell'effetto del vicino promontorio del S. Bartolo, il quale scherma le onde provenienti da settori con un'obliquità maggiore a 90°N. Pertanto in Tabella 2 non verrà riportata la totalità dei casi $H_s - Dir$ (cui compete una frequenza relativa del 100%), bensì quelli relativi ad un intervallo 300°N – 90° N (frequenza relativa del 42.42%).

Quello che la Tabella 2 vuole evidenziare è inoltre il fatto che dal settore compreso tra 45° e 75° Nord provengono onde più alte rispetto alle altre direzioni. La Tabella 3 mostra invece la distribuzione $H_s - T_s$ tenuto conto

Tabella 2 - Frequenza relativa d'accadimento H_s - Dir per $300^\circ\text{N} < \text{DIR} < 90^\circ\text{N}$.

H_s [m] \ Diagonale Dir [$^\circ\text{N}$]	300-315	315-330	330-345	345-360	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	%
0.00-0.50	6.83	4.81	2.65	1.99	1.63	1.36	1.32	1.39	1.59	2.02	25.59
0.50-1.00	3.41	1.89	0.75	0.47	0.44	0.38	0.44	0.52	0.69	0.80	9.80
1.00-1.50	0.76	0.39	0.15	0.12	0.11	0.18	0.28	0.53	0.58	0.47	3.57
1.50-2.00	0.08	0.07	0.04	0.04	0.06	0.08	0.21	0.43	0.47	0.24	1.73
2.00-2.50	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.06	0.14	0.30	0.29	0.13	1.00
2.50-3.00					0.01	0.02	0.08	0.17	0.14	0.04	0.46
3.00-3.50							0.03	0.09	0.05	0.01	0.18
3.50-4.00							0.01	0.04	0.02		0.07
>4.00								0.01	0.01		0.02
%	11.09	7.18	3.60	2.63	2.27	2.07	2.52	3.49	3.84	3.72	42.42

Tabella 3 - Frequenza relativa d'accadimento H_s - T_s .

H_s [m] \ Diagonale T_s [s]	< 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	%
0.00-0.50	56.01	8.46	1.62	0.25	0.03		66.37
0.50-1.00	7.06	10.76	3.58	1.14	0.14	0.01	22.67
1.00-1.50	0.05	2.19	3.14	0.87	0.31	0.01	6.58
1.50-2.00		0.07	1.64	0.55	0.14	0.01	2.41
2.00-2.50			0.22	0.89	0.03		1.14
2.50-3.00			0.01	0.43	0.07		0.52
3.00-3.50				0.08	0.12		0.20
3.50-4.00					0.07		0.07
>4.00					0.02		0.02
%	63.12	21.47	10.22	4.20	0.94	0.03	100.00

vati dell'ordine di 6 secondi, il numero dei giorni cui l'opera risulterebbe fruibile si riduce ulteriormente. Se ad esempio si considerassero periodi superiori a 5 secondi, si avrebbero 2.44% durante l'estate (2.2 giorni) e 9.99% durante l'inverno (27 giorni), per 30 giorni annui complessivi circa. La condizione si restringe ulteriormente se consideriamo periodi superiori ai 6 secondi: 0.43% durante l'estate (praticamente neanche un giorno) e 4.15% durante l'inverno: in sostanza, solo 11 giorni annui.

Progetto di massima del reef

Luogo d'intervento

Le zone deputate ad accogliere il reef possono essere essenzialmente due. La prima ipotesi di progetto è a Cattolica, davanti all'acquario "Le Navi". La seconda è innanzi alla spiaggia di Porto Verde. La fattibilità di una piuttosto che l'altra ipotesi si basa su considerazioni inerenti al costo, alla sicurezza dei bagnanti ed alle conseguenze dell'intervento sul litorale.

che si considerano surfabili onde aventi $H_s > 0.5$ m e $T_s > 4$ s (per surfisti di elevata abilità i periodi si dilatano, mentre per i principianti sono accettabili anche periodi di 4 - 5 s).

La surfabilità dello spot risulta relativamente bassa e concentrata nei mesi non estivi, cioè quelli per i quali le mareggiate sono più frequenti. Se consideriamo l'opera aperta per lo più ad esordienti di tale pratica, con onde di basso periodo, si ottiene una frequenza congiunta di T_s e H_s pari a 5.86% per l'estate e 14.02% per l'inverno, che corrispondono rispettivamente a 5 e 38 giorni, per una totalità di 43 giorni all'anno. Se invece l'opera fosse rivolta a surfisti più abili, i quali apprezzerebbero periodi d'onda più ele-

Quota della cresta

La definizione della quota del reef è passata per una serie di considerazioni sulla percentuale di onde frangenti, in relazione al fondale su cui esse sono state valutate. Conoscendo l'altezza d'onda a largo H_o è stato possibile, implementando la relazione di dispersione, ricavare i valori di altezza d'onda a riva H_i per diverse quote del fondale h a cui si è ipotizzato di collocare la cresta del reef. Tale procedura si è ripetuta per diversi valori del periodo T_s . Per ognuno dei valori di H_i è stato poi calcolato il *breaker index* g_b , e, mediante il confronto con le tabelle del clima offshore, è stata dedotta la frequenza di frangimento, intesa come percentuale in cui, per quel valore di H_i , per un dato periodo T_s e per un dato fondale h , si è registrato un g_b maggiore a 0.5. Se, in effetti, g_b è maggiore a 0.5 l'onda è ritenuta potenzialmente frangente (Sayce et al., 1999). La procedura messa in atto ha allora evidenziato che per fondali prossimi a 2.00 m rispetto al medio mare, la percentuale di onde caratterizzate da g_b maggiore a 0.5 (cioè ritenute frangenti) è massima (26% di frequenza relativa) con una H_b minima di 1.25 m circa. Sulla base di questo risultato, la cresta del reef può essere posta a -2.00 m, in maniera tale da massimizzare il frangimento per le onde tipiche di quel paraggio. Il problema dell'affioramento dell'opera in bassa marea viene così superato dal momento che, sempre sulla base dell'analisi del clima meteomarinico ricostruito, le basse maree estreme si attestano su valori contenuti entro -0.70 m rispetto al medio mare. In condizioni di bassa marea e cavo d'onda (cioè in condizioni di livello idrico minimo) il reef è comunque provvisto di un conveniente battente idrico al di sopra della propria cresta.

Angolo di apertura del reef

Per poter definire l'angolo di apertura del reef 2β e quindi l'orientazione planimetrica delle scarpate da cui dipende l'angolo di peel è necessario partire dal ragionamento inverso. In altri termini si definisce dapprima l'angolo di peel in funzione del grado di abilità del surfista, ipotizzando che tale opera sia fruibile da surfisti di media abilità, che vengono rappresentati da un livello 3 nella scala delineata da Hutt (2001) e per i quali l'angolo di peel minimo da assicurare è 60° (Hutt et al., 2001). Mediante la (8) e la (9) è stato possibile desumere la seguente tabella, che prende in esame diversi periodi d'onda. Se, consideriamo surfabili le onde aventi valori di periodo $T_s > 5.5$ s, l'angolo d'apertura oscilla tra $60^\circ < 2\beta < 70^\circ$. Si sceglie quindi di adottare in prima approssimazione un angolo intermedio pari a 65° .

Pendenza delle scarpate

La pendenza delle scarpate è di fondamentale importanza per stabilire la tipologia di frangente che verrà a ricrearsi sopra la struttura. Se vogliamo ottenere frangenti tipicamente *plunging* ($0.5 \leq \xi \leq 3.3$) è allora necessario adottare una pendenza delle scarpate moderatamente acclivi, pari ad 1:3, come mostra la Tabella 5.

Geometria del canale di ritorno

Il canale di rip (chiamato anche *paddling* o *rip channel*) è caratterizzato da una certa larghezza b , da una pendenza interna delle sponde e dall'angolo di apertura al centro δ . Al fine di minimizzare l'intensità delle correnti di ritorno, si adottano (Van Ettinger, 2005) α pari a 60° , pendenze delle sponde interne pari a 1/3 e una larghezza b commisurata al rapporto

$$\frac{b}{B} \cong \frac{1}{6} \tag{15}$$

dove B è la larghezza del triangolo com'è schematizzato in Figura 14.

Tabella 4 - Variazione dell'angolo d'apertura del reef con il periodo: c_s e \mathcal{G}_s sono rispettivamente la celerità e l'obliquità al fondale davanti al reef; mentre 2β rappresenta l'angolo di apertura del reef.

T_s [s]	c_s [m/s]	\mathcal{G}_s [°]	2β [°]
2.5	3.86	33.9	112.0
3.5	4.91	45.5	89.4
4.5	5.43	51.8	76.3
5.5	5.71	55.7	68.6
6.5	5.87	58.2	63.8
7.5	5.97	59.7	60.6

Tabella 5 - Parametro di Iribarren e Battjes a riva per pendenze delle sponde 1:3.

T_s, S H_s, m	5	6	7
1.5 m	1.44	1.61	1.75
2.5 m	1.11	1.24	1.36
3.5 m	0.94	1.05	1.15

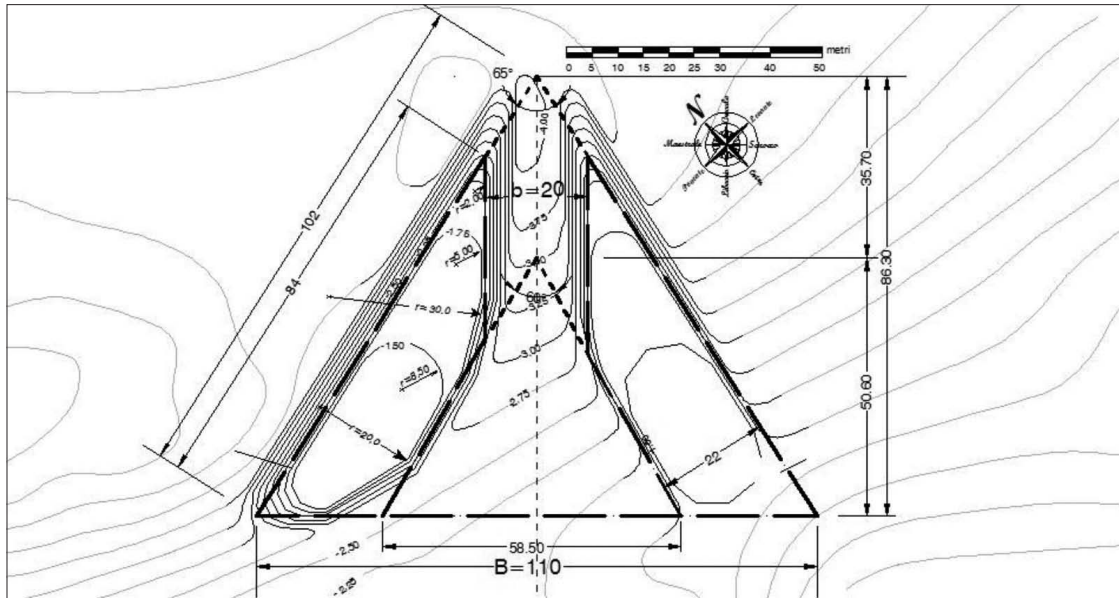


Figura 14 - Geometria del reef in entrambi le ipotesi progettuali.

Dimensioni

Le dimensioni del reef vanno relazionate alla necessità di contenere i volumi (e quindi i costi) ed alla disponibilità di spazio davanti alla spiaggia (e quindi alla zona dove verrà collocata). La decisione principale è quella di adottare la stessa geometria sia per quanto attiene alla spiaggia di Cattolica, sia per la spiaggia di Porto Verde (rispettivamente prima e seconda ipotesi). Il reef può essere assimilato ad un triangolo isoscele, con angolo al focus $2\beta=65^\circ$ e con angoli alla base pari a 57.5° , con dimensioni pari a 110 m circa di base per 86.30 m di altezza.

Le dimensioni così considerate fanno riferimento ad un triangolo equivalente del reef inteso ad una profondità di 2.00 m rispetto al medio mare. Naturalmente le dimensioni si allargano mano a mano che il fondale aumenta. Anche il *rip-channel* che, in corrispondenza dell'isobata 2.00 m è largo 20 m, si riduce progressivamente fino ad assumere una larghezza sul fondo pari a 9.50 m all'isobata 3.75 m. Angoli interni δ più elevati permettono di risparmiare sul volume del reef e quindi sul materiale di costruzione. Tuttavia non occorre esagerare, evitando di far mal funzionare il reef nel suo obiettivo principale di far frangere le onde incidenti sopra la propria cresta (che per δ eccessivamente elevati si troverebbe ad essere quasi inesistente). Un buon compromesso si può avere adottando $\delta = 60^\circ$ con centro d'apertura ad una distanza di circa 50 m dalla base.

Posizionamento davanti a Cattolica

La zona in oggetto è immediatamente prospiciente ad una serie di barriere emerse orientate per proteggere la spiaggia dalle mareggiate da Bora. La serie è composta da cinque barriere in massi divise da varchi di ampiezza variabile da 7 a 15 m. Le barriere distano circa 80 m dalla riva e sono innestate a Ovest con un piccolo molo situato vicino alla foce del Conca e ad Est con un pennello in massi che presidia l'entrata al Porto Canale Turistico di Cattolica, sorto alla foce del torrente Ventena. L'ampiezza della spiaggia emersa in sabbia è circa 50 - 60 m ed è attualmente usata come stabilimento balneare.

Da una prima disamina della batimetria della spiaggia sommersa ed emersa possiamo notare che il tratto in questione ha una lunghezza complessiva (da molo a pennello) pari a 280 m circa: entro tale zona si dovrà contenere l'ASR, tenendo conto che vi sono due vincoli principali: il requisito di navigabilità per le imbarcazioni che entrano od escono dal porto canale e la necessità di non incrementare oltremodo i volumi (e di conseguenza i costi) dell'opera visto che ci troviamo già in corrispondenza di fondali elevati.

Il primo requisito non desta particolari preoccupazioni, poiché l'accesso al porto canale da parte delle

imbarcazioni è comunque agevole dal punto di vista del governo delle barche. La batimetria, dalle barriere procedendo verso largo, presenta isobate che s'infittiscono molto velocemente, determinando un gradiente del fondale assai elevato e portandosi rapidamente attorno a valori variabili da - 4.00 a - 4.50 m. La pendenza della spiaggia emersa è in media pari al 3 - 4%, mentre nella spiaggia sommersa (fino a fondali di 2.00 m) intorno al 2.5% ed infine, se andiamo a largo delle barriere, la pendenza si abbassa ulteriormente con valori fino a 0.5 - 1%. E' in quest'ultima zona che si andrà a posizionare il *reef*, praticamente su di una distesa di sabbia poco acclive ma molto profonda.

Ciò detto, prima di partire col progetto vero e proprio è opportuno soffermarci sul fatto che la barriere esistenti possono causare un pericolo non piccolo per l'incolumità del surfista. Una messa in sicurezza dello *spot* potrebbe consistere nell'abbassare (di un masso) le cinque barriere.

Considerata la necessità di mantenere un adeguato livello di protezione della spiaggia, si sono elaborate due ipotesi: l'abbassamento o la rimozione della barriera centrale che si trova allineata con il *canale di rip* dell'ASR (vedi Fig. 15).

Nella prima ipotesi la cresta di tale barriera deve essere abbassata alla quota corrispondente ad un battente idrico adeguato ad attraversare il varco a nuoto per raggiungere la zona del *line-up* dalla spiaggia emersa. Per questo si porta la cresta da +1.50 m di emersione ad una sommersa pari a -1.50 m rispetto al medio mare.

Nella seconda ipotesi, la rimozione della barriera renderebbe disponibile una maggiore quantità di materiale da recuperare per la costruzione del *reef* stesso, circa 1200 m³ rispetto a 850 m³ nel caso di abbassamento di soli due massi.

Si valuta il coefficiente di trasmissione K_t globale a tergo delle opere mediante una media pesata sulle lunghezze dei varchi ($K_t=100\%$) e delle barriere (ove K_t è calcolato adoperando la formula di D'Agremond et al., 1996), si veda Tabella 6. La rimozione della barriera può accrescere il livello di sicurezza per i surfisti e tuttavia aumenta di un 10% l'agitazione ondosa media rispetto allo scapitozzamento della barriera stessa.

Tabella 6 – K_t per varie opzioni progettuali.

	K_t %
Stato attuale	2 %
Con abbassamento barriera centrale	21%
Con rimozione barriera centrale	30%

Posizionamento davanti a Porto Verde

In questo caso il tratto entro cui collocare il *reef* si trova tra i pennelli prospicienti alla darsena di Porto Verde e più precisamente nella zona subito ad Ovest di una micro-baia creata da pennelli già esistenti. La batimetria non appare molto uniforme, specie per la presenza di alcune fosse (da - 2.25 m a -4.75 m di profondità localizzate da 20 m a 100 m circa dalla battigia), spostate sul lato più occidentale del tratto in questione, mentre nella zona centrale il fondale appare più uniforme, con pendenza media di circa 3.5%. Il reef allora dovrà essere costruito in tale zona, evitando così di interessare le suddette fosse e quindi risparmiando sul materiale da costruzione dell'opera stessa. Il tratto in questione ha un'estensione complessiva di circa 350 m. Sono presenti tre pennelli: il primo, più a Ovest è lungo circa 30 m, con Dn50 \approx 1.20 m, larghezza in cresta pari a 4 m e pendenza delle sponde 1/2. I due pennelli rimanenti formano una micro-baia il cui sbocco a mare è presidiato da una piccola opera soffolta. I pennelli hanno un Dn50 \approx 1.20 -1.50 m, larghezza in cresta 4.0 – 5.0 m e pendenza delle sponde 1/2.

La linea di battigia dista circa 30 m dal complesso residenziale di Porto Verde, di cui 15 m di spiaggia in sabbia e 15 m di spiaggia in ghiaia e ciottoli, con pendenza in media pari al 12%.

Vengono contemplate due diverse ipotesi di progetto, che verranno di seguito spiegate. Fatto salvo il posizionamento che rimane il medesimo e le dimensioni che restano inalterate per entrambi i casi, nella seconda ipotesi si è deciso di collegare il reef a riva mediante pennelli sommersi e pennelli, uno dei quali già esistenti. Quest'alternativa rende tuttavia necessaria la costruzione di un pennello lungo 18 m in cresta e largo 4 m (nella Figura 16, quello più ad Ovest), con pendenza delle sponde 1/2 e costruito in massi naturali, la cui stabilità va ovviamente verificata.

Il pennello viene progressivamente allargato fino ad una larghezza in testa di 5.50 m. Dal pennello si innesta il connettore sommerso con tracciato ad arco che si collega al braccio Ovest del *reef*, ad una profondità di 1.50 m. Il connettore ha anch'esso una larghezza di 4 m in cresta ed una pendenza delle sponde pari a

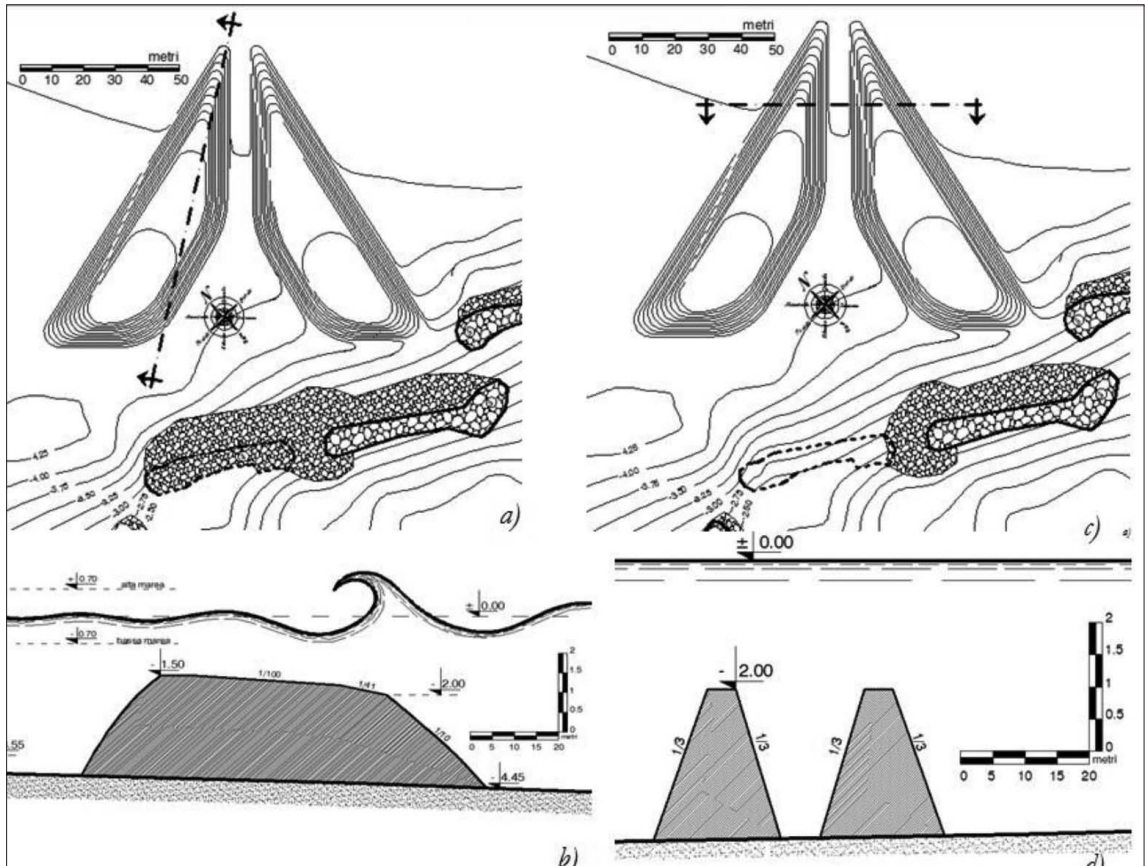


Figura 15 - Planimetrie e profili altimetrici della prima ipotesi a) e b) e della seconda ipotesi c) e d).

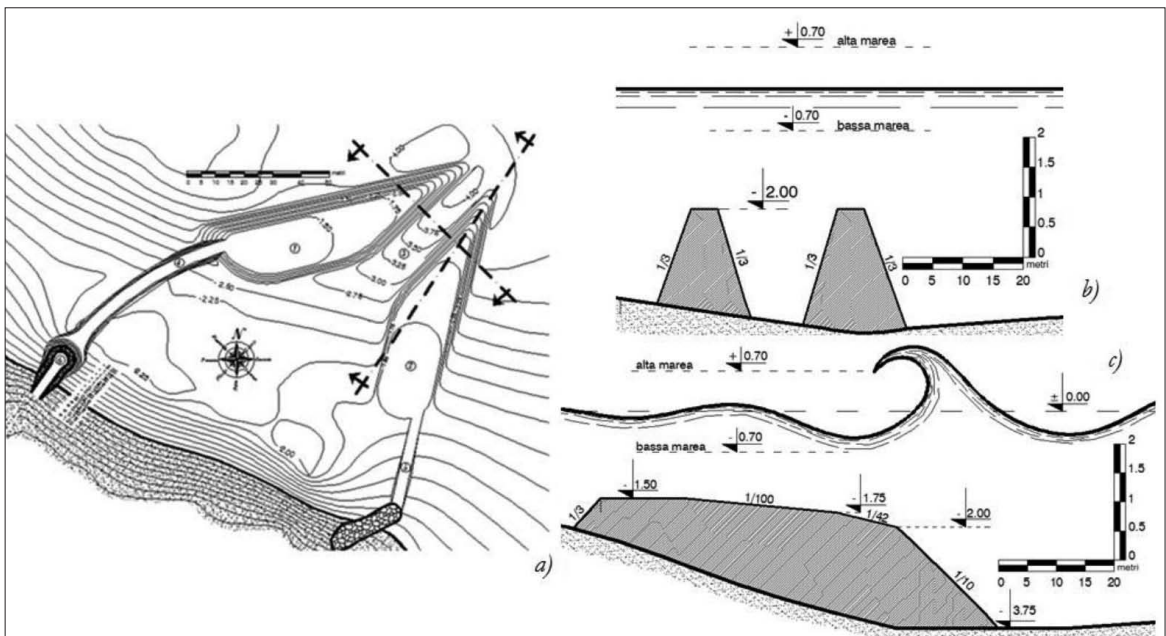


Figura 16 - Planimetria a) e profili altimetrici b) e c) della seconda ipotesi di progetto del reef davanti a Porto Verde.

1/2 . Anche il braccio Est viene collegato al pennello già esistente mediante un connettore parzialmente sommerso. Nella fattispecie, è possibile ridurre la lunghezza di tale pennello recuperando parte dei massi per costruire il secondo connettore, di larghezza in cresta sempre pari a 4 m e con una pendenza alla testa di 1/9 partendo da una quota di +1.00 m e terminando a -1.50 m rispetto al medio mare. Tale connettore può essere costruito impiegando il pietrame recuperato dalla demolizione della parte terminale del pennello esistente e cui s'innesta.

Effetti sul litorale

Esplicitando nelle (10)-(13) i termini reali è stato possibile ricavare informazioni circa la formazione del saliente e le dimensioni effettive dello stesso in entrambi le ipotesi summenzionate.

Come si vede in Tabella 7, a parità di larghezza dell'ASR il posizionamento a Cattolica dà luogo ad un saliente i cui elementi principali della geometria sono di dimensioni doppie rispetto al caso del posizionamento a Porto Verde.

Sempre al riguardo della tabella precedente, occorre però precisare che la natura granulometrica del fondale davanti a Porto Verde è diversa da quella davanti a Cattolica. Nella fattispecie, il diametro dei sedimenti è molto maggiore: si parla di ghiaia e ciottoli, piuttosto che sabbia. Questo fattore riduce notevolmente la mobilità del materiale e quindi la capacità di produrre forme geomorfologiche quali, ad esempio, il saliente. Alla luce di tale considerazione, i risultati delle (10)-(13) riportati nella Tabella 7 devono quindi essere modificati in relazione alla granulometria del sedime, magari implementando un codice di calcolo che contempli lo studio dell'evoluzione geomorfologica del litorale a seguito del posizionamento di un'opera stessa.

Tabella 7 - Effetti indotti sulla costa.

	B [m]	S [m]	B/S [-]	X_{off} [m]	Y_{off} [m]	D_{off} [m]
Porto Verde	110	50	2.2	20	30	245
Cattolica	110	125	0.88	64	61	500

Volumetria d'intervento

Il volume è stato calcolato, per entrambi i siti presi in esame, mediante la formula di Torricelli la quale è impiegata per il calcolo di un prismaide avente due facce piane e parallele F1 e F2 distanti tra di loro d ed aventi una sezione mediana Fm posta a d/2 sia da F₁ che da F₂:

$$V = \frac{d}{6} + (F_1 + F_2 + 4F_m) \tag{16}$$

Il reef è essere assimilato ad un solido che può essere idealmente tagliato a fette in corrispondenza delle isobate con dei piani orizzontali: l'intersezione dei piani passanti per le isobate con il solido delineano facce piane e parallele, ciascuna delle quali è distante 0.25 m dall'altra (equidistanza delle linee di livello), considerando un'area mediana Fm pari alla media tra le aree estreme F1 e F2. I risultati riportati in Tabella 8 mostrano come i volumi di costruzione necessari per la costruzione del reef a Cattolica siano nel complesso più che doppi rispetto a quelli necessari a Porto Verde. I risultati in Tabella 8 non tengono conto del materiale recuperabile dalla barriera centrale.

Tabella 8 - Volumi impiegati per costruire il reef. Tali valori cambiano notevolmente da un'alternativa all'altra.

Sito	Volumi [m ³]		
	Braccio Est	Braccio Ovest	Totale
Porto Verde	1400	2800	4200
	Pennello e Connettore Est	Pennello e Connettore Ovest	Totale
	0	500	500
Cattolica	4600	4100	8700
	Demolizione parziale	Demolizione totale	
	850	1200	

Costi dell'intervento

Si sono considerate due alternative costruttive riguardanti il materiale. La prima ipotesi consiste nell'impiegare una gettata di massi come vuole la più comune pratica marittima per opere a cresta bassa. La seconda ipotesi invece prende in esame la possibilità di costruire il reef in *geocontainers* (Matteotti et al., 2006). Si sono stimati i costi sulla base del Bollettino Ufficiale Regionale del 29 giugno 2009, estratto in Tabella 9. I costi a lavori conclusi, comprendenti ogni onere e spesa per il trasporto e la posa in opera sono riportati in Tabella 10.

Tabella 9 - Voci di costo considerate, come da Bollettino Ufficiale Regionale del 29 giugno 2009.

1	Pietrame 1° categoria 500-1000 kg	60.00	€/m ³
2	Demolizione scogliere	29.30	€/m ³
3	Geotessuto di fondazione	4.95	€/m ³
4	<i>Geocontainers</i>	70.00	€/m ³

Tabella 10 - Tabella riassuntiva dei costi dell'intervento per le varie ipotesi e nei vari scenari di posizionamento del reef.

Sito	Alternativa progettuale	Materiale	Costo
Porto Verde	Senza pennelli/connettori in pietrame	<i>Pietrame</i>	267.000 €
		<i>Geotubi</i>	290.000 €
	Con pennelli/connettori in pietrame	<i>Pietrame</i>	302.000 €
		<i>Geotubi</i>	325.000 €
Cattolica	Con riduzione della quota della cresta a -1.50 m	<i>Pietrame</i>	568.000 €
		<i>Geotubi</i>	620.000 €
	Con rimozione della barriera centrale	<i>Pietrame</i>	578.000 €
		<i>Geotubi</i>	630.000 €

Considerazioni di fattibilità

Dall'analisi della Tabella 8 si evidenzia un notevole sbilancio di volume che propende maggiormente verso il caso in cui l'opera venga realizzata davanti a Cattolica piuttosto che davanti a Porto Verde. Questo sbilancio si ripercuote, com'era lecito aspettarsi, anche sui costi, Tabella 10. Questo aspetto è senz'altro un deterrente a costruire il reef davanti a Cattolica e purtroppo non è semplice ridurre il volume richiesto da progetto, perché il fondale locale in quella parte della spiaggia è pressoché uniforme e posto ad una profondità importante. A questo inconveniente occorre aggiungere la presenza di barriere emerse a cresta medio-alta davanti al reef, le quali non permettono l'esercizio del surf in tutta sicurezza poiché sussiste sempre per il surfista il rischio di caduta nei pressi delle scogliere. E' pur vero che anche la spiaggia davanti a Porto Verde è costituita da ciottoli e da una gettata di massi retrostante che protegge i vicini edifici dal rischio allagamento, ma la distanza dell'opera rende del tutto nullo il rischio di collisione del surfista contro tali scogli. Tuttavia il reef inserito nel contesto di Cattolica avrebbe come coronamento una vasta spiaggia in sabbia fine nonché l'acquario "Le Navi" e ciò concorrerebbe sicuramente ad apportare nuovi traffici turistici. Certamente questo vantaggio si avrebbe anche nel caso di un posizionamento del reef nell'altra località designata vista la relativa vicinanza (anche se in maniera meno marcata). In definitiva perciò appare più vantaggiosa la collocazione del reef davanti a Porto Verde. In tal caso sono presenti due alternative progettuali e constano nella costruzione o meno di una baia con pennelli e connettori attorno al reef. Guardando sempre alla Tabella n.10 tutto farebbe propendere alla scelta della prima alternativa (quella cioè in cui il reef si trova sprovvisto di pennelli e connettori) poiché la più economica delle due. Il divario comunque ammonta a circa 35.000 € ed occorre rapportare questa somma ai benefici che si avrebbero confinando l'opera all'interno di una baia di pennelli e connettori: di sicuro si otterrebbero correnti lungo riva di minor intensità perché fermate o comunque ostacolate nel loro percorso dalla presenza di opere soffolte. Queste opere provocano senz'altro una minor erosione del fondale nella zona attigua al reef. Vi è da chiedersi allora se risparmiare qualche decina di migliaia di euro all'attualità sia conveniente o piuttosto convenga provvedere con pennelli e connettori, spendendo certamente di più, ma limitando l'erosione del litorale. Pensando ai costi necessari per ripascere

una spiaggia (in media da 10 a 20 € a metro cubo di sabbia) e pensando al volume necessario per effettuare un ripascimento su questo tratto di costa potrebbe certamente essere più conveniente la seconda ipotesi, benché più dispendiosa all'attualità. Scegliamo dunque di prendere in esame l'ipotesi numero 2 davanti a Porto Verde. Il costo delle due alternative relative al materiale da costa appartiene ad una forbice non troppo ampia e le due ipotesi sono altamente competitive. Tuttavia costruire in *Geotextile Sand Containers* (GSC) è senz'altro una scelta più indicata, anche a fronte di un maggiore spesa iniziale, e questo perché viene offerta maggior sicurezza ai surfisti e perché può essere facilmente colonizzato dalla flora e dalla fauna acquatica. Il giudizio di chi scrive pertanto porterebbe a scegliere l'alternativa in cui *l'Artificial Surfing Reefs* venga costruito in geosacchi, materiale morbido e poco impattante dal punto di vista ambientale. Stando a queste scelte, il costo dell'opera potrebbe essere, da una sommaria stima, pari a 325.000 €.

Simulazione dell'idrodinamica indotta con il modello numerico MIKE21

Predisposizione della simulazione numerica

Il codice di calcolo bidimensionale utilizzato è il MIKE 21 versione Flexible Mesh, Release 2009, in particolare il modulo SW, che simula il trasferimento delle onde da largo verso riva e la propagazione sottocosta tenendo conto dei fenomeni di rifrazione, diffrazione e *shoaling*, e il modulo HD, che risolve le equazioni del moto alle differenze finite utilizzando uno schema implicito ADI (Alternating Direction Implicit) con una precisione del secondo ordine (Abbot et al., 1973).

La batimetria del fondale è stata ricostruita grazie ad un rilievo di tipo *multibeam* dell'area d'interesse risalente al 2006. Si è quindi introdotta la geometria della configurazione prescelta, ossia l'ipotesi progettuale a Porto Verde, si veda Figura 17. Al fine di determinare gli effetti indotti dall'ASR, è importante eseguire la simulazione andando a considerare una fascia costiera che sia la più ampia possibile (compatibilmente con le dimensioni dell'intervento stesso). La zona di interesse si estende in direzione largo fino ad una distanza di circa 1.4 km dalla linea di riva (fino alla batimetrica 5m ove giungono i rilievi disponibili) e per 3 km circa parallelamente alla riva (da 1 km a Nord a 1.7 km a Sud dalla spiaggia di Portoverde).

I dati sedimentologici, utili alla stima della scabrezza del fondale e quindi alla corretta riproduzione dell'attenuazione dell'onda e delle correnti, sono derivati dalla campagna di rilevazione geologica e granulometrica condotta da IDROSER (1982). La rappresentazione semplificata dei sedimenti considera cinque diversi diametri medi D_{n50} al variare della quota del fondale: sulla spiaggia emersa, $h > 0$, si è assunto $D_{n50} = 0.30$ mm; da 0 a - 2.0 m di profondità si è assunto $D_{n50} = 0.25$ mm; da - 2.0 a - 5.0 m invece si è optato per una dimensione dei granuli pari a 0.20 mm e così via procedendo da - 5.0 a - 8.0 con un diametro di 0.15 mm fino a mantenere, per isobate inferiori a - 8,00 m, una dimensione caratteristica pari a 0.10 m.

La scabrezza secondo Nikuradse n viene ricondotta alla mappatura dei D_{n50} del fondale

$$n = 2 \cdot D_{n50} \quad (17)$$

ed i corrispondenti coefficienti di Manning sono riferiti alla scabrezza n :

$$m = 26 \cdot \left(\frac{1}{n} \right)^{1/6} \quad (18)$$

Sul contorno di largo del modulo SW si impongono una serie di condizioni ondose irregolari e direzionali di uno spettro Jonswap. Questa impostazione consente di determinare in maniera realistica il campo di *radiation stress*, il *wave set-up*, e le condizioni al contorno da impostare nel modello di circolazione idraulica. Le condizioni scelte, riportate in Tabella 11, sono state desunte dalla precedente analisi del clima meteomarinario, selezionando due altezze d'onda rappresentative, il periodo tipico che possa conciliarsi con l'attività del surf e una serie di direzioni sufficiente alla verifica del comportamento dell'ASR. In questa simulazione sono trascurati gli effetti delle maree le quali escursioni sono solitamente contenute entro ± 0.4 m, mentre in Figure 15 e 16 si sono evidenziati i livelli estremi, ± 0.7 m. La Tabella 10 include le condizioni al largo, che sono state trasferite da largo (-15 m) a riva su una batimetria più ampia sempre col modulo SW, e le condizioni estratte da tali simulazioni ed imposte sul contorno al largo della zona di interesse (-5.0 m, Fig. 17).

I parametri di frangimento assunti nel modulo SW sono i valori suggeriti: $\gamma_I = 1.0$ (controlla il frangimento

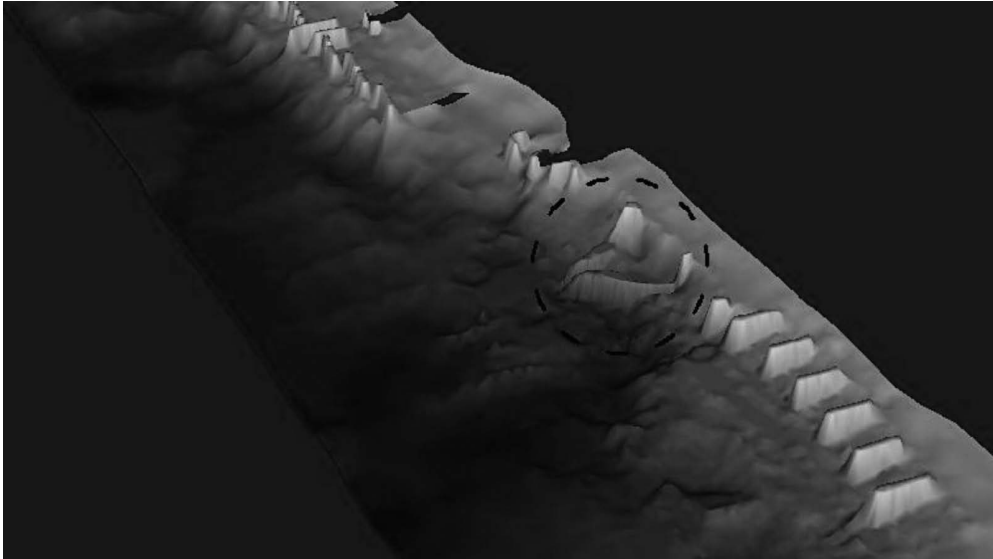


Figura 17 - Modello batimetrico implementato all'interno del codice MIKE21. Si può notare il reef coi due bracci all'interno del cerchio tratteggiato.

per ripidità dell'onda), $\gamma_2=1.0$ (controlla il frangimento per profondità del fondale) and $\beta=0.8$ (indica la dissipazione per frangimento).

Nel modulo HD si impone al contorno lato mare la condizione di livello costante.

Risultati della simulazione

Si riportano alcuni risultati principali della simulazione, in termini di coefficiente di trasmissione K_t nell'area protetta (Tab. 11) e mappe di intensità e direzione delle onde e delle correnti (Figg. 18 ÷ 23).

L'ASR dimostra un'efficacia nella riduzione delle onde incidenti paragonabile a quella delle tipiche barriere a cresta bassa (Van der Meer et al., 2005) con valore medio del K_t pari al 47%, con punte massime del 59% in corrispondenza di onde di 1.25 m a largo con obliquità di 60° N.

Tabella 11 - Condizioni ondose simulate. Si riportano i dati a largo (H_0, β_0, T_0) e i dati incidenti in prossimità della riva (H_i, β_i, T_i). Inoltre è riportato anche il coefficiente di trasmissione (K_t).

	H_0 (m)	β_0 (°N)	T_0 (s)	H_i (m)	β_i (°N)	H_t (m)	K_t
1	1.25	0°	6	1.18	2°	0.50	42%
2	1.25	30°	6	1.15	28°	0.65	56%
3	1.25	60°	6	1.10	55°	0.65	59%
4	1.25	90°	6	1.00	80°	0.55	55%
5	1.25	330°	6	1.14	338°	0.55	48%
6	2.25	0°	6	1.90	2°	0.85	45%
7	2.25	30°	6	1.90	28°	0.85	45%
8	2.25	60°	6	1.70	55°	0.70	41%
9	2.25	90°	6	1.60	79°	0.65	40%
10	2.25	330°	6	1.80	338°	0.75	42%

L'andamento e la distribuzione dell'altezza d'onda sopra il reef risulta quanto mai simmetrica e questo ben si combina con la necessità di avere onde abbastanza regolari che possono essere frante al loro passaggio sopra la struttura. Possiamo seguire in Figura 18 il decadimento dell'onda per la condizione ondosa n°2 di Tabella 11

(mareggiata di modesta intensità da Bora): l'altezza d'onda decade da largo ad 1.10-1.20 m circa a 500 m dal reef, frange sulla scarpata del reef e si mantiene quindi per una fascia di circa 50 m dietro il reef, contraddistinta da una generale zona di calma.

Per una mareggiata più intensa sempre da Bora relativa alla condizione ondosa n°7 (Fig. 19), a largo l'altezza d'onda è superiore a 1.80 m, frange parzialmente portandosi a 1.30 m nella parte antistante il reef e infine completa sul reef il frangimento. Anche in questo caso la distribuzione dell'altezza d'onda è per lo più simmetrica rispetto all'asse di orientazione della struttura e lascia un'ampia zona a tergo del reef dove l'agitazione ondosa residua è modesta (H_s tra 0.6 e 0.8 m).

La Figura 20 mostra gli effetti dovuti ad una condizione ondosa come quella n° 10 in Tab. 11, caratterizzata da un'obliquità molto diversa ($\beta_o = 330^\circ N$). Si ha un decadimento dell'altezza d'onda del tutto simile al caso precedente, mentre si evidenzia molto bene la rifrazione ondosa in prossimità della micro-baia creata dal reef e dal sistema di pennelli e connettori sommersi.

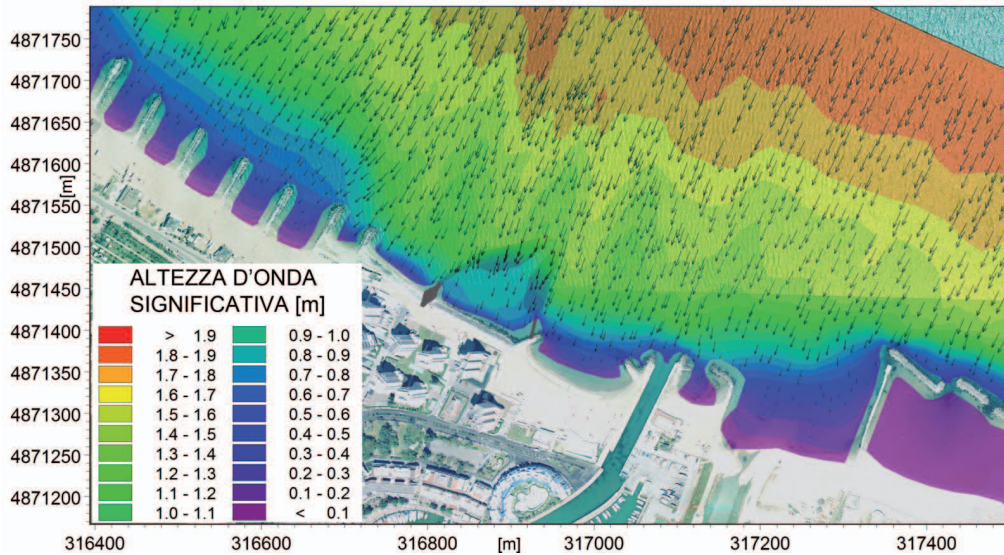


Figura 19 - Mappatura dell'onda significativa la condizione ondosa n°7 ($\beta_o = 30^\circ N$, $H_o = 2.25$ m).

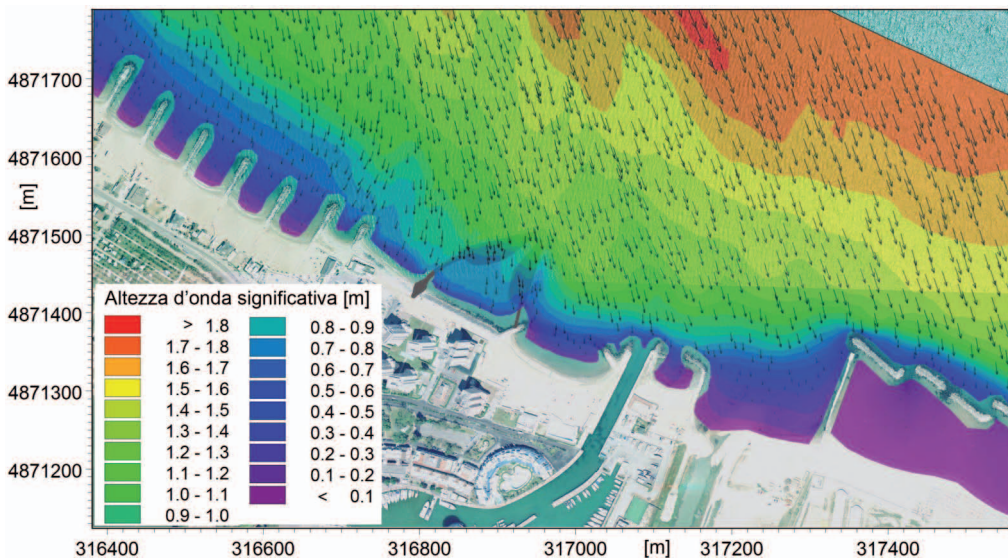


Figura 20 - Mappatura dell'onda significativa per la condizione ondosa n° 10 ($\beta_o = 330^\circ N$, $H_o = 2.25$ m).

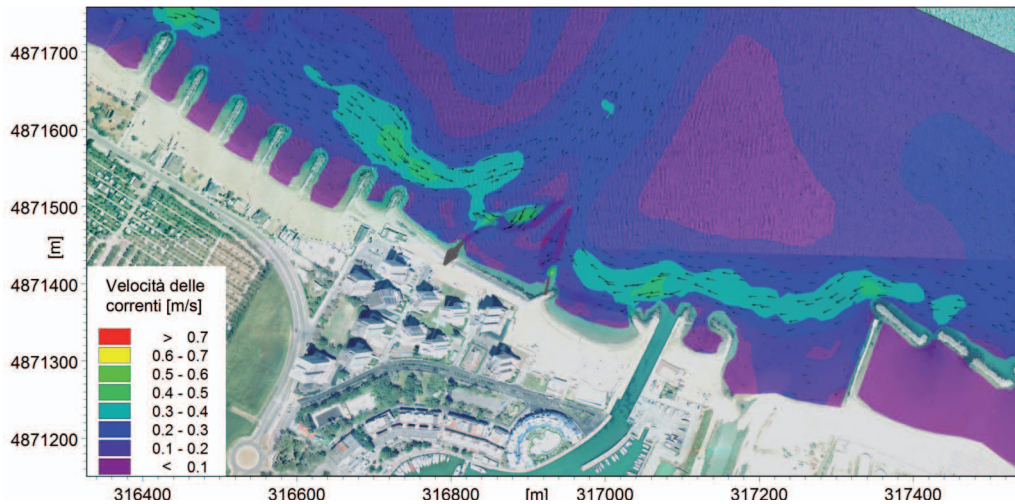


Figura 21 - Mappatura della circolazione idrodinamica mareggiata per la condizione ondosa n°2 ($\beta_o = 30^\circ$ N, $H_o = 1.25$ m).

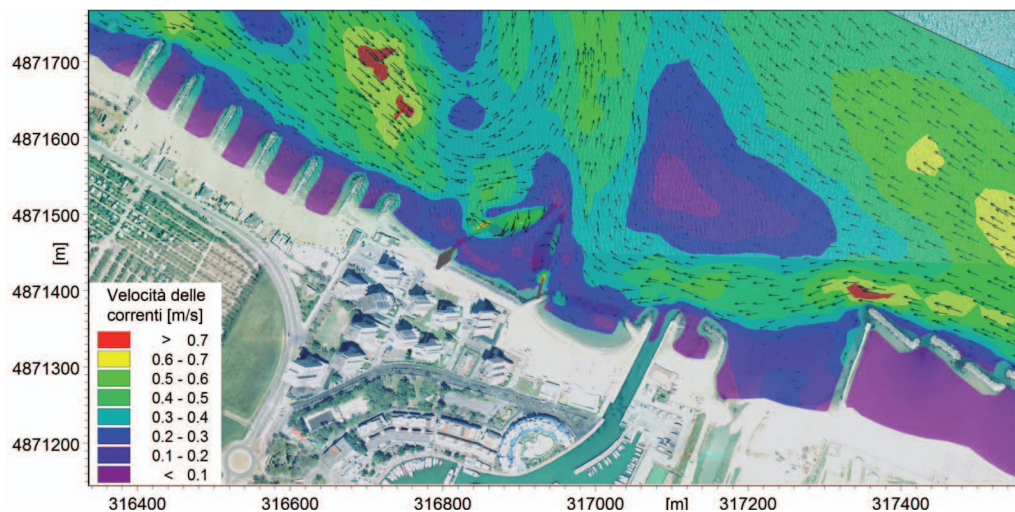


Figura 22 - Mappatura della circolazione idrodinamica per la condizione ondosa n°7 ($\beta_o = 30^\circ$ N, $H_o = 2.25$ m).

Per quanto riguarda la circolazione idrodinamica possiamo attenerci alle Figure 21+23. Per la condizione ondosa n° 2 in Tabella 11, la Figura 21 mostra una moderata corrente di ritorno (tra 0.2 e 0.3 m/s) avente la medesima direzione del canale di *rip* e dell'asse di orientazione della struttura. A tergo dell'opera si crea una zona di calma con velocità molto basse (tra 0 e 0.2 m/s), contornata da correnti lungo riva di intensità più sostenuta (tra 0.4 e 0.5 m/s) che tuttavia non destano particolare preoccupazione ai fini della sicurezza per i bagnanti.

La velocità di tali correnti si acuisce in prossimità del connettore Est (0.5 m/s), dove si forma anche qui una modesta corrente di ritorno. La *rip-current* in questione potrebbe creare non pochi problemi al connettore sommerso ed al pennello in pietra, dovuti ad un'eccessiva azione erosiva. Inoltre, in corrispondenza del braccio Ovest appare un vortice di ampiezza di circa 100 m che può indurre a turbolenza locale, contraddistinto da un aumento della velocità delle correnti fino a 0.6 m/s. Se aumentiamo l'altezza d'onda a largo e quindi consideriamo la condizione ondosa n° 7 in Tabella 11, il vortice aumenta la sua ampiezza e si sposta verso largo, a circa 300-350 m dal reef in una zona tuttavia non direttamente accessibile dai surfisti e dai bagnanti. I valori di velocità della corrente di ritorno sopra il reef rimangono tuttavia confinati tra 0.2 e 0.5 m/s ed aumentano mano a mano che ci spostiamo su fondali maggiori.

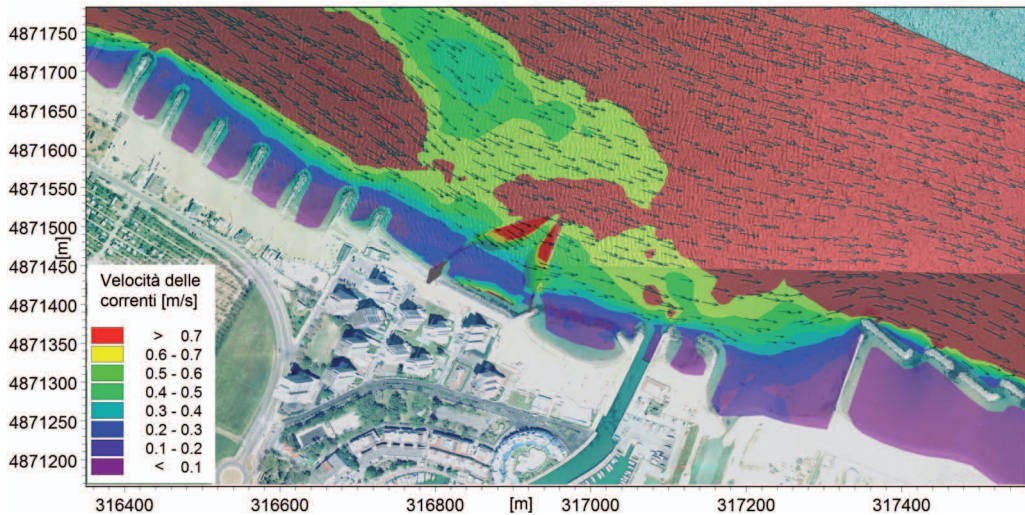


Figura 23 - Mappatura della circolazione idrodinamica per la condizione ondosa n° 10 ($\beta_o = 330^\circ$ N, $H_o = 2.25$ m).

Per quanto riguarda la circolazione idrodinamica possiamo attenerci alle Figure 21+23. Per la condizione ondosa n° 2 in Tabella 11, la Figura 21 mostra una moderata corrente di ritorno (tra 0.2 e 0.3 m/s) avente la medesima direzione del canale di *rip* e dell'asse di orientazione della struttura. A tergo dell'opera si crea una zona di calma con velocità molto basse (tra 0 e 0.2 m/s), contornata da correnti lungo riva di intensità più sostenuta (tra 0.4 e 0.5 m/s) che tuttavia non destano particolare preoccupazione ai fini della sicurezza per i bagnanti.

La velocità di tali correnti si acuisce in prossimità del connettore Est (0.5 m/s), dove si forma anche qui una modesta corrente di ritorno. La *rip-current* in questione potrebbe creare non pochi problemi al connettore sommerso ed al pennello in pietra, dovuti ad un'eccessiva azione erosiva. Inoltre, in corrispondenza del braccio Ovest appare un vortice di ampiezza di circa 100 m che può indurre a turbolenza locale, contraddistinto da un aumento della velocità delle correnti fino a 0.6 m/s. Se aumentiamo l'altezza d'onda a largo e quindi consideriamo la condizione ondosa n° 7 in Tabella 11, il vortice aumenta la sua ampiezza e si sposta verso largo, a circa 300-350 m dal reef in una zona tuttavia non direttamente accessibile dai surfisti e dai bagnanti. I valori di velocità della corrente di ritorno sopra il reef rimangono tuttavia confinati tra 0.2 e 0.5 m/s ed aumentano mano a mano che ci spostiamo su fondali maggiori.

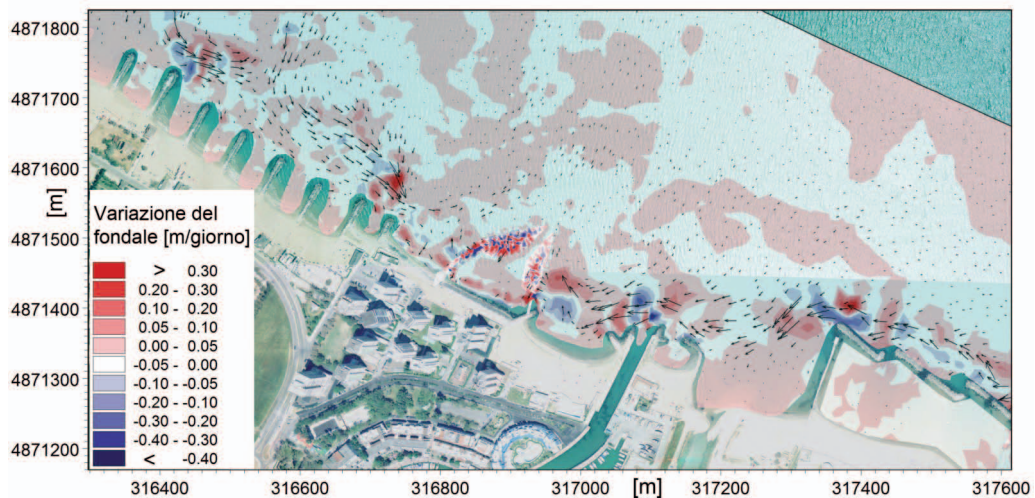


Figura 24 - Mappatura della variazione del fondale per la condizione ondosa n° 2 ($\beta_o = 30^\circ$ N, $H_o = 1.25$ m).

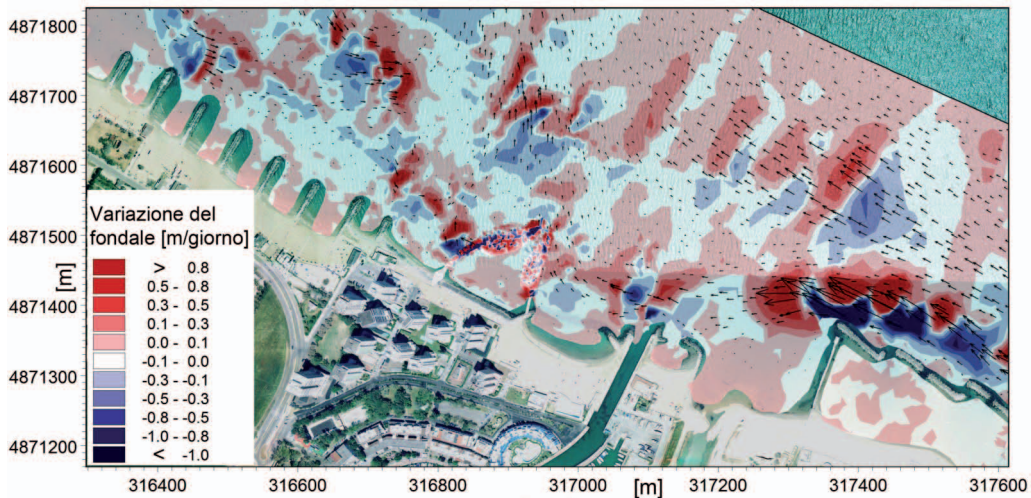


Figura 25 - Mappatura della variazione del fondale per la condizione ondosa n° 7 ($\beta_o = 30^\circ N$, $H_o = 2.25$ m).

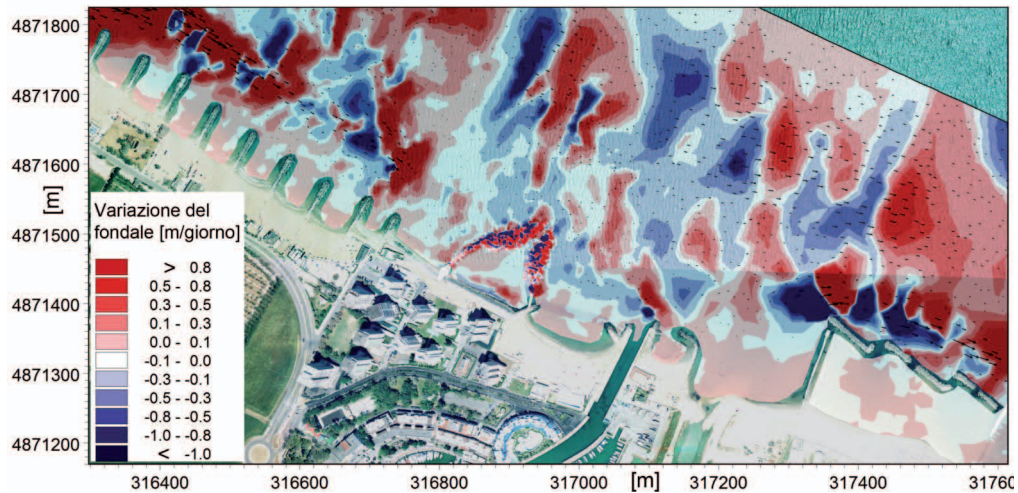


Figura 26 - Mappatura della variazione del fondale per la condizione ondosa n° 10 ($\beta_o = 330^\circ N$, $H_o = 2.25$ m).

In Figura 23, la quale si riferisce alla condizione ondosa n° 10 in Tabella 11, si può osservare la formazione di una corrente di verso parallelo alla linea di costa con punte di velocità anche attorno a 0.8 m/s, in una zona a largo del *reef* dove, presumibilmente, i surfisti possono collocarsi per catturare l'onda da cavalcare. Questa corrente può rappresentare una limitazione non piccola all'esercizio del *surf*.

Effetti morfodinamici delle opere

Si sono infine predisposte simulazioni numeriche morfodinamiche accoppiando i moduli SW e HD con il modulo ST-Q3. Il modulo di trasporto solido MIKE 21 ST-Q3 calcola il tasso di trasporto solido di materiali non coesivi ed il valore istantaneo iniziale di modificazione del fondo per effetto dell'azione combinata di onde e correnti. Implementa un algoritmo di calcolo deterministico basato sul modello di Engelund e Fredsoe (1976) e valuta separatamente il contributo dei sedimenti trascinati sul fondo e di quelli movimentati in sospensione. La tabella necessaria al calcolo del trasporto solido è stata predisposta sulla base della teoria empirica di Doering e Bowen (1995) che si applica a onde sia frangenti sia non frangenti. Si è considerato l'ASR non erodibile su di un fondale a sedimentologia costante ($D_{n50} = 0.15$ mm).

Essendo fuori dallo scopo del presente lavoro una valutazione precisa degli effetti indotti sul trasporto solido

rispetto al clima meteo marino annuale, si è analizzato il funzionamento delle opere per le condizioni di progetto (condizioni n° 2, 7 e 10 in Tab. 11). La durata della simulazione è stata fissata a 12 ore al fine di registrare la sola tendenza evolutiva del fondale per sistema di onde e correnti a regime.

Si riportano nelle Figure n. 24+26 le mappe delle variazioni del fondale indotte dalla presenza dell'ASR rispettivamente per le onde n. 2, 7, e 10 in Tabella 11. In tutte e tre le condizioni si ha un modesto accumulo di materiale a riva del *reef* e nelle zone adiacenti. Si evidenzia la formazione di fosse laterali nelle zone periferiche del *reef*, a ridosso dei pennelli sommersi, laddove lo scontro tra *feeder currents* e correnti lungo riva determina un alto grado di turbolenza. E' opportuno pertanto prevedere la posa di una protezione al piede per evitare problemi di instabilità dei pennelli stessi.

Occorre infine esaminare gli effetti che il *reef* provoca sul fondale all'ingresso della darsena turistica di Porto Verde. Nel caso della condizione ondosa n°10 di Tabella 11, si nota la tendenza alla formazione di una barra da Sud-Est a Nord-Ovest (Fig. 26) su fondale compreso tra -4.5 e -5.0 m. La formazione della barra non desta particolare preoccupazione sia per i modesti pescaggi delle barche che usufruiscono del porto in escursioni mareali estremamente limitate sia per l'ostacolo parziale all'ingresso al porto per le barche che provengono da Nord-Est.

Per le condizioni di progetto si registra quindi una generale tendenza all'accumulo di sedimenti a riva dell'ASR, che sembra capace di stabilizzare il profilo di spiaggia anche durante mareggiate intense, e la formazione di fosse erosive al piede dei pennelli sommersi, i cui effetti vanno contenuti con una adeguata protezione del fondale adiacente.

Conclusioni

La realizzazione di un ASR passa necessariamente per la definizione di una serie di variabili progettuali molto complicate da definire in funzione della sua duplice funzionalità di difesa costiera e di promozione del *surf*. L'approccio al problema della progettazione di un ASR che viene adottato in questo articolo passa attraverso:

- una attenta analisi delle grandezze e delle variabili progettuali;
- una progettazione di massima, basati su criteri empirici e risultati pregressi ottenuti con modellazione numerica e fisica;
- formulazione di più alternative progettuali;
- scelta dell'alternativa più confacente, basandosi anche su criteri di costo e di fattibilità;
- verifica dell'alternativa scelta, mediante modellazione numerica con codice MIKE 21.

Per iniziare, nella progettazione di un *reef* artificiale non si può prescindere dal confronto con i *reef* naturali, di cui sono note le componenti batimetriche principali. Anzitutto occorre definire quand'è che l'onda è "surfabile", vale a dire quand'è che essa possiede determinate caratteristiche al frangimento. L'onda deve frangere simmetricamente, deve possedere una altezza ed una forma del frangente convenienti alla categoria del *surf* che si vuole eseguire. Questi requisiti sono soddisfatti adottando una appropriata quota in cresta del *reef* nonché un adeguato profilo dei bracci, in maniera tale da regolare gli effetti rifrazione e *shoaling* (su bracci e *focus*) che si generano col passaggio dell'onda sulla struttura. Inoltre deve sussistere un legame adeguato tra celerità d'onda e velocità del surfista mediante l'angolo di *peel*, cui è legata l'abilità che il surfista può dimostrare e quindi il livello di sicurezza da assumere per lo stesso. Tale legame può essere regolato dall'orientazione del *reef* e dall'angolo di apertura dello stesso e cioè, intrinsecamente, dall'orientazione dei bracci rispetto alla direzione ondosa incidente. Infine, la circolazione idrodinamica sopra il *reef* influenza non poco il processo di frangimento: un fenomeno fisico importantissimo da tenere in considerazione è la nascita delle correnti di ritorno, che possono spingere verso largo la linea dei frangenti, inducendo al frangimento onde di altezza maggiore su fondali maggiori, diminuendo così pericolosamente l'angolo di *peel*. Allo stesso tempo però, le correnti di ritorno, generate dallo scontro tra quelle che nascono lungo il *reef* e quelle lungo riva, se di modesta intensità, possono essere sfruttate dai surfisti per raggiungere più agevolmente la zona di partenza. Nella modulazione dell'intensità delle correnti è necessario introdurre nel *reef* un canale centrale la cui larghezza, inclinazione delle sponde ed angolo di apertura interna sono legati alla velocità della corrente di ritorno che lo attraversa. Infine occorre considerare, nel processo di interazione tra l'opera ed il litorale, gli effetti geomorfologici indotti sulla costa, la cui entità è prevedibile con formule empiriche almeno per alcuni casi particolari ed in una prima fase di progetto.

Esaminate tutte le variabili progettuali in gioco, si è passati al lato pratico ipotizzando una possibile realiz-

zazione sul litorale romagnolo, alla foce del fiume Conca. La definizione della geometria di progetto (quota della cresta, pendenza delle sponde, angolo di apertura del *reef*, canale centrale) è subordinata:

- al rilievo batimetrico della spiaggia sommersa (rilievo *multibeam* del 2006);
- alla conoscenza della natura e della consistenza granulometrica del litorale, che ha evidenziato un D_{n50} abbastanza grossolano ed una composizione mineralogica della sabbia in carbonati, quarzo e feldspati.
- alla verifica a liquefazione, quale fenomeno importante da tenere in considerazione ed altresì da scongiurare. La verifica, eseguita mediante il metodo *CNR-GNDT*, ha restituito esito positivo per quanto attiene al coefficiente di sicurezza, sempre ampiamente maggiore a quello limite;
- alla ricostruzione del clima meteomarinario a largo, in termini di frequenza relativa di accadimento, tramite l'analisi delle registrazioni ondametrische ed anemometriche;
- all'analisi critica del clima ricostruito, determinando l'effettiva fattibilità dell'opera in base alle caratteristiche fondanti dell'onda (H_s , T_s , ξ , direzione).

Una volta definita la geometria del *reef*, che rimane la medesima per entrambe le ipotesi di collocazione, i siti dove realizzare l'opera sono essenzialmente due:

davanti all'acquario "Le Navi" di Cattolica. Per l'inserimento del *reef* in questo contesto è necessario modificare l'attuale assetto di barriere emerse davanti alla spiaggia e, nella fattispecie, vengono prese in considerazione due alternative:

- con abbassamento di due massi della barriera allineata con il canale di rip e riduzione della cresta da +1.5 m a -1.5 m rispetto al medio mare;
- con rimozione totale della medesima barriera.

La scelta di una piuttosto che l'altra alternativa si basa sia su considerazioni circa la sicurezza del surfista ma anche sull'esigenza di proteggere la costa dagli attacchi ondosi. Si è visto come, rimuovendo totalmente la barriera centrale, il coefficiente di trasmissione aumenti ($K_t=30\%$) rispetto alla riduzione della quota in cresta ($K_t=21\%$) ed ancor più marcatamente rispetto alla condizione attuale ($K_t=21\%$)

In entrambe le alternative considerate tuttavia la volumetria appare piuttosto consistente, portando a maggiori costi di realizzazione.

Davanti all'abitato di Porto Verde (Misano Adriatico), in una zona caratterizzata da una spiaggia in ciottoli e da una retrostante difesa radente, certamente meno appetibile dal punto di vista dei bagnanti. Anche in questo caso si sono pensate a due alternative:

- il solo posizionamento del *reef* davanti alla difesa radente;
- la creazione di una micro-baia con pennelli e connettori sommersi (alcuni dei quali già esistenti) per contenere gli effetti del diverso *wave set up* indotto sulla costa.

La volumetria, in forza dei fondali meno profondi rispetto a Cattolica, appare meno elevata e quindi minori costi di realizzazione.

La bontà delle due ipotesi di collocazione e delle alternative progettuali da contemplare si deve fondare su ragionamenti di costo e di salvaguardia del litorale. Si è visto come il volume dell'ASR realizzato davanti a Cattolica sia più del doppio rispetto a quello davanti a Porto Verde e ciò ha portato a escludere già in partenza questa ipotesi, prediligendo quella relativa a Porto Verde. Di questa, ricordando la sua funzione di barriera a cresta bassa per la protezione della costa, è senz'altro più indicata la seconda alternativa, quella che contempla la costruzione di una micro-baia con pennelli e connettori sommersi, al fine di contenere gli effetti del diverso *wave set-up* in una zona circoscritta alla sola area *interessata* dal *reef*. Infine, la scelta del materiale. Costruire in *geocontainers* rispetto all'impiego di massi, è senz'altro più dispendioso inizialmente ma non per questo meno vantaggioso dal punto di vista dei surfisti (per via della loro incolumità in caso di impatto con la barriera), del disturbo arrecato al fondale marino e della capacità delle specie acquatiche colonizzare il *reef*.

Il funzionamento del *reef* come da progettazione di massima viene quindi verificato mediante simulazione numerica, com'è stato effettuato implementando il codice bidimensionale MIKE21 attraverso i suoi moduli SW e HD (per la trasformazione delle onde da largo a riva e per la risoluzione alle differenze finite delle equazioni del moto). I risultati sono stati ottenuti simulando alcune mareggiate, dove sono state variate l'altezza d'onda e l'obliquità della stessa rispetto a riva. L'esame delle onde trasmesse a tergo dell'opera riporta un buon funzionamento del *reef* nella sua funzione di protezione costiera ($K_t=47\%$ in media), ipotesi avvalorata anche dall'analisi morfodinamica condotta con le medesime

condizioni ondose di progetto attraverso l'accoppiamento dei moduli HD e SW con ST-Q3. Per la sua funzione prettamente ricreativa, i risultati riportati in quest'articolo evidenziano sostanzialmente alcuni punti:

- la distribuzione dell'altezza d'onda sopra il *reef* è quasi sempre simmetrica, sia per quanto attiene alle mareggiate provenienti dalla direzione cui il *reef* è orientato, sia per obliquità molto diverse (come, ad esempio, da Maestrale). In quest'ultimo caso si registra un forte effetto di rifrazione da largo a riva che tende ad orientare i raggi d'onda secondo l'orientazione del *reef*;
- a tergo dell'ASR si registra una sostanziale zona di calma, con altezze d'onda abbastanza contenute;
- si creano correnti di ritorno che si sviluppano attraverso il canale centrale e nelle zone periferiche. Le velocità delle correnti non sono tali da poter destare preoccupazioni e quindi possono essere impiegate dai surfisti per raggiungere la zona dei frangenti;
- in taluni casi possono crearsi dei macro-vortici. La velocità della corrente e la distanza da riva è tale da non preoccupare dal punto di vista della sicurezza dei bagnanti e dei surfisti;
- le correnti parallele alla costa non sono particolarmente intense, fatto salvo il caso in cui l'attacco ondoso proviene da Maestrale (che rimane comunque una situazione estrema, in cui l'obliquità rispetto a riva è massima), in corrispondenza del quale si formano turbolenze localizzate alle teste dei pennelli e correnti a tergo del *reef* con velocità anche maggiori a 0.7 m/s.

Per quanto riguarda la sua funzione di difesa costiera, i risultati delle simulazioni condotte con mareggiate da Bora, mostrano che vi è una tendenza all'accumulo di materiale a tergo del *reef* e nelle zone adiacenti, contemporaneamente alla formazione di fosse erosive a ridosso dei pennelli sommersi che suggeriscono l'impiego di una adeguata protezione al piede per evitare lo spiaggiamento delle opere stesse. I dati riguardanti la mareggiata da Maestrale mostrano una tendenza all'accumulo per la spiaggia dietro il *reef* e ad una erosione per il fondale lato mare nelle immediate vicinanze dell'opera. Tali effetti sono comunque di lieve entità se confrontati alle fosse ed alle barre che vengono a formarsi più a largo, in una zona però a fondali ben più maggiori. Inoltre, gli effetti dell'ASR davanti all'ingresso del porto turistico non ostacolano le manovre di accesso alla darsena da parte delle imbarcazioni. Tutto ciò considerato, si può dire che l'opera, così progettata e verificata in sede di simulazione numerica, risponde bene al clima tipico del sito, può fornire un notevole contributo alla salvaguardia della costa e permette di aumentare le condizioni di surfabilità del paraggio, all'attualità peraltro abbastanza scarse.

Glossario

Line up: la zona in cui, ci si predispone a catturare l'onda e coincide con l'inizio del processo di frangimento dell'onda, rendendo la parete ripida e surfabile.

Spot: viene indicato il luogo ove le condizioni ondose permettono di praticare il surf. Esiste una classificazione per gli spot, basata sulle caratteristiche dei fondali: *beach break* (fondale sabbioso), *rocky break* o *point break* (fondale roccioso), *reef break* (barriera corallina) e infine *artificial break*, ossia punto di rottura dovuto a barriere costruite artificialmente.

Swell: indica una mareggiata, cioè un aumento dell'altezza e della frequenza delle onde dovuto, in genere, ad una tempesta più o meno vicina alla terraferma.

Surf break: è una ostruzione permanente, quale una barriera corallina o una scogliera sommersa, che induce l'onda a frangere con frangente plunging e la possibilità di effettuare un tube riding.

Take off: manovra eseguita dai surfisti nella zona del line-up. Consiste nell'alzarsi in piedi sulla tavola quando le condizioni dell'onda lo permettono.

Tube riding: consiste nel transitare con la tavola tra il labbro superiore dell'onda e la parete della stessa, mentre essa collassa su se stessa per effetto del frangimento. La condizione necessaria perché si crei il tubo è che l'onda si chiuda velocemente.

Wipe out: indica la caduta della tavola a seguito di una manovra erronea o alla forza dell'onda.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Ing. Emanuele Lancioni per aver contribuito a fornire i risultati delle elaborazioni al MIKE21 del modello dell'ASR a Cattolica.

Bibliografia

- Abbott M.B., Damsgaard A. e G.S. Rodenhuis (1973) - *System 21, "Jupiter", a design system for modelling two-dimensional nearly horizontal flows*. Journal of Hydraulic Res., Vol. 1.
- Bancroft S. (1999) - *Performance Monitoring of the Cable Station Artificial Surfing Reef*. Tesi di laurea presso la Facoltà di ingegneria ambientale "The University of western Australia", scaricabile da <http://www2.sese.uwa.edu.au/~pattiar/surfreef/pattiaratchi.pdf>
- Battjes J. A. (1974) - *Surf Similarity*. Proceedings 14th Coastal Engineering Conference, ASCE, pp: 466-480.
- Bellotti G. (2004) - *A simplified model of rip currents systems around discontinuous submerged barriers*. Coastal engineering, 51: 323-335.
- Black K. P. (1999) - *Designing the shape of the Gold Coast Reef: sediment dynamics*. Coasts e Ports '99: Challenges and Directions for the New Century; Proceedings of the 14th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 7th Australasian Port and Harbour Conference. Barton, A.C.T.: National Committee on Coastal and Ocean Engineering, Institution of Engineers, Australia, pp. 45-50.
- Black K. P. (2001) - *Artificial surfing reefs for erosion control and amenity: Theory and application*. Challenges for the 21st Century in Coastal Sciences, Engineering and Environment, Journal of Coastal Research Special Issue, 34: pp. 1-14, (ICS 2000 New Zealand).
- Black K. P. (2003) - *Numerical prediction of salient formation in the lee of offshore reefs*. Proceedings for the 3rd International Artificial Surfing Reef Conference, Raglan, New Zealand, June 23-25.
- Black K. P., Andrews C., (2001a) - *Sandy Shoreline Response to Offshore Obstacles, Part 1: Salient and Tombolo Geometry and Shape*. Journal of Coastal Research, Special Issue 29: 82-93.
- Black K.P., Andrews C., (2001b) - *Sandy Shoreline Response to Offshore Obstacles, Part 2: Discussion of Formative Mechanisms*. Journal of Coastal Research, Special Issue 29: 94-101.
- Black K. P., Mead S. T. (2001) - *Design of the Gold Coast Reef for Surfing, Public Amenity and Coastal Protection: Surfing Aspects*. Journal of Coastal Research, Special Surfing Issue, Special Issue No. 29.
- Black K. P., Hutt J. A., Mead S. T. (1998) - *Narrowneck Reef, Report 2: Surfing Aspects*. Report prepared for GCCC by Centre of Excellence in Coastal Oceanography and Marine Geology, University of Waikato and NIWA.
- Borrero J.C., Nelson C., (2003) - *Results of a comprehensive monitoring program at Pratte's Reef*. Proceedings of the 3rd International Surfing Reef Symposium, Raglan, New Zealand, June 22-25, pp 83-98.
- D'Agremond K., Van Der Meer J.W., De Jion R.J. (1996) - *Wave transmission at Low-crested structures*. Proc. 25th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, pp. 2418-2426.
- Doering J.C., Bowen A.J. (1995) - *Parametrization of orbital velocity asymmetries of shoaling and breaking waves using bispectral analysis*. Coastal Engineering, 26: 15-33.
- Engelund F, Fredsoe J. (1976) - *A sediment transport model for straight alluvial channels*. Nordic Hydrology, 7: 293-306.
- Franco L., Bellotti G. (2007) - *Design of an artificial surfing reef at S.Marinella, Rome (Italy)*. Coastal Structures 2007, Venice, pp. 389-399.
- Frost G. (2003) - *The Lessons of Pratte's Reef*. The Aesthetic Retrieved, scaricabile da ww.theaesthetic.com/NewFiles/prattes.html
- Griffith Centre for Coastal Management - GCCM (2003) - *Narrowneck reef summary of monitoring*. Baseline Data Assessment for the Northern Gold Coast Beach Protection Strategy Environmental Monitoring Program Volume 3.
- Henriquez M. (2004) - *Artificial Surfing Reef*. Thesis, Faculty of Civil Engineering of Delft University of Technology, pp. 1-20.
- Heerten G., Jackson A., Restall S., Saathoff F. (2009) - *New Geotextile Developments with Mechanically-Bonded*. 27th international Conference on Coastal Engineering, Sydney, Australia, 16-21 July 2009, pp. 2342-2355.
- Hutt J. A., Black K. P., Mead S. T. (2001) - *Classification of Surf Breaks in relation to Surfing Skill*. Special Issue of the Journal of Coastal Research on Surfing, pp. 66-81.
- Hutt J., Black K., Mead S. (1998) - *Classification of the Degree of Surfing Difficulty for Artificial Reef Design*. 2nd Annual International Artificial Surfing Reef Symposium, San Diego, April 1998.
- Jackson L, Corbett B., Tomlinson R., McGrath J., Stuart G. (2007) - *Narrowneck Reef: Review of Seven Years*

- of Monitoring*. Shore & Beach Vol. 75, No. 4, pp. 1-13.
- Lancioni E. (2010) - *Modellazione numerica bidimensionale del comportamento di un artificial surfing reef per la difesa ecosostenibile della costa a Cattolica (RN)*. Tesi di laurea Università di Bologna, Cap. 3 e 4.
- Longuet-Higgins M. S. (1982) - *Parametric Solutions For Breaking Waves*. Journal of Fluid Mechanics, 121: pp. 403-424.
- Matteotti G., Roul P. (2006) - *L'impiego dei geosintetici nelle opere di ingegneria marittima e costiera*.
- Mead S. T., Black K. P. (2001) - *Field Studies Leading to the Bathymetric Classification of World-Class Surfing Breaks*. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 29, pp. 115-130.
- Mead S.T., Black K.P. and P.J. McComb, (2001) - *Lyall Bay surfing reef feasibility study: Volume 2 - Figures*. Prepared for the Lyall Bay Reef Charitable Trust. by ASR Ltd January, 2001. 49 pp.
- Mead S. T., Black K. P., Scarfe B. E., Frazerhurst J. (2003b) - *The effect of wave focusing on surfing site selection and design at scales of intercontinental shelf to sub-tidal reef*. Proceedings for the 3rd International Artificial Surfing Reef Conference, Raglan, New Zealand, June 23-25.
- Mead S. T. (2003) - *Surfzone currents and influence on surfability*. Proceedings for the 3rd International Artificial Surfing Reef Conference, Raglan, New Zealand, June 23-25.
- Monaco S. (2008) - *Liquefazione dei terreni in condizioni sismiche*. EPC-Libri, Cap. 5.
- Pattiaratchi, C. (1997) - *Design studies for an artificial surfing reef at Cable Station, Western Australia*. Proceedings for the 1st International Surfing Reef Symposium, (Sidney, Australia), pp. 87-90.
- Pattiaratchi C. (2000) - *Design studies and performance monitoring of an artificial surfing reef: Cable Station, Western Australia*. Proc. 27th International Conference on Coastal Engineering (Sydney, Australia, ASCE).
- Pattiaratchi C., Masselink G. e Hurst P. (1999) - *Surfability of the Perth Metropolitan Coastline: An Assessment*. Proceedings of the 14th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 7th Australasian Port and Harbour Conference (Coasts and Ports '99), Perth, Western Australia, pp. 490-495.
- Pilarczyk K.W. (2003) - *Design of low-crested (submerged) structures – an overview*. Proceedings of the 6th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (Colombo, Sri Lanka), pp. 1-18.
- Sayce A. (1997) - *Transformation of surfing waves on steep and complex reefs*. Hamilton, New Zeland: Department of Earth Science, The University of Waikato. Master's thesis .
- Sayce A., Black K. P., Gorman R. (1999) - *Breaking Wave Shape on Surfing Reefs*. Proceedings Coasts & Ports' 99, Vol. 2, pp. 596-603.
- Scarfe B. E. (2002) - *Categorising Surfing Manoeuvres Using Wave and Reef Characteristics*. Unpublished MSc Thesis, University of Waikato, Hamilton, New Zealand, Capp. 1 e 2.
- Scarfe B. E., de Lange W. P., Black K. P., Mead S. T. (2002) - *The influence of surfing wave parameters on manoeuvre type from field investigations at Raglan, New Zealand*. Proceedings for the Second Surfing Arts, Science and Issues Conference (SASIC 2, Ventura, California, USA), 9 November, The Groundswell Society, pp. 74-89.
- Van Ettinger H.D. (2005) - *Artificial surf reef design*. Delft University of Technology, Capp. 1, 2 e 3.
- Zanuttigh B. (2006) - *Idraulica Marittima*. edito da ALMA-DL Alma Mater Università di Bologna e depositato presso la BNCF, Cap. 4.

Ricevuto il 15/4/2010, accettato il 20/7/2010.

Morfologie relitte e antiche linee di riva delle “Secche della Meloria”

Nicola Casarosa¹, Monica Bini² e Anna Maria De Biasi³

¹Servizio Difesa del Suolo (Ufficio della Costa), Provincia di Pisa.

²Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa.

³ Centro Interuniversitario Biologia Marina ed Ecologia Applicata, Livorno.

Riassunto

Questo lavoro si propone di studiare la geomorfologia sommersa di un'area situata circa 3 miglia al largo di Livorno e nota come “Secche della Meloria”. La topografia di quest'area è stata ricostruita grazie ad analisi *single beam* e *multi beam*. Sui nuovi dati topografici, si è basato uno studio geomorfologico di dettaglio che ha permesso di individuare i principali elementi morfologici sommersi. Anzitutto è stato ipotizzato l'andamento della paleoidrografia dell'area durante l'Ultimo Periodo Glaciale quando le Secche, per effetto dell'abbassamento del livello marino, erano emerse. Inoltre sulla superficie delle Secche sono state riconosciute diverse depressioni già descritte da altri autori. Queste depressioni, note come “catini”, sono state studiate con analisi di dettaglio che hanno permesso di approfondire le conoscenze sulla loro topografia e di sostenere per la loro genesi, ancora ampiamente discussa, l'ipotesi carsica. Nella porzione occidentale delle Secche sono state identificate 3 scarpate e 3 piattaforme interpretate come marine. Il margine interno di queste piattaforme è ubicato a quota -6, -12 e -15 m sotto il livello del mare attuale. Questi livelli sono stati utilizzati come indicatori della curva di risalita del livello marino durante l'Olocene e sono stati confrontati con i dati provenienti dalle vicine Piana della Versilia e Grotta dell'Argentorola con i quali si evidenzia una buona correlazione.

Questo lavoro, pur in assenza di un preciso quadro cronologico di riferimento, porta nuove conoscenze alla morfologia delle Secche della Meloria ed apre nuove prospettive agli studi di questo settore costiero.

Parole chiave: morfologia sommersa, carsismo, paleoidrografia, indicatori di stazionamento, Olocene.

Abstract

This paper aims to study the submerged geomorphology of an area located 3 miles off the modern coastline of Livorno. Single-beam and multibeam analyses allowed to reconstruct the submerged topography of the area. The study of topography was used as basis for new geomorphological analyses.

The study was first centred on the palaeohydrography of the area during the last glaciation, when the area was emerged. On top of shoals several hollows were recognised, which had been described by previous authors. In this article, we detail the topography of those hollows, locally named “catini”, and suggest their origin, still largely discussed, to be karstic. In the western part of the shoals we identified 3 cliffs and 3 shore platforms. The inner margins of those shore platforms are located at -6m, -12 m and -15 m below sea level. These inner margins were used as markers of sea level during Holocene. Comparison between data derived from this area and those coming from the Apuo-versilian plain and the Argentorola cave demonstrates good correlation.

Although this study does not provide a precise chronological frame of the elements described, it provides data that could represent a valuable starting point for future studies in this coastal area.

Keywords: *submerged geomorphology, karstification, palaeohydrography, sea level marker, Holocene.*

Introduzione

Le Secche della Meloria, costituiscono un alto morfologico ampio circa 40 km² la cui forma ricorda quella di un triangolo equilatero (Bacci et al., 1969). Note fin dall'antichità come pericolo per la navigazione (Mazzanti et al. 1984), sono situate nel tratto di mar Ligure compreso tra l'isola Gorgona e il litorale livornese, dal quale distano circa 3,5 miglia (Fig. 1). Costituiscono un banco roccioso ubicato ad una profondità variabile da un minimo di -1,5 metri, fino ad un massimo di -50 metri, la cui genesi è ancora ampiamente discussa. Se dal punto di vista tettonico le secche rappresentano molto probabilmente un alto strutturale legato alla genesi distensiva del bacino tettonico neogenico versiliese – pisano (Ghelardoni et al., 1968), dal punto di vista stratigrafico, numerosi autori indicano le Secche della Meloria come un affioramento di “panchina” generatasi durante gli episodi tirreniani ed intertirreniani (Federici e Mazzanti, 1995; Mazzanti, 1983; Mazzanti et al., 1984; Boschian et al., 2006). Con il termine “panchina” si intende localmente un deposito che va da arenaceo a calcareo arenaceo con notevole cemento calcareo legato a circolazione di acque dure in fase di diagenesi precoce (Mazzanti, 1983). Per le caratteristiche del substrato premiocenico delle secche, che esulano dagli scopi di questo lavoro, si rimanda a Boschian et al. 2006. Per quanto riguarda le caratteristiche del deposito tirreniano è noto che l'alternanza di livelli di panchina e depositi continentali evidenzia diversi cicli trasgressivo – regressivi, tutti comunque più bassi del massimo trasgressivo della prima fase tirreniana che vede ciottoli alla base del terrazzo di Livorno ad una quota massima di circa +15 m sul livello del mare attuale (Mazzanti et al., 1984; Boschian et al., 2006). A seguito della trasgressione tirreniana si sarebbe creato un ambiente marino di bassofondo caratterizzato da un substrato detritico organogeno. La deposizione di sabbie calcaree si sarebbe conclusa nella fase regressiva, accompagnata dalla litificazione del sedimento e formazione del plateau calcareo, che costituisce la panchina. Che cosa sia avvenuto dopo la deposizione della panchina e come questa sia stata modellata dagli agenti esogeni è ancora oggi poco noto.

Il presente lavoro si propone di portare un contributo alle conoscenze della batimetria dell'area delle Secche della Meloria e di indagare le morfologie sommerse fino ad ora poco conosciute come quelle legate ai processi fluviali e carsici o del tutto trascurate come forme quelle legate ai processi costieri. Per le morfologie individuate, in assenza di datazioni assolute, è stata ipotizzata una correlazione con altri indicatori della pianura pisano versiliese e del terrazzo livornese, basata sul solo criterio altimetrico.

Studi pregressi sulla morfologia delle Secche

I lavori pregressi che hanno interessato le Secche si sono concentrati prevalentemente sulla genesi e le caratteristiche della “panchina” tirreniana. A questo riguardo, un'ampia rielaborazione dei dati stratigrafici del Pleistocene Superiore della Toscana costiera compiuta da Boschian et al. nel 2006, indica “l'inizio del Pleistocene Superiore con la trasgressione eustatica del Tirreniano culminata circa 125 ka e riconosce nella Toscana costiera tre fasi di trasgressioni glacioeustatica, attribuibili al Tirreniano I, II, III e corrispondenti agli stadiali

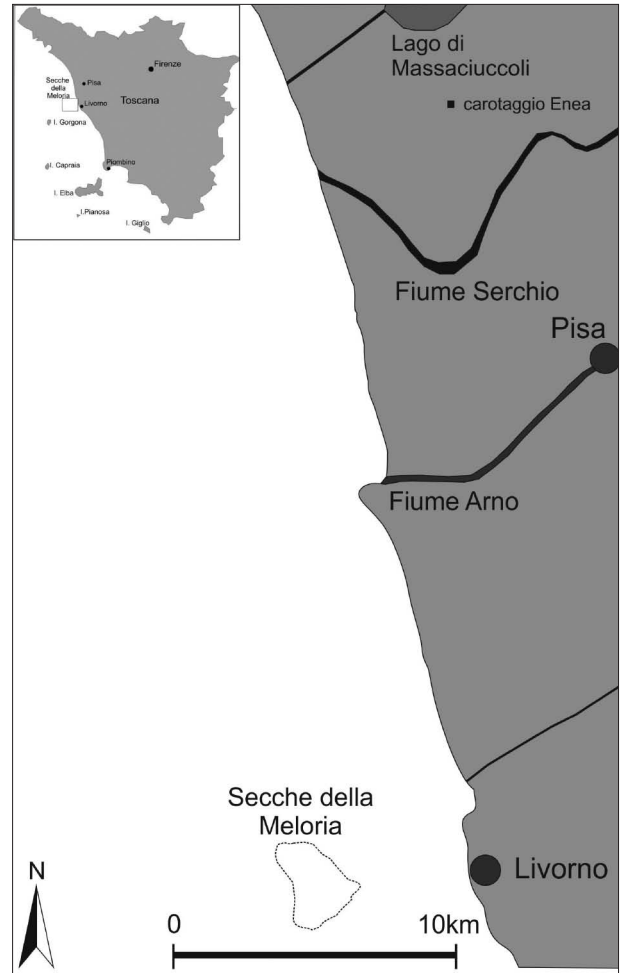


Figura 1 - Ubicazione dell'area di studio.

alti OIS 5e (circa 125 ka), OIS 5c (circa 110 ka) e OIS 5a (circa 90 ka). Secondo questa scansione temporale la parte inferiore della panchina, per le tipiche faune calde e le quote massime raggiunte nel terrazzo di Livorno (+15 m) è riferibile al primo episodio trasgressivo tirreniano (Tirreniano I, oggi OIS 5e), la porzione regressiva ed i sovrastanti sedimenti lagunari e continentali sono collegati alla fase eustatica negativa intertirreniana immediatamente successiva (OIS 5d). Il secondo livello di panchina in parte marino ed i soprastanti livelli lagunari, palustri, eolici sono da riferirsi ad un nuovo episodio trasgressivo (Tirreniano II?, OIS 5c), infine, i sedimenti sovrastanti regressivi e continentali sono legati alla fase eustatica negativa immediatamente successiva (OIS 5b)". Secondo Barsotti et al. (1974), la geologia delle Secche sarebbe legata ai cicli sedimentari marini tirreniani responsabili della deposizione e del modellamento della cosiddetta panchina fossilifera del tutto analoga a quella presente sul litorale livornese e presso le Secche di Vada. Alcuni studi più recenti interpretano questo deposito come record di stazionamento post tirreniano (Mauz, 1990; Ciampalini et al., 2006).

I lavori che hanno avuto come oggetto la geomorfologia delle Secche della Meloria sono molto più limitati ed hanno riguardato quasi esclusivamente le morfologie depresse di forma circolare e subcircolare che si aprono, con dimensioni variabili, sulla parte sommitale di questo alto morfologico sottomarino. Queste depressioni, note come "catini", hanno catalizzato l'attenzione di diversi studiosi che ne hanno ipotizzato la genesi, che presenta ancora margini d'incertezza. Il termine "catino" secondo Fierro et al. (1969) andrebbe riferito solo a quelle depressioni sviluppatasi in seno alla panchina e non a quelle incisioni aperte nelle mattes (sedimento misto detritico organogeno formato in parte da fanghi e resti di posidonie) concentrate nella porzione orientale e nord orientale delle Secche ed a SE dello ship light (Fig. 2). Secondo alcuni autori i catini, sarebbero assimilabili alla più piccole "marmitte" livornesi. Fancelli Galletti (1974) sostiene, infatti, che i catini differiscono dalle "marmitte" solo per le dimensioni ritenendo, dunque, omologabili i due termini. Dato che i primi hanno un diametro che si aggira intorno alle decine di metri, mentre gli altri raggiungono decine di decimetri (Aiello et al., 1982) si può ipotizzare che i catini rappresentino lo stadio evolutivo delle marmitte stesse (Giannelli et al., 1982). Secondo Barsotti et al. (1974), i catini sono da interpretare come forme di erosione subacquea originatesi in una fase di regressione quando la panchina sarebbe stata intaccata e scavata nelle zone in cui l'azione dinamica delle acque era più forte. Secondo Mazzanti e Parea (1979), invece, i catini sarebbero legati all'evoluzione di una costa in sommersione nella quale si osservano sulla panchina esposta i vari passaggi che vanno da un'area con superficie spugnosa fino ai catini veri e propri (nella fascia sopratidale); per questi ultimi non si esclude, in fase di sommersione, l'azione di erosione meccanica ad opera di vortici circolari di acque con ghiaia. Infine secondo Fierro et al. (1969), presupponendo un ambiente subaereo sottoposto all'azione degli agenti atmosferici, l'origine dei catini potrebbe essere attribuita a fenomeni di carsismo sviluppatosi in ambiente litologicamente favorevole. La successiva sommersione della morfologia continentale avrebbe costituito un supporto per le concrezioni organogene attuali che avrebbero ereditato la morfologia preesistente. Oltre a questo ampio dibattito sui catini, la geomorfologia sommersa delle Secche non ha visto praticamente altri studi se si eccettuano i rari lavori relativi alla paleo rete idrografica. In particolare, Segre (1955) evidenzia che la morfologia dei fondali al contorno delle Secche è caratterizzata dallo sviluppo di numerosi canali incisi nei depositi marini. Diversi autori (Segre, 1955; Mazzanti e Parea, 1979; Federici e Mazzanti, 1988) studiando la morfologia dei fondali prospicienti la costa toscana hanno ipotizzato, attraverso l'interpretazione della isobatimetriche della carte nautiche, alcuni tratti di paleoidrografia probabilmente attiva durante l'ultima glaciazione, fra cui il solco vallivo del paleo-Arno e nei fondali antistanti le Secche della Meloria molti torrenti minori.

Se diversi studi (Boschian et al., 2006) hanno investigato la geologia delle Secche della Meloria con particolare riguardo alla genesi del deposito di panchina, non ci sono studi specifici sulla geomorfologia legata ai processi marini ed in particolar modo a quelli olocenici.

Metodi

Il presente studio si basa su analisi batimetriche derivanti da dati acquisiti negli anni 1956, 1957, 1958 e nel 2009. Le indagini batimetriche sulla secca sono state effettuate utilizzando due diversi criteri di analisi: *single beam* e *multi beam*. Le prime sono state estese a tutta la secca ed ad un suo intorno significativo, le seconde sono state concentrate su una sua piccola porzione.

I dati inerenti alle indagini *single beam* (Grafici di scandaglio digitalizzati del 1950 e punti di inquadramento in coordinate metriche GB) sono stati acquisiti dall'Istituto Idrografico della Marina di Genova. Mentre il

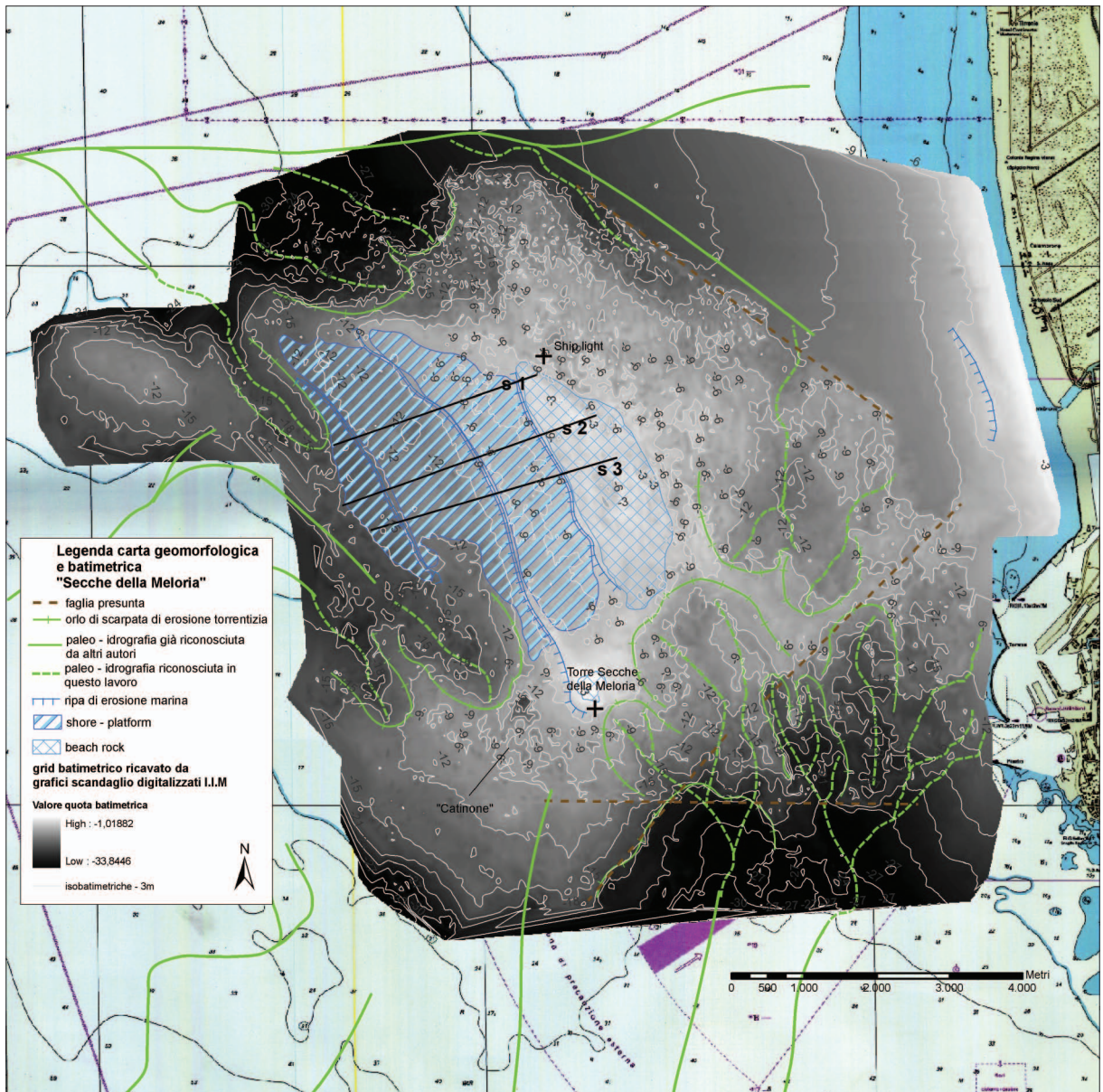


Figura 2 - Carta geomorfologica e batimetrica delle Secche della Meloria (derivata dai grafici di scandaglio digitalizzati IIM anni 1956, 1957, 1958). Le linee S1, S2 ed S3 indicano le sezioni utilizzate per la costruzione dei profili di Figura 3.

rilievo *multi beam* associato ad un rilievo SBP (Sub Botton Profiler) e SSS (Side Scan Sonar) è stato eseguito ad *hoc* nell'ambito di questo studio dalla GeoPolaris S.r.l nel 2009 e presenta un errore massimo, sui dati altimetrici, di 10 cm.

Tutti i dati acquisiti in formato digitale ed uniformati sono stati processati tramite software per la gestione dei sistemi territoriali (GIS) Arc Map 9.2.

I dati vettoriali appartenenti ai due rilievi batimetrici hanno permesso di ricostruire modelli digitali del terreno (Figg. 2, 4), sia 2D che 3D, (Triangular Irregular Network) e Grid. L'utilizzo di modelli digitali ha permesso di accentuare la scala altimetrica della rappresentazione spaziale della secca, consentendo di evidenziare particolari morfologie subacquee poco percepibili dalle semplice analisi delle carte batimetriche. L'errore delle carte batimetriche per quanto riguarda il posizionamento (longitudine e latitudine) è di circa 3 m. I dati di scandaglio hanno un errore altimetrico trascurabile (considerando che si tratta di mari relativamente calmi e fondali poco profondi).

Risultati

Topografia delle Secche

La carta di Figura 2 derivante dall'elaborazione dei dati batimetrici degli anni '50 dell'IIM di Genova e le relative sezioni (Fig. 3) permettono di dettagliare con maggior precisione rispetto agli studi precedenti la topografia delle Secche ed il contatto con i fondali sabbiosi adiacenti.

Morfologicamente la parte centrale delle Secche, estesa in direzione SSE – NNW tra la Torre della Meloria ed il fanale bianco Nord (o *ship light*), è costituita dai fondali più bassi con quote variabili da -1 m e -4 m. Rappresenta l'alto topografico sottomarino che ha il suo culmine nei pressi del Faro della Meloria dove il fondale raggiunge i minimi valori batimetrici (Fig. 2).

Mentre ad E la secca digrada uniformemente verso le coste livornesi, ad W si registra la presenza di tre scarpate, ubicate tra -5 m e -17 m, ed intervallate da superfici piane. Infine, sia a Nord che a Sud, il raccordo tra l'alto morfologico delle Secche ed il fondale è assai brusco, ed avviene attraverso una scarpata che porta da -8 m a -25 m a NW e da -9 m a -27 m a SE. Per spiegare questo andamento, in Figura 2, sono stati evidenziati alcuni lineamenti tettonici, interpretati come faglie sepolte in accordo con quanto mostrato da Structural Model of Italy (Bigi et al., 1992), questi potrebbero rappresentare elementi associati al lineamento tettonico principale verosimilmente bordanti il substrato pre-miocenico.

Paleoidrografia e morfologia fluviale

Questo studio ha consentito di identificare il tracciato della paleoidrografia di quest'area sommersa. In Figura 2 sono evidenziati gli elementi riconducibili alla paleoidrografia che deve aver caratterizzato l'area durante l'ul-

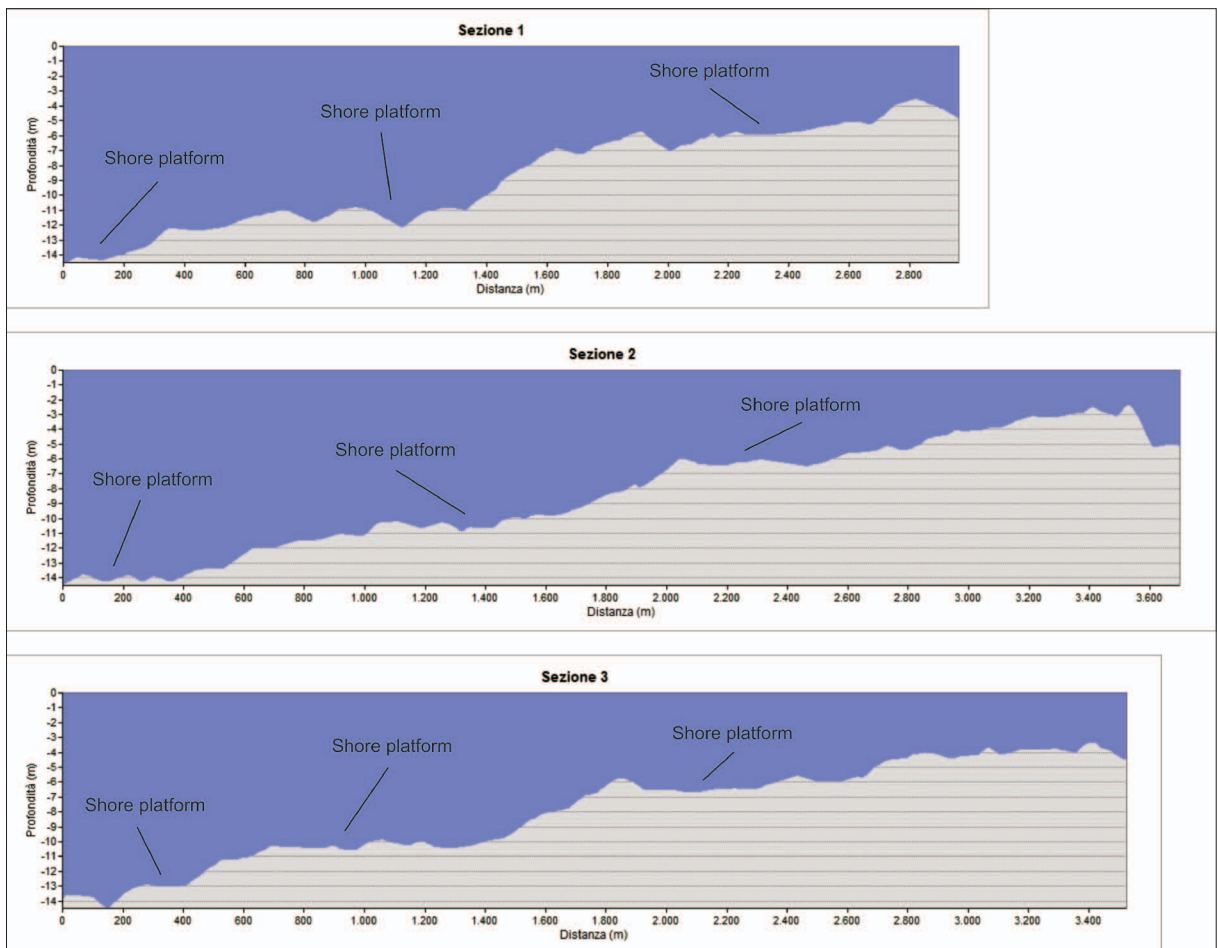


Figura 3 - Profili batimetrici eseguiti lungo le sezioni indicate in Figura 2.

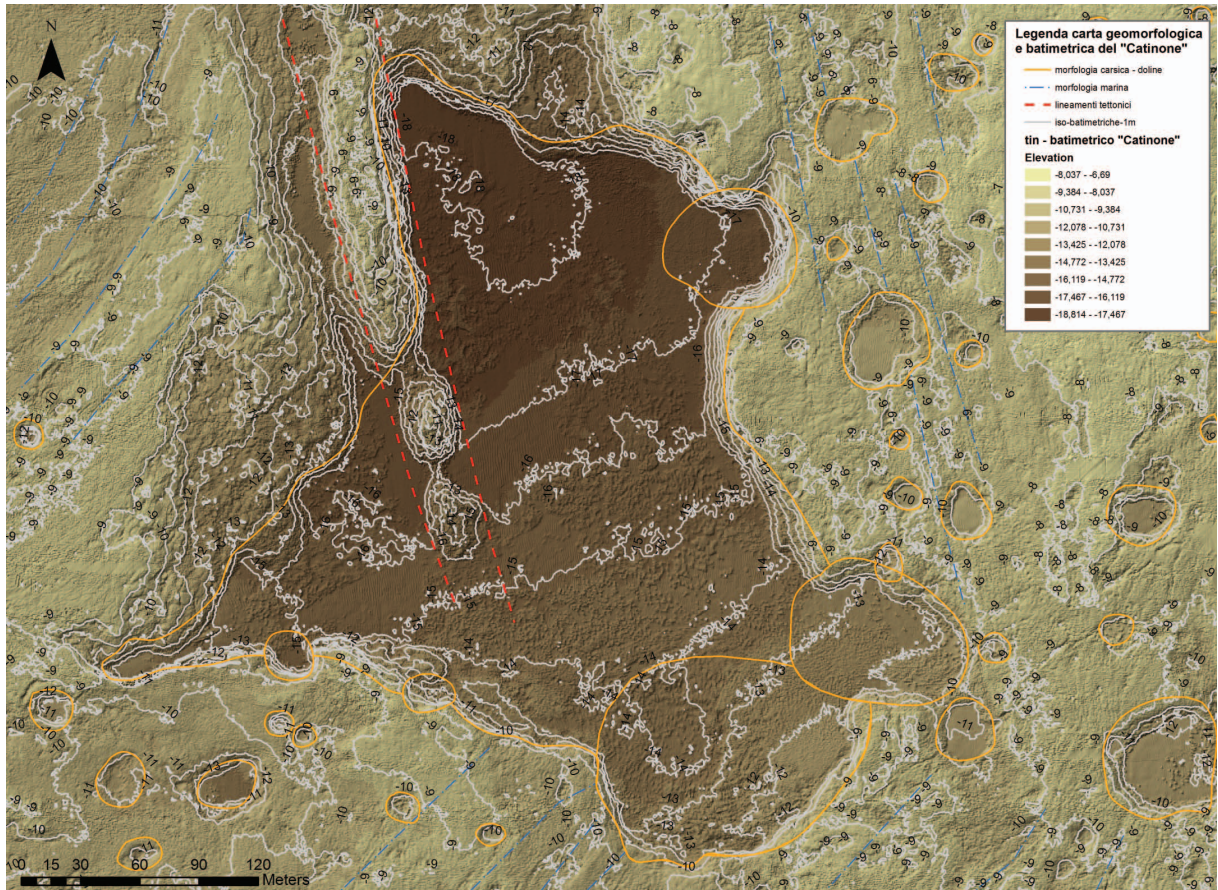


Figura 4 - Geomorfologica e batimetria del "Catinone" derivata dal rilievo batimetrico multi beam eseguito nel 2009.

timo periodo glaciale. Nella porzione SE delle Secche, ad una quota di circa -9 m, si riconoscono 4 scarpate con orlo arcuato e concavità rivolta verso le aree con fondale più profondo ubicate a sud. Tali scarpate, condizionate anche dal controllo strutturale (Fig.2), costituiscono probabilmente i resti di orli di degradazione legati all'erosione torrentizia e definiscono il limite dell'area di alimentazione dei torrenti. Al loro interno si individuano, infatti, morfologie valliformi con il tipico profilo topografico a V, riconducibili a tracce di una paleoidrografia caratterizzata da corsi d'acqua diretti, in questo caso, verso Sud. Nella parte occidentale delle Secche, a quota -9 m, si individuano 2 scarpate arcuate con concavità rivolta verso Nord, all'interno delle quali si riconoscono tratti di un reticolo idrografico relativo ad un corso d'acqua che potrebbe aver costituito un affluente del paleo-Arno (Segre, 1954; Mazzanti, 1979; Federici e Mazzanti, 1988).

Analogamente, nei pressi del limite Nord delle Secche, 3 scarpate arcuate con concavità rivolta a Nord, ubicate a quota -12 m, sembrano delimitare l'area di alimentazione di piccoli torrenti connessi con affluenti del paleo-Arno.

I canali e le depressioni valliformi mostrano una morfologia molto addolcita in relazione alla bassa pendenza e ai processi deposizionali ed erosivi marini che nel tempo ne hanno smussato i contorni. Particolarmente interessante è l'unione dei dati rilevati con quelli derivanti da studi pregressi e da vecchie carte batimetriche. I reticoli idrografici individuati rappresentano il proseguimento verso monte (sull'alto morfologico costituito dalle Secche) di bacini fluviali dei quali è stato possibile dettagliare il limite della zona di alimentazione rappresentato dalle scarpate di erosione mai descritte prima di questo studio.

Morfologia carsica

Le nuove elaborazioni dei dati batimetrici (Figg. 2 e 4) consentono di identificare sulla superficie delle Secche numerose depressioni, circolari, sub circolari e allungate. Tali depressioni come precedentemente accennato

sono note come catini. Questi mostrano dimensioni e profondità variabili e si sviluppano maggiormente nella dorsale ubicata nella porzione sud occidentale delle Secche, mentre l'entità del loro sviluppo, nel versante occidentale, sembra più limitata, anche se, al momento non facilmente leggibile dalle sole analisi *single beam*. Per poter evidenziare con maggiore precisione la morfologia dei catini ed in particolare quella della forma più rappresentativa tra questi, nota con il nome di "catinone", è stata eseguita un'indagine *multi beam* su di una piccola area delle Secche. La ristretta area indagata si estende per circa 2,5 km² ed è ubicata circa 600 m a WSW del Faro delle Melorie (Fig. 4). Le sue coordinate indicative sono:

43° 33',00 N, 10° 12',00E	43° 33',00 N, 10° 13',00E
43° 32',00 N, 10° 12',00E	43° 32',00 N, 10° 13',00E

Lo scopo dell'indagine *multi beam* è stato quello di dettagliare al meglio le caratteristiche morfologiche del catinone, ma anche quelle dei catini minori presenti nei dintorni, per poterle poi estendere anche agli altri catini presenti nelle aree delle Secche, delle quali si hanno solo rilievi di minor dettaglio.

Questa depressione è ubicata a circa 1 km a WSW della Torre della Meloria e presenta un'area di 74500 m² ed una lunghezza media di 450 m e larghezza media di 250 m. Il fondale della depressione è caratterizzato da una superficie subpianeggiante blandamente inclinata verso Nord, la cui profondità massima raggiunge i -19 m nella porzione Nord, mentre la porzione a Sud mostra una profondità media di -11,5 m. La differenza di quota tra la culminazione pianeggiante della depressione ed il fondo è di 8 m a N e 4 m a S. Il perimetro della depressione risulta molto irregolare. Le porzioni Nord e Sud orientale sono caratterizzate da diverse superfici sub circolari interrotte, che sembrano rappresentare i resti di singole depressioni inglobate successivamente nel perimetro del catinone. Il bordo Nord occidentale, a cui corrisponde la maggior profondità, presenta, invece, un netto andamento lineare orientato NNW - SSE.

L'elevata risoluzione raggiunta dall'indagine *multi beam* ha permesso di riconoscere sulla superficie del fondale i seguenti aspetti caratteristici:

- l'area al contorno del catinone nel tratto orientale e sud occidentale mostra la presenza di depressioni minori di perimetro variabile tra i 10 e 60 m e profondità compresa tra 1 e 3 m.
- nel tratto sud occidentale ed in tutto il lato orientale il fondale risulta caratterizzato da una serie di striature e fratture orientate SW - NE e N - S. Questi aspetti sono assimilabili alle morfologie descritte da Mazzanti e Parea (1979), nelle attuali coste in sommersione interessate da deposizione di panchina (Fig. 5).
- la superficie subpianeggiante dei catini più piccoli analogamente a quanto riscontrato nel catinone risulta inclinata verso Nord. L'inclinazione generalizzata del fondo delle depressioni verso Nord potrebbe essere associata alla presenza di un lineamento tettonico che ha favorito il basculamento e la cui espressione

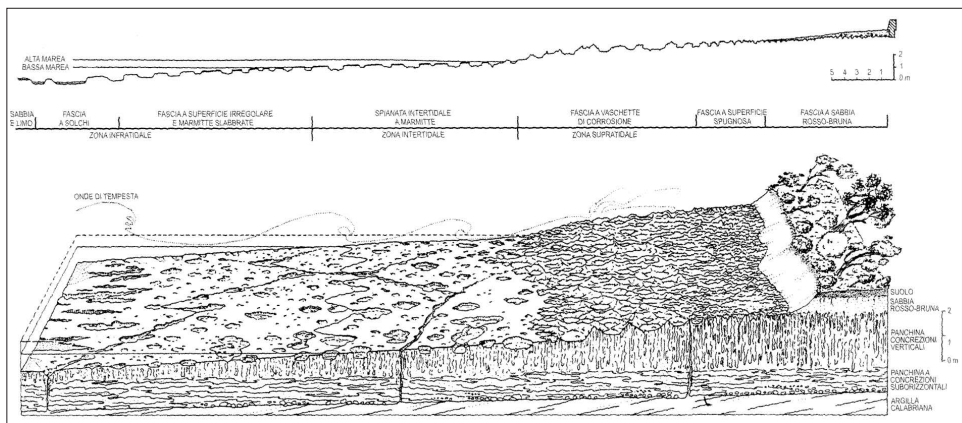


Figura 5 - Stereogramma per mostrare le strutture sedimentarie delle Calcareni di Castiglioncello e le fasce di erosione che si sviluppano sopra la loro superficie per azione, nella fascia sopratidale, dell'aerosol marino nei giorni di vento di mare in cui si mescolano le acque dolci dei giorni di pioggia e, nelle fasce sommerso per le azioni della dinamica marina (Mazzanti e Parea, 1979).

ne topografica può essere rappresentata dalla presenza della scarpata rettilinea che borda a NW il catinone. Le analisi eseguite in questa ricerca non permettono di risolvere con certezza il problema legato alle caratteristiche del substrato pre – miocenico delle Secche e di evidenziare se queste morfologie possano rappresentare processi carsici ereditati da un substrato carsificabile o processi direttamente impostati sulle calcareniti della panchina. Tuttavia, le evidenze geomorfologiche sembrano confermare una genesi carsica in ambiente emerso per queste depressioni.

A conferma di questa ipotesi l'aspetto delle pareti, ma in particolare il perimetro del catinone che sembra derivare dalla coalescenza di più catini minori. Le maggiori dimensioni (in ampiezza e profondità) rispetto ad altri catini possono essere associate anche alla presenza di sistemi di fatturazione e debolezza che possono aver favorito i processi di infiltrazione e percolazione di acqua. La similitudine tra le morfologie individuate sulla superficie delle Secche nei dintorni del catinone e quelle descritte da Mazzanti e Parea (1979) sulla panchina livornese in area infratidale (Fig. 5) farebbe propendere per processi instauratisi sulle coste livornesi durante la fase di sommersione, dove, in seguito alla risalita del mare, le depressioni ubicate su superfici a bassa pendenza sono state in parte riempite e colonizzate da materiale organogeno. L'ipotesi che tali morfologie siano collegate ad erosione meccanica da vortici circolari di acque con ghiaia direttamente sulla panchina in condizioni di semi emersione risulta, invece, difficilmente sostenibile, viste le dimensioni e la profondità delle depressioni che supera nel caso del catinone gli 8 m (infatti la profondità del catinone risulta 8 m, ma è probabilmente maggiore, visto che non siamo in grado di stimare lo spessore dei depositi organogeni presenti attualmente all'interno nella depressione).

Morfologia costiera

L'analisi dei dati batimetrici ha permesso di evidenziare nella porzione occidentale delle Secche la presenza di almeno due superfici pianeggianti bordate da altrettante scarpate verticali con andamento sub parallelo alla linea di costa attuale (Fig. 2).

La prima superficie pianeggiante, ubicata ad una quota di circa -12 m, ha una lunghezza di circa 5,5 km ad una larghezza di circa 1,2 km ed ha una leggera pendenza verso Ovest, cioè verso il mare aperto. Verso Est si raccorda ad una scarpata lunga poco più di 5 km, che presenta un dislivello di circa 6 m.

La seconda superficie pianeggiante, ubicata a quota -6 m, ha una lunghezza di circa 5 km, una larghezza di circa 1 km. E' delimitata ad est da una scarpata che ha una lunghezza di quasi 4 km ed un dislivello di circa 3 m. Queste due aree pianeggianti possono essere interpretate come *shore-platforms* i cui margini interni possono rappresentare importanti *markers* dei livelli di stazionamento del mare durante la risalita olocenica. In particolare, tenendo conto dell'errore solitamente attribuito a questo tipo di indicatori (Pirazzoli, 2007) la quota dei due margini interni sarebbe stata individuata rispettivamente a $-12 \pm 1,5$ m e $-6 \pm 1,5$ m sul livello del mare attuale.

Lembi residui di una piattaforma analoga a quelle precedentemente descritte sono individuabili con maggior margine d'incertezza a quota -15 m. Anche in questo caso la piattaforma risulterebbe bordata verso est

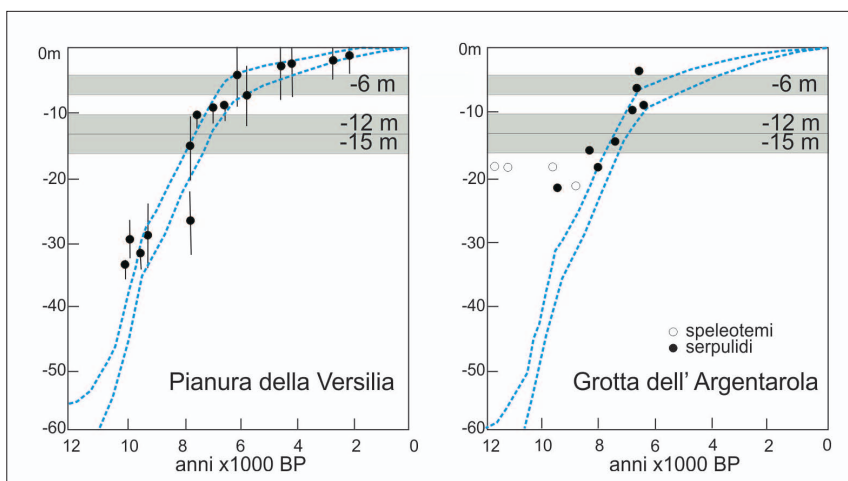


Figura 6 - Curve di risalita del livello marino osservate e previste in base a modelli nella piana della Versilia (carotaggio Enea 43°48'N - 10°19'E) e nella grotta dell'Argentarola (42°26'N - 11°07' E). Le due linee indicano i valori massimi e minimi previsti in base a modelli. In nero ubicazione dei markers di stazionamento del livello del mare con la relativa barra di errore. Le barre grigie indicano le quote dei markers individuati alle secche della Meloria (l'ampiezza della barra indica l'errore).

da una scarpata con dislivello di circa 3 m e lunghezza di qualche chilometro. La presenza di tracce paleo idrografiche e della relativa scarpata di erosione torrentizia rendono, in questo caso, più difficile la lettura del dato topografico. Tuttavia la quota del margine interno è stata individuata a $-15 \pm 1,5$ m sul livello del mare attuale.

Per quanto riguarda le piattaforme oloceniche con quota dei margini interni individuata a -15, -12, -6 m allo stato attuale delle ricerche non esistono datazioni dirette dei depositi. Ma riportando i 3 livelli sulle curve di risalita del livello marino negli ultimi 10.000 osservate e previste in base a modelli nella piana della Versilia (Lambeck et al., 2004; Nisi et al., 2003) e all'Argentarola (Antonioli et al., 2004) si osserva che i livelli individuati sono compatibili con quelli di stazionamenti registrati nella piana della Versilia e all'Argentarola tra 8000 e 4000 anni BP (Fig. 6). L'ipotesi che queste morfologie, mai descritte precedentemente, siano effettivamente legate a fasi di stazionamento del mare durante la risalita olocenica sembra dunque plausibile. Non si può tuttavia escludere una morfogenesi avvenuta durante una caduta eustatica, cioè prima dell'Ultimo Massimo Glaciale. In quest'ottica una datazione assoluta potrebbe portare un sicuro contributo alla curve locali di risalita.

Conclusioni

Il presente lavoro ha consentito di portare un contributo alla conoscenza della geomorfologia sommersa delle Secche della Meloria con particolare riguardo agli aspetti morfologici dei catini, allo sviluppo della rete idrografica e alla paleo morfologia costiera.

In particolare sono state identificate tracce di una antica idrografia probabilmente riferibile all'ultimo periodo glaciale. L'andamento dei principali corsi d'acqua che hanno interessato questo alto morfologico è stato ricostruito fino al bacino di alimentazione identificato dalla presenza di scarpate di erosione (mai segnalate prima di questo lavoro).

E' stata ricostruita in modo dettagliato la morfologia delle forme depresse, note come catini, per le quali si è ipotizzata una genesi casca condizionata dalla tettonica.

Nel versante SW delle Secche della Meloria, sono state individuate tre piattaforme bordate da tre scarpate. Queste morfologie sono state interpretate rispettivamente come shore platformes e paleofalesie. E' stata osservata una buona correlazione dei dati altimetrici di questi markers (-6 m, -12 m, -15 m) con i dati di stazionamento del livello del mare registrati tra 8000 e 4000 anni BP nella grotta dell'Argentarola e nella pianura della Versilia. Tuttavia, è importante segnalare che queste morfologie potrebbero essere state formate dal mare in fase regressiva, cioè prima dell'Ultimo Massimo Glaciale. Solo l'ausilio di un preciso riferimento cronologico potrà chiarire questo punto e consentire di ipotizzare l'evoluzione paleogeografica delle Secche della Meloria. Questo aspetto costituisce la prospettiva futura di questo lavoro che ha fornito nuovi dati morfologici utili per lo studio di questo settore costiero.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato svolto grazie al finanziamento delle Fondazione Cassa di Risparmio di Livorno.

Bibliografia

- Aiello E., Bartolini C., Gabbani G., Mazzanti R., Pranzini E., Valleri G. (1981) - *Morfologia e geologia delle Secche di Vada*. Boll. Soc. Geol. It., 100: 339 -368.
- Antonioli F., Bard E., Potter E.-K., Silenzi S., Impronta S. (2004) - *215 ka history of sea level oscillations from marine and continental layers in Argentarola cave speleothems (Italy)*. Global And Planetary Change 43: 57-78.
- Bacci G., Badino G., Lodi E., Rossi L. (1969) - *Biologia delle Secche della Meloria I - Prime ricerche e problemi di conservazione e di ripopolamento*. Boll. Pesca Piscic. Idrobiol., 24: 5-30.
- Barsotti G., Federici P.R., Giannelli L., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. (1974) - *Studio del quaternario livornese, con particolare riferimento alla stratigrafia ed alle faune delle formazioni del Bacino di carenaggio della Torre del Fanale*. Mem. Soc. Geol. It., 13: 425-495.
- Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R. e Scandone P. (1991) - *Structural model of Italy. Scala 1:500.000*. CNR-PFG.
- Boschian G., Bossio A., Dell'Antonia A., Mazzanti R. (2006) - *Il Quaternario della Toscana Costiera*. Studi

- Costieri, 12: 1-207.
- Fancelli Galletti M.L. (1974) - *Analisi pollinica di sedimenti sovrastanti la panchina tirreniana di Torre del Fanale in Livorno*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem. Serie A 81: 222-226.
- Federici P.R., Mazzanti R. (1988) - *L'evoluzione della paleogeografia e della rete idrografica del Valdarno Inferiore*. Boll. Soc. Geogr. It., 5: 573-615.
- Federici P.R., Mazzanti R. (1995) - *Note sulle pianure costiere della Toscana*. Mem. Soc. Geogr. It., 13: 165-270
- Fierro G., Maglietta F., Piacentino G.B. (1969) - *Biologia delle Secche della Meloria*. Boll. Pesca Piscic. Idrobiol. - Vol XXIV - f.2 116-149.
- Giannelli L., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. e Sanesi G. (1982) - *Nuove osservazioni sul Quaternario di Livorno*. In Studi sul Territorio Livornese, Archeologia, Antropologia, Geologia, entro Livornese di studi archeologici, Livorno.
- Ghelardoni R., Giannini E. e Nardi R. (1968) - *Ricostruzione paleogeografica dei bacini neogenici e quaternari nella bassa valle dell'Arno sulla base dei sondaggi e dei rilievi sismici*. Mem. Soc. Geol. It., 7: 91-106.
- Lambeck K., Anzidei M., Antonioli F., Benini A, Esposito E.(2004) - *Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for modern sea level rise*. Earth and Planetary Science Letter, 224 563-575
- Mazzanti R., Parea G. C. (1979) - *Erosione della "Panchina" sui litorali di Livorno e Rosignano*. Boll. Soc. Geol. It., 96: 457 - 489.
- Mazzanti R. (1983) - *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'arcipelago della Toscana*. Boll.Soc.Geol. It., 102.
- Mazzanti R., Pasquinucci M., Salghetti Drioli U. (1984) - *Il sistema Secche della Meloria - Porto pisano: geomorfologia e biologia marina in relazione ai reperti archeologici*. In AA.VV., 1284. L'anno della Meloria, Pisa, pp. 7-54.
- Nisi M., Antonioli F., Dai Pra G., Leoni G. e Silenzi S. (2003) - *Coastal deformation between the Versilia and the Garigliano plains (Italy) since the last interglacial stage*. Journal of Quaternary Science, 18(8): 709-721
- Pirazzoli, P.A. (2007) - *Sea level studies - Geomorphological indicators*. Enciclopedia of Quaternary Science Elsevier, pp. 2974-2983.
- Segre A. G. (1955) - *Nota sulla idrografia continentale e marina*. Note illustrative C.G.I II ediz., F° 111 - Livorno .Serv. Geol. D'It: 20-26.

Ricevuto il 08/10/2010, accettato il 13/5/2011.

Opere di difesa della costa costruite con contenitori in geotessuto riempiti di sabbia: monitoraggio della struttura a protezione della spiaggia di San Vincenzo

Enrica Mori¹, Pierluigi Aminti¹ e Ilaria Crema¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Firenze, Via di Santa Marta 3 - 50139 Firenze.

Riassunto

Dopo una breve introduzione sulle caratteristiche ed i vantaggi in termini di impatto ambientale delle opere di protezione della costa realizzate con contenitori in geosintetico riempiti di sabbia, vengono illustrati i risultati del monitoraggio di circa due anni condotto su una barriera sperimentale sommersa parallela a riva costruita sul litorale di San Vincenzo.

Sono stati condotti rilievi sulle variazioni di forma subite dalla barriera sia per assestamenti interni sia ad opera del moto ondoso. E' stato osservato il comportamento a medio termine dei materiali costituenti il contenitore e l'influenza del tappeto di protezione posto come fondazione della struttura.

Osservazioni periodiche hanno permesso di effettuare delle valutazioni preliminari sugli aspetti biologici, sui popolamenti algali e sui tempi necessari a raggiungere una completa copertura ed una condizione di equilibrio con lo sviluppo di un ecosistema.

Parole chiave: opere di difesa costiera, barriere sommerse, geotessuti, geocontenitori.

Abstract

After a brief introduction on features and benefits (in terms of environmental impacts) of coastal defence structures built with geosynthetic containers filled with sand, the article presents results from a one-year monitoring of an experimental submerged reef constructed parallel to the shore, on the coast San Vincenzo (Li). Surveys on modifications of barrier shape due to wave action and bottom adjustment were carried out, together with studies on bottom variations and medium-term performance of container fabrics.

The influence of the carpet as foundation of the structure was also evaluated.

Regular observations allowed to consider biological aspects of algal populations and to estimate the time required to achieve full coverage, as well as an equilibrium state, with the formation of an ecosystem. Efficiency of scour aprons under the containers was also observed. Periodic surveys on biological accretion on top of the fabric may show how fast geotextile surface can be fully colonised.

Keywords: Coastal defence, submerged barriers, geotextiles, geocontainers.

Introduzione

L'uso di contenitori in materiale geosintetico riempiti di sabbia per la costruzione di opere di protezione della costa comincia diffondersi spinto da diversi fattori:

- la disponibilità in commercio di prodotti molto differenziati fra i quali il progettista può scegliere in funzione delle diverse applicazioni;
- la maggiore esperienza che viene acquisita sulla base dei controlli sulle prime applicazioni;
- il limitato impatto delle operazioni di cantiere che rendono possibili interventi anche in prossimità

della stagione balneare;

- la rapidità dei tempi di costruzione;
- il costo sensibilmente ridotto rispetto ad opere tradizionali a scogliera.

Un limite alla diffusione di queste opere è costituito dalla carenza di metodi progettuali consolidati e dalle limitate conoscenze di campo sulla durabilità dei geosintetici usati per la protezione delle coste. Inoltre la tecnologia relativamente nuova fa sì che l'opera compiuta non sia sempre corrispondente ai requisiti di progetto.

Il presente lavoro ha avuto l'obiettivo di analizzare, per mezzo di una sperimentazione di campo su un prototipo, la risposta a lungo periodo di una barriera sommersa parallela a riva costruita con elementi in geotessuto riempiti di sabbia, monitorando la forma iniziale e le successive variazioni, e l'idoneità di diversi materiali a mantenere nel tempo le caratteristiche di resistenza iniziale.

Protezione delle coste con contenitori in geotessuto riempiti di sabbia: stato dell'arte

Negli anni passati la costruzione di difese costiere utilizzando geocontenitori riempiti di sabbia era limitata, in Italia, ad opere provvisorie o ad opere sperimentali per le quali non si riteneva indispensabile una lunga durabilità.

La forte diffusione di geosintetici come elementi filtro nelle costruzioni marittime e in opere di fondazione in presenza di acqua, ha evidenziato la loro stabilità chimica e la loro resistenza alla maggior parte delle aggressioni nell'ambiente marino (Pilarczyk, 2000), ma si hanno ancora poche informazioni sulla durabilità di opere marittime esposte direttamente al moto ondoso. Solo negli ultimi anni sono state costruite importanti opere di difesa della costa sia pennelli (Luger et al., 2006) sia barriere sommerse costruite in sacchi.

Altre recenti applicazioni importanti riguardano opere di protezione antierosione al piede di sostegni per turbine eoliche nel Mare de Nord, (Grune et al., 2006) o per la protezione del piede delle dune costiere (Restall, 2002).

In Italia le opere di difesa costiera realizzate utilizzando geosintetici non sono attualmente molto diffuse, nonostante i primi interventi risalgano alla fine degli anni '80 e all'inizio degli anni '90. I più importanti interventi furono eseguiti a Caorle (Liberatore, 1993), a Lido di Dante, e su diversi tratti della costa della Regione Emilia Romagna (Preti, 1993). In questi ultimi interventi furono utilizzati sacchi riempiti di sabbia del volume di circa 2 m³, utilizzando geotessuti non specificamente studiati per impiego in ambiente marino. Solo negli ultimi anni sono state realizzate difese con nuovi geosintetici utilizzando contenitori cilindrici di diametro compreso fra 3 e 4 m come per due barriere parallele sommerse ad Alasio, e per pennelli sommersi a protezione di una spiaggia a San Rossore ed una a Capalbio o pennelli sommersi in sacchi a Marina di Massa (Aminti, 2004, D'Eliso et al., 2006, Mori e Aminti, 2008).

Materiali usati per i geocontenitori

Nella varietà di geosintetici esistenti (geotessuti, geogriglie, geomembrane, etc.) solo i geotessuti sono adatti ad essere usati nell'ingegneria costiera per costruire contenitori da riempire di sabbia. I geotessili sono manufatti permeabili e filtranti disponibili in fogli, strisce e pannelli e possono essere di tipo tessuto, tessuto "maglieria" e non tessuto; esistono inoltre geocompositi, ottenuti appunto dall'accoppiamenti di strati di geosintetici diversi.

I geotessili tessuti sono strutture piane e regolari formate dall'intreccio di due o più serie di fili costituiti da fibre sintetiche: fili di ordito (paralleli al senso di produzione) e fili di trama (perpendicolari ai primi), che consentono di ottenere aperture regolari e di dimensioni appositamente studiate in modo da risultare permeabili all'acqua, ma in grado di trattenere la sabbia.

La normale disposizione delle due serie di fili conferisce ai geotessili tessuti una spiccata anisotropia nei confronti della resistenza, della rigidità e dell'attrito superficiale. Questa caratteristica richiede una particolare attenzione nel caso del loro utilizzo in condizioni di deformazione piana.

I geotessili nontessuti sono strutture piane, con spessore variabile tra i decimi di millimetro e diversi millimetri, composte da fibre sintetiche disposte casualmente e tenute insieme fra loro con metodi meccanici o termici. I non tessuti assemblati meccanicamente vengono ottenuti attraverso l'inclusione ciclica di migliaia di aghi uncinati nella matrice dei filamenti sciolti, provocando un aggrovigliatura degli stessi. In relazione alla lunghezza delle fibre, i geotessili non tessuti agugliati possono essere a filamento continuo oppure a

fibra corta (“fiocco”). L'assenza di una qualsiasi direzione privilegiata conferisce una sostanziale isotropia meccanica; inoltre i non tessuti sono caratterizzati da maggiore deformabilità e minore resistenza a trazione rispetto ai geotessili tessuti. I geosintetici non tessuti sono stati storicamente i primi tipi di materiali prodotti dall'industria che hanno avuto un largo impiego in opere di ingegneria geotecnica e rappresentano ancor oggi la tipologia quantitativamente più utilizzata in Italia.

Tutti i polimeri impiegati per la produzione dei geosintetici sono termoplastici, ovvero sono costituiti da macromolecole lineari o ramificate che per effetto del riscaldamento rammolliscono e passano allo stato liquido. I polimeri adoperati nella manifattura delle fibre dei geotessili, elencati in ordine decrescente di utilizzo, sono (Koerner, 2005):

- Polipropilene, PP ($\approx 92\%$)
- Poliestere, PET ($\approx 5\%$)
- Polietilene, PE ($\approx 2\%$)
- Poliammide (nylon), PA ($\approx 1\%$)

Con il grado di polimerizzazione, che è il numero medio di unità strutturali contenute in una catena macromolecolare, cambiano radicalmente le proprietà del polimero. All'aumentare del grado di polimerizzazione aumentano le forze attrattive intermolecolari. Il polipropilene è di gran lunga il polimero più utilizzato per il buon rapporto qualità prezzo. La struttura semicristallina gli conferisce una notevole stabilità chimica. Il principale limite d'uso del polipropilene è la tendenza a perdere di efficacia sottoposto ad elevati carichi costanti, ovvero ha una scarsa resistenza al creep viscoso. In ogni caso, con l'estrema varietà di prodotti esistenti sul mercato, più che alle caratteristiche del polimero costituente, sono le proprietà del geotessile finale che il progettista deve analizzare per la scelta del prodotto; i metodi di prova codificati dalla normativa internazionale (ISO), europea (EN) e recepiti dalla normativa italiana (UNI) (Van Santvoort, 1994).

Nel considerare le prestazioni a lungo termine di un'opera in geotessuto è necessario differenziare tra le proprietà funzionali disponibili e quelle richieste. La Figura 1 è una rappresentazione schematica dell'evoluzione di una proprietà disponibile come funzione del tempo, come rappresentato dalla curva superiore del grafico. In questo caso è rappresentata la resistenza a trazione, ma il grafico non sarebbe molto differente per una proprietà diversa come la permeabilità. Lungo l'asse dei tempi è la vita d'esercizio del manufatto a partire dalla produzione.

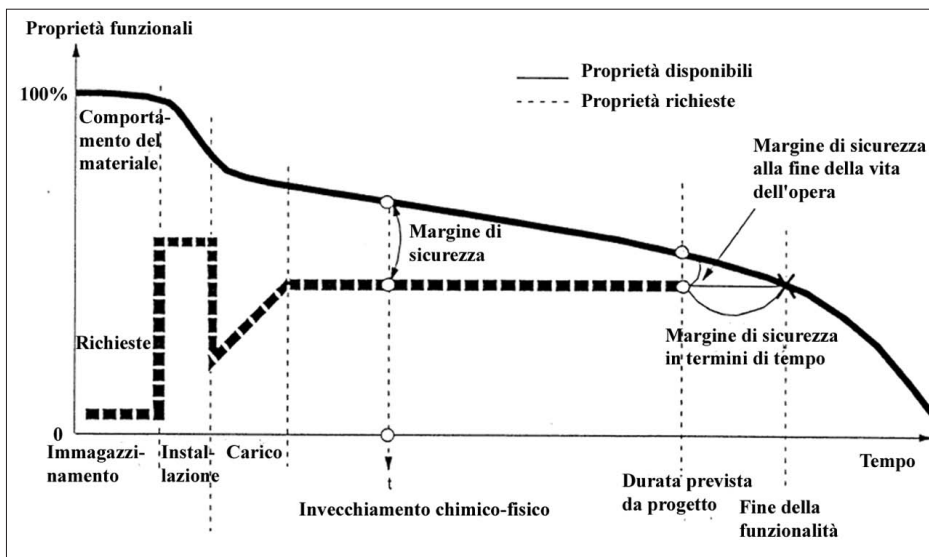


Figura 1 - Andamento delle proprietà richieste e disponibili in funzione del tempo (da ISO Tecnical Report 13434).

La curva inferiore rappresenta i cambiamenti nel tempo delle caratteristiche richieste al prodotto durante le successive fasi. Si può vedere che dopo un massimo in fase d'installazione, la proprietà richiesta si considera in generale costante (ISO Tecnical Report 13434). E' necessario accertarsi che, dopo la durata di progetto dell'opera, ci sia ancora un margine di sicurezza sufficiente per la proprietà funzionale richiesta.

Requisiti di progetto per contenitori o tubi in geotessuto riempiti di sabbia

Nel progetto di qualsiasi tipo di contenimento con geotessuti occorre prendere in considerazione gli aspetti di durabilità della struttura e di stabilità (Buckley, 2006).

Per la durabilità aspetti da tenere in considerazione sono:

- resistenza ai raggi ultravioletti: ha un effetto significativo sull'efficienza della struttura, se non coperta ed in zone dove la radiazione UV è notevole.
- Resistenza all'abrasione: il tubo od i contenitori devono resistere all'abrasione generata dalla sabbia sotto l'azione del moto ondoso.
- Resistenza a trazione nel tempo e scorrimento viscoso (creep) : anche se la resistenza a trazione più elevata è richiesta in fase di installazione, la resistenza residua è strettamente collegata al comportamento viscoso tipico dei materiali polimerici. Inoltre tale scorrimento viscoso porta ad allungamenti che cambiano la geometria della struttura, discostandola da quella di progetto.
- Resistenza al danneggiamento: il danneggiamento di tubi o container può avvenire per mezzo di: (i) oggetti trasportati dalle onde come i detriti legnosi (ii) azioni causate dalle imbarcazioni (iii) atti vandalici.
- Ritenzione di materiali fini: le forze idrodinamiche e il rilassamento viscoso possono variare la capacità iniziale del tubo o del container di trattenere i materiali fini. In altre parole le caratteristiche idrauliche richieste al tessuto aumentano all'aumentare dell'esposizione della struttura a onde frangenti e correnti.
- Permeabilità: la permeabilità del geotessuto determina quanto velocemente l'acqua viene drenata dal riempimento in sabbia.
- Resistenza delle cuciture: durante il riempimento e l'installazione si raggiunge un alto livello di sforzo nelle cuciture. La resistenza a trazione delle cuciture dovrebbe essere almeno l'80% della resistenza del tessuto ma questi valori per i tessuti più resistenti non sono mai raggiunti. Le cuciture dovrebbero inoltre soddisfare i criteri di durabilità della struttura.

I fattori da considerare per la stabilità di tubi e contenitori sono:

- massa del contenitore: il clima ondoso del sito deve essere considerato al fine di ottenere strutture non soggette ad alcun movimento;
- protezione dall'erosione: la superficie di posa della struttura dovrebbe essere ad un livello tale da non avere problemi di erosione localizzata. Strutture di protezione al piede adeguatamente flessibili incrementano significativamente la stabilità a lungo termine;
- disposizione e continuità: gli elementi dovrebbero essere posti a contatto tra loro per minimizzare i vuoti, usando uno schema ad elementi sfalsati, preferibilmente a doppio strato nel caso di opere in sacchi;
- Coefficiente d'attrito: per i sacchi, questa proprietà assume particolare importanza per la porzione superiore della struttura. Un tipico malfunzionamento è infatti lo scivolamento dei contenitori superiori;
- allungamento: tubi e contenitori fabbricati con tessuto ad alta deformabilità (geotessili non tessuti) hanno buone caratteristiche di plasmabilità e auto aggiustamento. Per contro è più difficile controllare la geometria finale della struttura, sia realizzata in sacchi che con tubi riempiti idraulicamente.

Tipologie di sistemi di contenimento in geotessuto



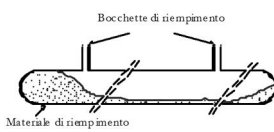
Esistono tre tipi fondamentali di unità di contenimento in geotessile le quali si differenziano per la geometria, volume, metodi di riempimento (Tabella 1). I container non sono usati per le opere di protezione costiera, per le profondità richieste dal metodo di posa e la scarsa accuratezza nel posizionamento. Per le opere costiere quindi, sono stati usati frequentemente sacchi, di dimensioni adeguate ad assicurarne la stabilità riempiti a terra e posizionati con mezzi terrestri o con pontone. I criteri di stabilità utilizzati per le opere in massi non sono adeguati per la progettazione di opere in sacchi e pertanto sono in corso indagini sperimentali di laboratorio indirizzate a determinare relazioni più attendibili fra le caratteristiche delle onde incidenti ed il peso e la forma dei sacchi in equilibrio. (Recio e Oumeraci, 2007; Mori et al., 2008).

In tempi più recenti le opere realizzate con tubi in geotessuto di grandi dimensioni sono sempre più frequenti, data la possibilità di ottenere un accurato posizionamento e la riduzione dei costi rispetto alle opere in sacchi. I tubi in geotessuto sono ottenuti assemblando in stabilimento teli di geotessuto con specifiche procedure di cucitura. Questi, una volta posizionati sul fondo, vengono riempiti idraulicamente con una miscela di acqua e sabbia generalmente prelevata in zona. I geotessuti impiegati devono avere un'adeguata permeabilità tale

da consentire l'espulsione dell'acqua impiegata nella fase di riempimento ma non la fuoriuscita della sabbia. L'involucro in geotessuto assolve tre funzioni che sono decisive sulla funzionalità della struttura:

- sufficiente resistenza a trazione per resistere alle sollecitazioni meccaniche durante il riempimento e durante la vita della struttura, e per non deformarsi nel tempo facendo cambiare forma alla struttura;
- permeabilità sufficiente a trattenere la sabbia, anche fine, e permettere il deflusso dell'acqua;
- durabilità tale da rimanere integro durante tutto il tempo di vita della struttura.

Tabella 1 - Tipologie di unità di contenimento.

			
Forma	SACCHI	CONTAINER	TUBI
Volume contenuto	0.05 ÷ 5 m ³	100 ÷ 700 m ³	Diametro 1 ÷ 5 m; Lunghezza oltre i 200 m
Metodo di riempimento	a terra	a terra	idraulico, in acqua

Durante il processo di riempimento e in seguito nella vita dell'opera le tensioni maggiori sono generate in tre aree: lungo la circonferenza del tubo ($[T]_c$), lungo l'asse ($[T]_a$) ed alle connessioni delle bocche di immissione della miscela ($[T]_p$).

L'analisi delle tensioni generate nel geotessuto è complicata dalla geometria del tubo; inoltre durante il processo di riempimento la miscela iniziale è in fase liquida, ovvero con sforzi tangenziali nulli, e con il consolidamento successivo arriva a raggiungere una fase solida. Questo cambio di fase del riempimento, la massa totale di sabbia immessa, la pressione di immissione della miscela e la durata del processo sono i fattori che influenzano le tensioni generate nel tessuto. Sono stati usati due diversi approcci nel loro studio: la teoria delle membrane e la meccanica del continuo. La teoria delle membrane proposta da diversi autori quali Leschinsky et al. (1996) e Palmerton (2002) assume che la miscela di riempimento sia in fase liquida ovvero che non si creino sforzi tangenziali. La procedura di riempimento viene modellata fino a raggiungere la forma finale. Questi metodi sono appropriati a descrivere la forma finale del tubo, ma non determinano in modo accurato le tensioni lungo la circonferenza in caso di riempimento in sabbia ovvero nel caso in cui si arrivi velocemente alla fase solida. Altri autori, ad esempio Cantré (2002), usano la meccanica del continuo per modellare il comportamento dei tubi: mentre questo approccio può modellare accuratamente le tensioni di esercizio, è impossibile modellare il processo di riempimento, che influenza la forma finale e di conseguenza le tensioni sulla superficie. Questo metodo è però efficace nel caso interessi modellare i cedimenti della fondazione.

Le tensioni massime di trazione sul tessuto si hanno direzione coincidente con la circonferenza del tubo e rag-

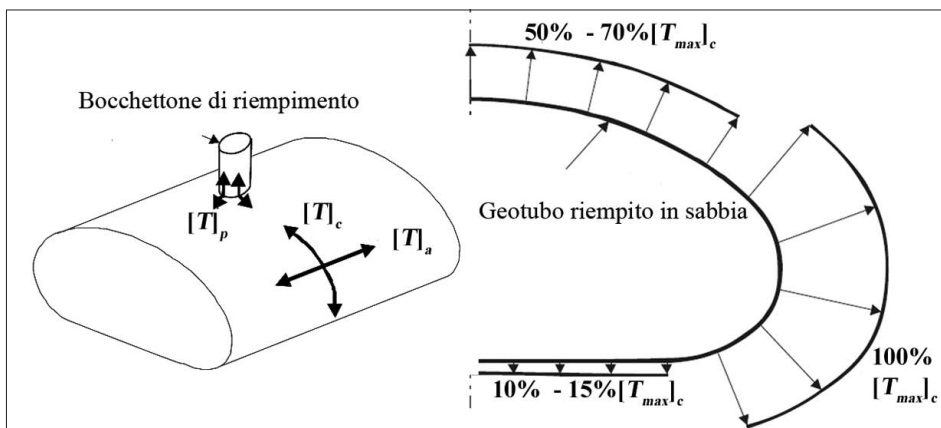


Figura 2 - Tensioni generate nel geotubo (da Lawson, 2006).

giungono il valore massimo in fase di riempimento. In Figura 2 si osserva che la distribuzione delle tensioni di trazione lungo la circonferenza non è uniforme e raggiunge valore massimo in prossimità dell'appoggio sul fondo. Considerando che le cuciture non garantiscono resistenza a trazione pari a quella del tessuto in fase di costruzione dei contenitori occorre prevedere accuratamente la posizione della cucitura longitudinale.

Aspetti ecologici delle strutture in geotessuto

E' prevedibile che l'introduzione di strutture in geotessuto nell'ecosistema marino abbia influenza sulle biocenosi presenti. La tipologia di substrato ha infatti un'importante influenza sulle modalità di distribuzione e composizione delle popolazioni e dei popolamenti a molteplici scale di osservazione (Lemire e Bourget 1996, Bavestrello et al., 2000; Cattaneo-Vietti et al., 2002; Schiaparelli et al., 2003; Faimali et al., 2004; Guidetti et al., 2004).

In particolare nel caso di introduzione di nuovi substrati in aree costiere (es. Connell, 2001; Pech, 2002; Chapman e Bulleri, 2003), è noto che spesso i popolamenti che si insediano sulle strutture artificiali presentano differenze sostanziali con i popolamenti naturali della stessa località infatti in seguito a fenomeni di "disturbo" dell'habitat, come nel nostro caso, l'introduzione di strutture in mare, si assiste ad un veloce processo di colonizzazione del substrato. Le popolazioni che per prime approfittano di queste condizioni e si riproducono rapidamente sono dette opportuniste o pioniere, a queste si contrappongono le popolazioni in equilibrio che tendono ad essere dominanti in condizioni di stabilità.

In una prima fase della colonizzazione di un substrato domineranno specie, come batteri e microalghe bentoniche (diatomee) dette pioniere perché cosmopolite opportuniste a rapidissima capacità di colonizzazione ed in grado di occupare il substrato diventando dominanti per riprodursi rapidamente.

Le specie pioniere poi preparano il substrato adatto all'insediamento delle macroalghe e di molti animali coloniali a crescita veloce come ad esempio idroidi e briozoi. La loro presenza però non è stabile in quanto sono sostituite da altre specie che trovano un vantaggio dalla loro presenza pioniera e possono quindi insediarsi iniziando quel processo di graduale sostituzione di specie verso una condizione finale di equilibrio tendenzialmente stabile (in assenza di disturbo). Questa sostituzione di specie prende il nome di successione ed è un concetto che deve essere legato al tempo per avere un corretto significato.

Le specie pioniere sono a rapida crescita, e sono inoltre molto idonee per i consumatori in quanto prive di protezioni chimiche (sostanze tossiche) o meccaniche (spine o altro).

Quindi si può ipotizzare una fase iniziale con specie pioniere ad ampia valenza ecologica e bassa diversità, tutte condizioni di ambienti instabili, per poi passare attraverso condizioni intermedie verso una fase finale di equilibrio, che a volte può richiedere molti anni per essere raggiunta, ed è caratterizzata da una elevata diversità e una specializzazione maggiore da parte delle specie presenti.

L'evoluzione temporale che si sviluppa da una condizione pioniera ad una condizione di equilibrio stabile può anche essere interrotta molte volte da fattori di disturbo (alterazioni idrodinamiche, inquinamento) che fanno tornare indietro la successione a nuove fasi pioniere e così più volte nel tempo.

Metodologia: il progetto sperimentale San Vincenzo (Li)

Il monitoraggio condotto su una barriera sperimentale sommersa parallela a riva costruita sul litorale di San Vincenzo ha avuto l'obiettivo di acquisire informazioni e suggerimenti utili per un progetto esecutivo di ampie dimensioni, e definizione delle più opportune modalità costruttive verificando:

- la forma finale assunta dalla struttura al termine della fase di consolidamento del materiale di riempimento e la variazione di forma della struttura a medio termine;
- la funzionalità dei tappeti interposti fra il fondo marino ed i contenitori, la loro durata nel tempo dei materiali e l'efficacia per aumentare la stabilità e la vita dell'opera;
- gli impatti della fase di cantiere e delle opere in fase di esercizio sugli ecosistemi marini.

L'intervento sperimentale è stato eseguito sul litorale antistante il centro di San Vincenzo dove è in atto un ampliamento del porto turistico ed un conseguente piano di riqualificazione delle spiagge basato sul ripascimento artificiale protetto. Proprio per i motivi citati è stato deciso di studiare delle opere protettive che tenessero conto dell'alto valore turistico delle spiagge antistanti l'abitato di San Vincenzo, evitando la realizzazione di opere di tipo tradizionale a scogliera e privilegiare la costruzione di barriere sommerse in geocontenitori riempiti di sabbia.

L'opera sperimentale oltre a raccogliere informazioni utilizzabili in contesti generali di protezione della costa, ha anche lo scopo di definire le linee guida per la progettazione e la manutenzione di un sistema di protezione che interessa le spiagge antistanti il centro urbano di San Vincenzo.

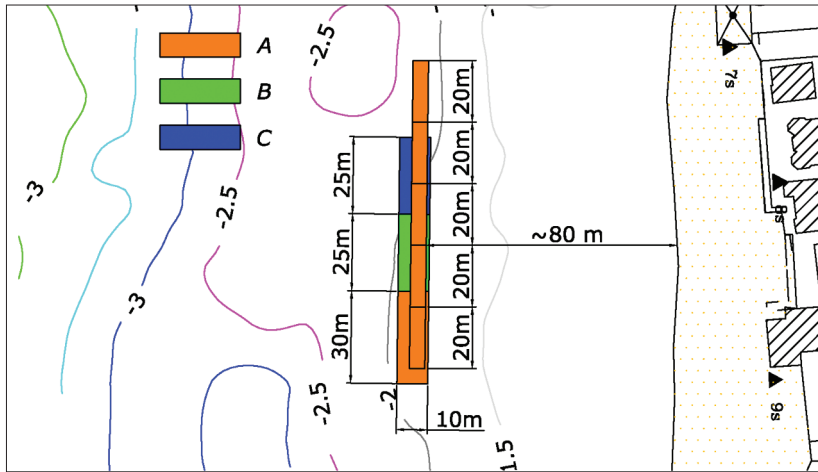


Figura 3 - Schema generale dell'opera sperimentale (i colori diversi indicano materiali diversi - vedi Tabella 2).

Progetto dell'opera sperimentale

Il tratto di barriera parallela costituito da cinque tubi in geotessuto, riempiti di sabbia è stato installato, nel periodo luglio - agosto 2008, ad una distanza da costa pari a circa 80 m (Fig. 3).

I tubi utilizzati sono caratterizzati da una sezione circolare di diametro nominale pari a 3 m e una lunghezza di circa 20 m e sono stati posizionati uno accanto all'altro, andando a costituire un sistema di difesa che si estende parallelamente alla linea di riva per circa 100 m.

Il sistema di difesa in esame è stato adagiato, secondo lo schema riportato in Figura 4, su un fondale avente una profondità che varia da 1.8 m a 2.5 m dove è presente sabbia con qualche affioramento roccioso di calcarenite.

Per il confezionamento dei tubi in geosintetico è stato impiegato un geocomposito tessuto/non tessuto, (Hate®175/175 DW A30) con le caratteristiche elencate in Tabella 2. Tale materiale è stato realizzato accoppiando un tessuto in poliestere con un non tessuto in poliestere, mediante cuciture eseguite in filo di poliestere stabilizzato UV.

I tubi sono dotati di cuciture trasversali all'asse del tubo stesso, e di un'unica cucitura lungo l'asse longitudinale mediano in posizione radialmente opposta ai bocchettoni di riempimento ed a contatto col fondale marino. La resistenza delle cuciture trasversali raggiunge almeno il 50% della resistenza nominale a rottura del geocomposito, mentre quella della cucitura longitudinale raggiunge il 30% della resistenza nominale a rottura del geocomposito (efficienze delle cuciture pari rispettivamente al 50% e 30% misurata in accordo

con la norma UNI EN ISO 10321).

I tubi sono dotati di specifici bocchettoni di lunghezza 1,40 m e diametro alla bocca di 25 cm per consentirne il riempimento con una miscela di sedimenti ed acqua mediante l'impiego di idonei apparati di pompaggio. Sono dotati di asole disposte ad intervalli regolari sui lati per consentirne il fissaggio a picchetti garantendo così la richiesta precisione in fase di montaggio. Al fine di monitorare la forma della struttura sono installate per ogni tubo 4 fasce intervallate longitudinalmente di 5 m; per ogni fascia sono presenti 5 markers (Fig. 6).

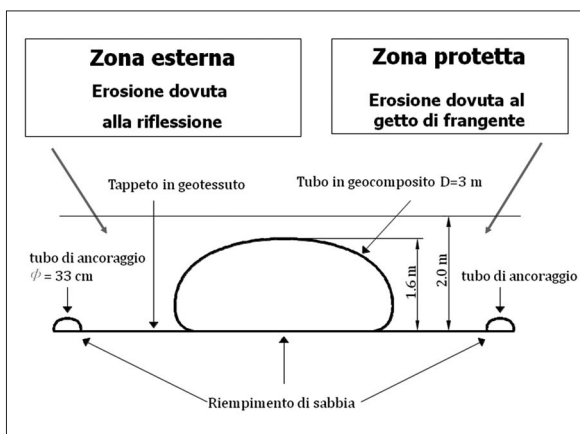


Figura 4 - Rappresentazione schematica della sezione trasversale della barriera.

Tabella 2 - Dati tecnici relativi ai Geotessili A.

Dati tecnici	Geotessile A	Geotessile B	Geotessile C
Materiali costituenti	Non Tessuto:PET Tessuto:PET/PET	Tessuto PP	Tessuto:PP Non Tessuto:PP
Peso unitario UNI EN ISO 9864	Non Tessuto 300 g/m ² Geocomposito 900 g/m ²	280 g/m ²	600 g/m ²
Resistenza ultima a rottura longitudinale	≥ 175 KN/m UNI EN ISO 10319	≥ 55 KN/m UNI EN ISO 10319	≥ 20 KN/m DIN EN 29073-3
Resistenza ultima a rottura trasversale	≥ 175 KN/m UNI EN ISO 10319	≥ 55 KN/m UNI EN ISO 10319	≥ 20 KN/m DIN EN 29073-3
Allungamento alla tensione nominale longitudinale	≤ 14 % UNI EN ISO 10319	15 % ± 4 % UNI EN ISO 10319	< 20 % DIN EN 29073-3
Allungamento alla tensione nominale trasversale	≤ 14 % UNI EN ISO 10319	11 % ± 3 % UNI EN ISO 10319	< 20 % DIN EN 29073-3
Resistenza al punzonamento - CBR UNI EN ISO 12236	/	7000 N	≥ 3000 N
Resistenza all'abrasione (Resistenza residua rispetto alla resistenza ultima a rottura iniziale) UNI EN ISO 13427	> 97 %	/	/
Permeabilità all'acqua UNI EN ISO 11058	3 x 10 ⁻² m/s	12 x 10 ⁻³ m/s	
Diametro di filtrazione UNI EN ISO 12956	0,11 mm	270 μm	0,10 mm

Tabella 3 - Dati di input e output del software GeoCoPS®.

Dati di input	
Circonferenza del tubo [m]	9,40
Densità dello strato inferiore del materiale di riempimento, [kN/m ³]	14,20
Densità dello strato superiore del materiale di riempimento, [kN/m ³]	14,20
Densità dello strato inferiore del fluido che circonda il tubo, [kN/m ³]	10,10
Densità dello strato superiore del fluido che circonda il tubo, [kN/m ³]	0,00
Altezza dello strato inferiore del materiale di riempimento, [m]	2,50
Altezza dello strato inferiore del fluido che circonda il tubo, [m]	2,00
Risultati corrispondenti alla simulazione	
Massima altezza del tubo in fase di costruzione, H [m]	2,60
Massima larghezza del tubo, W [m] (la massima larghezza si trova a 1,2 m dalla base)	3,30
Rapporto H / W	0,786
Larghezza della base del tubo (parte che poggia al suolo), [m]	1,10
Area (sezione trasversale) dello strato inferiore del materiale di riempimento, [m ²]	6,80
Area (sezione trasversale) dello strato superiore del materiale di riempimento, [m ²]	0,00
Capacità di riempimento del tubo per unità di lunghezza, [kN/m ³]	6,90
Pressione di pompaggio all'interno del tubo, [kPa]	20,60
Tensione massima raggiunta in condizione di lavoro, [kN/m]	41,00
Tensione massima richiesta, [kN/m]	113,00
Tensione massima raggiunta in condizione di lavoro, [kN/m]	23,00
Tensione massima richiesta, [kN/m]	64,00
Risultati corrispondenti al tubo consolidato.	
Densità del materiale di riempimento consolidato [kN/m ³]	17,00
Area della sezione trasversale, [m ²]	4,20
Altezza finale, H [m]	1,60

I tre tappeti di fondo sono realizzati rispettivamente con il geocomposito Hate®175/175 DW A30, Hate® A20.606, e Hate® B600J (Tab. 2). Tutti hanno larghezza pari a 10 m e lunghezza 30 m e sono dotati sui tre lati di un tubo di ancoraggio con diametro pari a 33 cm e bocchettoni di riempimento su ciascun lato aventi diametro di 10 cm. Tali tappeti sono posizionati sotto il tubo come mostrato in Figura 4. Inoltre su ogni tubo sono cuciti 4 campioni del geocomposito Hate®175/175 DW A30 di dimensioni di 1,00 m x 1,00 m e due campioni dello stesso materiale su ogni tappeto di fondo antierosione per monitorare la durabilità dei materiali sottoposti all'azione dei raggi UV e dell'azione abrasiva della sabbia.

Per determinare la resistenza necessaria del materiale per la costruzione della struttura, e per determinare la forma finale dell'opera, sono state effettuate verifiche su tubi di diametro 3 m mediante il programma GeoCoPS®, con i risultati riportati in Tabella 3; in Figura 5 viene riportata la restituzione grafica da parte del software nella quale sono evidenziati i parametri geometrici di interesse progettuale.

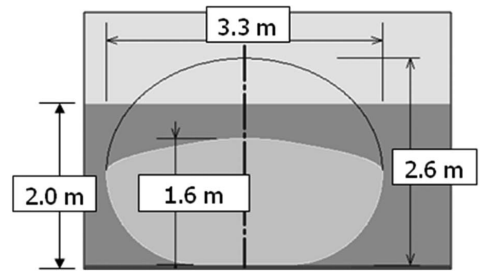


Figura 5 - Rappresentazione dell'output della simulazione.

Rilievi eseguiti

E' stata un rilievo batimetrico prima dell'installazione della barriera, e successivamente eseguite 4 campagne di rilievo complete di batimetria del fondo e della forma del tubo. Sono stati inoltre eseguiti dei sopralluoghi con documentazione fotografica allo scopo di verificare le tecniche di installazione in fase di costruzione e successivamente il comportamento generale della struttura e l'evoluzione della copertura vegetale. I sopralluoghi si sono svolti nell'arco di due anni, in dettaglio:

- 27/05/2008 fornitura del materiale: sistema di chiusura dei tubi in geotessuto;
- 30/06 /2008 stato dei fondali e materializzazione dell'asse del tubo;
- 04 /07/2008 dopo la posa del primo tappeto antierosione (estremo Sud);
- 29-30/07/2008 durante l'installazione del 4° tubo;
- 1-3-5-14/08/2008 dopo il termine dei lavori;
- 21/08/2008 dopo una mareggiata;
- 28/08/2008 1° campagna di misure del fondo e della forma dei tubi;
- 30/9 /2008 Chiusura bocchettoni e prima campagna biocenosi;
- 18/11/2008 2° campagna di misure del fondo e della forma dei tubi e seconda campagna biocenosi;
- 7/05/2009 la scarsa visibilità ha impedito l'esecuzione della terza campagna di misure. Anche le fotografie sono state possibili solo parzialmente;
- 21/05/2009 3° campagna di misure del fondo e della forma dei tubi;
- 17/08/2009-03/09/2009 Sopralluoghi e fotografie;
- 09/04/2010 4° campagna di misure del fondo e della forma dei tubi;
- 14/06/2010 ultimo sopralluogo fotografico.

Delle quattro campagne di misura per il controllo della forma della barriera la prima è stata compiuta nel mese di agosto 2008, pochi giorni dopo l'installazione della struttura, la successiva effettuata nel mese di novembre 2008 dopo le prime mareggiate autunnali e le ultime due nella primavera del 2009 e del 2010. La forma della barriera è stata controllata rilevando la posizione di 5 markers posti su 20 sezioni della struttura mediante una stazione totale GPS (Fig. 6). In questo modo è stata controllata con precisione la posizione nel tempo di cinque punti per sezione, individuando così gli eventuali spostamenti dei tubi, gli abbassamenti e le rotture. La localizzazione delle 20 sezioni è riportata in Figura 7.

In contemporanea ai rilievi GPS sui marker della barriera sono stati effettuati rilievi del fondo intorno alla struttura con tecnica single beam (Fig. 7), ma i risultati della campagna di monitoraggio del fondo non sono riportati in questo lavoro.

Tutti i campionamenti visivi sono stati eseguiti seguendo lo stesso percorso, cioè a partire dal primo contenitore in geotessuto in direzione Nord si è proseguito dal lato offshore in direzione Sud verso il quinto contenitore, fino a ritornare al primo percorrendo il lato inshore.

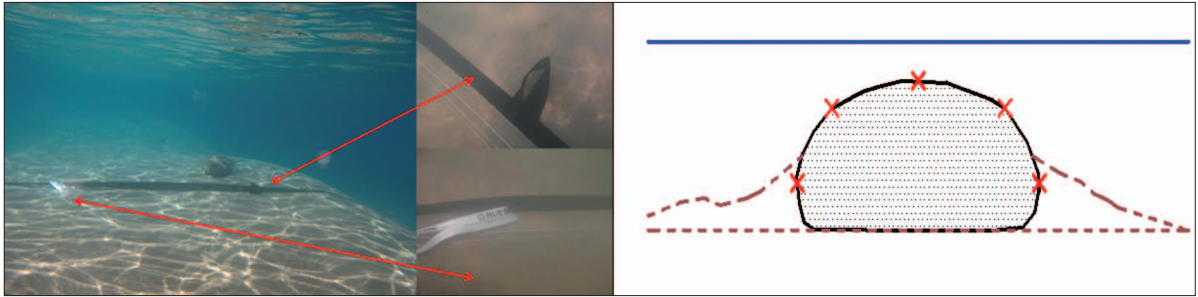


Figura 6 - Ubicazione dei markers nella sezione del tubo.

Risultati del Monitoraggio

Ispezioni periodiche

Dalle ispezioni subacquee in fase d'installazione è risultata evidente la difficoltà di posizionare i contenitori allineati in asse con i tappeti di protezione. I rilievi nei mesi successivi hanno permesso di evidenziare un buon funzionamento del tessuto costituente i tubi (Fig. 8) e rotture del tessuto dei tappeti di fondo che possono essere dovute all'usura causata dalla continua sollecitazione ondosa della struttura non sufficientemente

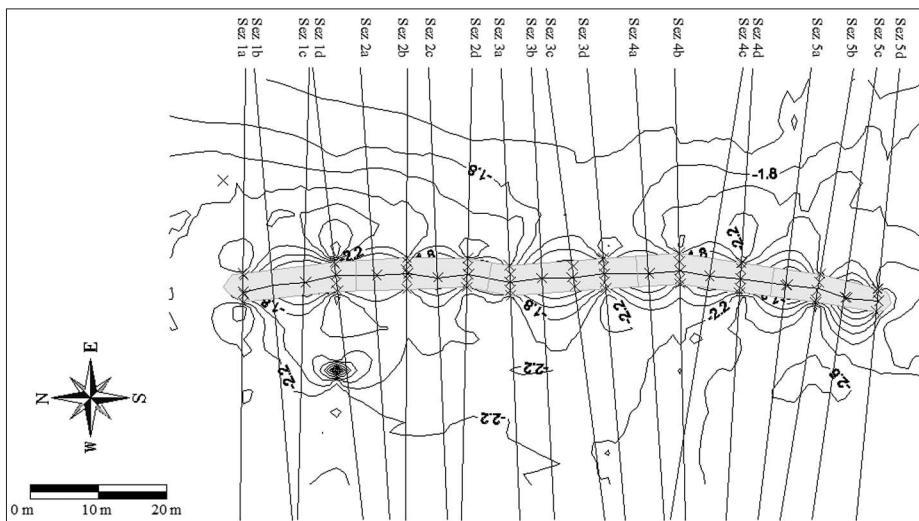


Figura 7 - Posizionamento dei tubi e delle sezioni di rilievo (agosto 2008).

ancorata al fondo. Un malfunzionamento riscontrato sui tubi riguarda le manichette di riempimento, che in alcuni casi si sono aperte, oppure, se non adeguatamente fissate al contenitore, hanno causato con le loro oscillazioni indotte dal moto ondoso un danneggiamento della superficie del contenitore (Fig. 9).

In Figura 10 sono evidenziati i principali tipi di funzionamento dei tappeti. Nella foto a è evidente uno svuotamento del tubo di ancoraggio, mentre nella foto b è un esempio di tappeto posizionato correttamente. Nel caso ci sia un non corretto ancoraggio il tessuto che tende a galleggiare (tessuto B – Fig. 10c) è maggiormente soggetto a rotture rispetto agli altri tessuti che si adagiano sul fondo. Dalla primavera del 2010 è stato inoltre riscontrato un forte abbassamento del terzo tubo dovuto ad una rottura causata nel tempo dalle sollecitazioni di abrasione causate dal tessuto galleggiante del tappeto.

Nel caso di presenza di rocce sul fondo, anche con una modesta mobilità del tappeto, sotto l'effetto del moto ondoso si verificano rotture per abrasione (Fig. 10d).

Da questa prima esperienza possiamo affermare che l'installazione corretta dei tappeti di fondo e del relativo tubo di ancoraggio necessita di condizioni di mare particolarmente calmo e con visibilità molto buona, più di quanto necessario per l'installazione del tubo. In ogni caso i materiali che galleggiano (polipropilene) sono estremamente difficili da posizionare. I tappeti di fondo non correttamente ancorati possono con i loro urti sui contenitori indurre danni significativi; risulta pertanto necessario valutare attentamente l'opportunità di questo tipo di protezione.



Figura 8 - Superficie di un tubo in perfette condizioni, Settembre 2009.



Figura 9 - Abrasione sulla superficie del tubo causata dalla manichetta di riempimento Settembre 2009.

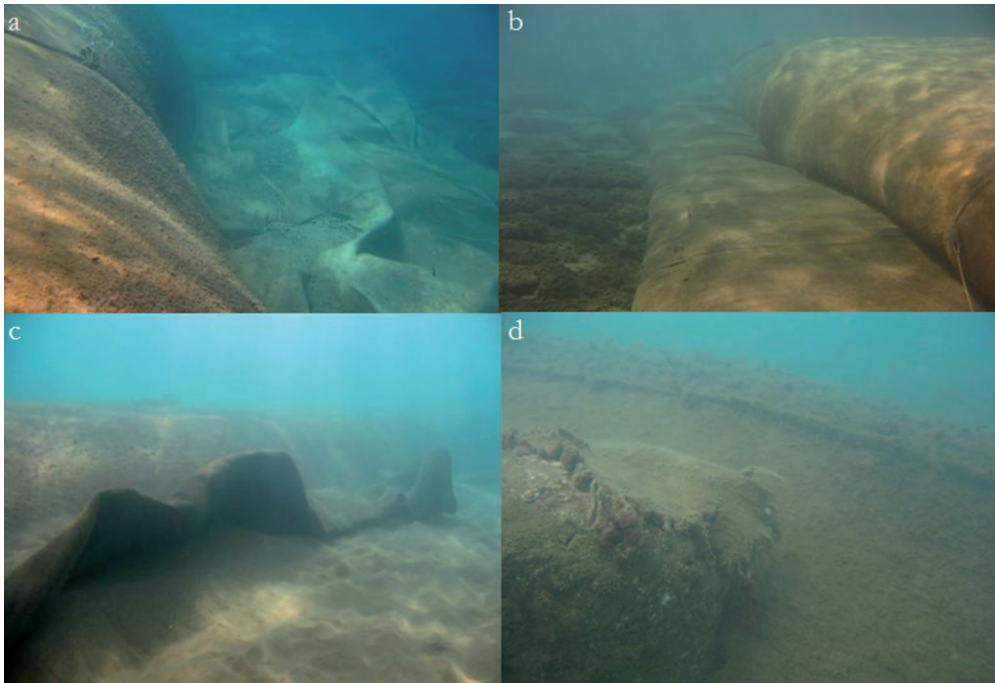


Figura 10 - Diverse performances dei tappeti di protezione: a tappeto di protezione in poliestere (tessuto A) con tubo di ancoraggio svuotato; b) buon funzionamento di una parte del tappeto di fondo in lato inshore (tessuto B); c) Tessuto galleggiante (tessuto B); d) rottura del tessuto A per abrasione esercitata dal fondo roccioso.

Osservazioni sulla geometria della struttura

Dall'analisi della posizione misurata dei marker posti sui tubi l'allineamento dei diversi moduli è risultato ragionevolmente vicino a quello di progetto (Fig. 7); la precisione è risultata fortemente influenzata dalle condizioni del mare in fase di posa sul fondo dei contenitori vuoti.

Le sezioni dei tubi pochi giorni dopo il riempimento, come risulta dal rilievo della posizione dei markers posti lungo le generatrici del cilindro, sono riportate in Figura 11.

I punti estremi destro e sinistro rappresentano il contatto fra la superficie del contenitore ed il fondo sabbioso o il tappeto di fondazione quando è presente. Il rilievo evidenzia i diversi gradi di sommergenza della struttura e le differenze sulla forma delle sezioni dovute al non uniforme grado di riempimento. La linea

tratteggiata indica la superficie del fondo prima della costruzione della barriera e quindi è indicativa solo in modo approssimato della forma della sezione per la parte non rilevabile. In Figura 12 è rappresentato il profilo della struttura ricavato dal primo rilievo, ed in Tabella 4 il confronto tra le dimensioni medie misurate e quelle di progetto.

Le differenze di geometria rispetto al progetto, per quanto ridotte, sono da imputare all'azione del moto ondoso che ha esercitato la sua influenza sia in fase di posizionamento del tubo che in fase di riempimento ed assestamento. Il riempimento dei geocontenitori è risultato per alcuni tratti irregolare; dal rilievo le dimensioni medie misurate e quelle di progetto.

le distanze sono in metri

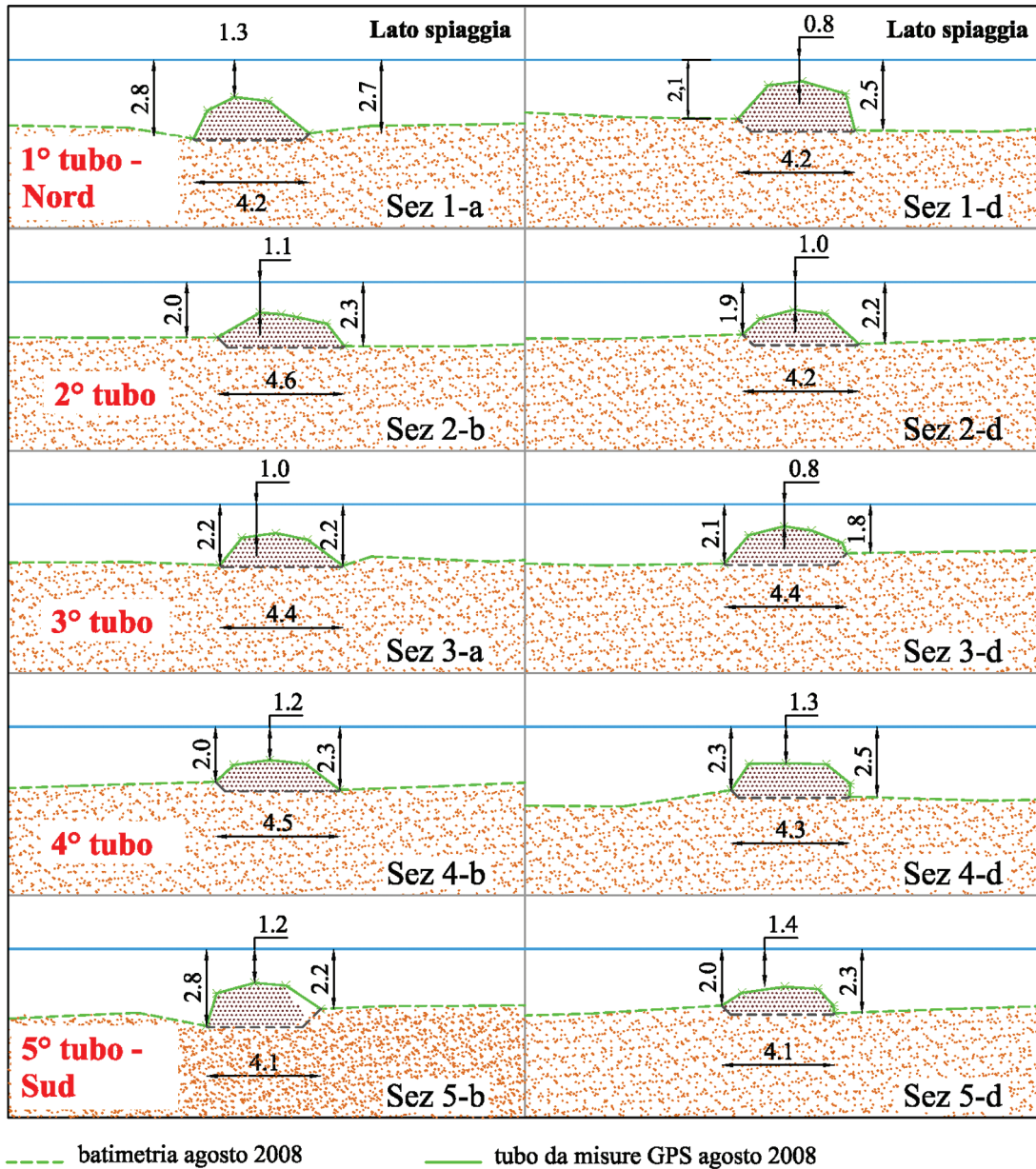


Figura 11 - Parte delle sezioni (10 su 20) relative al primo rilievo.

	Grandezze di progetto [m]	Grandezze medie misurate [m]
Sommergenza	0,4	1,1
Altezza della struttura	1,6	1,3
Larghezza della struttura	4,3	4,3

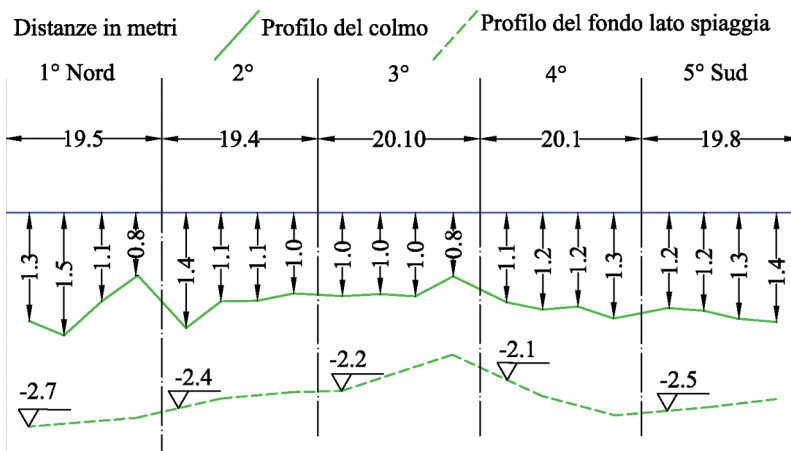
Tabella 4 - Confronto tra le dimensioni di progetto e quelle medie misurate dopo il consolidamento.

fetta distribuzione della miscela di acqua e sabbia all'interno del tubo, dovuta probabilmente alla limitata portata dell'impianto di pompaggio ed al suo funzionamento discontinuo. Altre cause sono da ricercare nell'interazione tra il tubo ed il fondale, infatti nel caso in esame riscontriamo un fondo misto a rocce e sabbia; la reazione della parte inferiore dei geocontenitori è stata quella di intrudersi negli interstizi tra uno scoglio e l'altro generando così rotazioni indesiderate per alcuni tratti.

In Figura 13 si riportano i confronti della situazione iniziale con i rilievi delle stesse sezioni eseguiti nel mese di novembre 2008, maggio 2009 e aprile 2010. Per i primi due intervalli di tempo si nota che il tubo tendenzialmente ha ruotato in direzione offshore si nota infatti uno spostamento medio del marker centrale sul colmo del tubo di circa 40 cm. Nell'ultimo rilievo invece questa tendenza pare smorzarsi; inoltre è evidente un forte abbassamento nella parte più a Sud del terzo tubo. Dal sopralluogo effettuato nel giugno 2010 si è notato che questo abbassamento è dovuto ad una rottura del tessuto costituente il tubo causata dalla frizione col tappeto di protezione non correttamente ancorato. Questo tappeto è costituito dal tessuto B, in polipropilene, che ha una densità inferiore a quella dell'acqua, e pertanto può galleggiare. Tale fenomeno pare interessare anche parte del quarto tubo, dove insiste il solito tappeto, anche se ancora non si sono verificate rotture. Un altro abbassamento è presente nell'ultima sezione a nord ma questa pare dovuta ad un'interazione con il fondale.

L'altezza della struttura risulta quindi sostanzialmente invariata, a parte nella zona dove si è verificata la rottura del tessuto: questo è indice del fatto che non si è avuta consistente perdita di sedimenti attraverso le maglie del tessuto, e che non si è verificato un rilevante scorrimento viscoso (creep) dei polimeri costituenti la struttura. La forma del tubo sembra stabile sotto l'azione di mareggiate ordinarie come quelle che si sono verificate nel periodo di osservazione, ovvero le dimensioni del tubo sono sufficienti a garantirne la stabilità.

Confrontando i profili del fondo paralleli al tubo lato offshore ed inshore, ricavati nelle quattro campagne di indagini, (Figg. 14 e 15) si evince che gli effetti alla base della struttura nel lato inshore sono gli stessi



sia nella parte dotata di protezione che in quella sprovvista, a differenza della parte offshore in cui si nota che la porzione di struttura sprovvista di tappeto di fondo ha subito scavo al piede. Questo può essere un indizio dell'efficacia della protezione data dai tappeti ma non ne è la prova.

Figura 12 - Profilo del tubo, lato inshore, ricavato nella prima campagna di indagini (agosto 2008).

Studio preliminare delle biocenosi

L'obiettivo di questa sezione è quella di descrivere la colonizzazione dei popolamenti, su un substrato artificiale in un habitat specifico, come può essere quello appunto delle difese parallele costituite da un sistema di tubi in geotessuto.

Il rilevamento descrittivo è stato effettuato nel settembre 2008, novembre 2008 e maggio 2009, con sopralluoghi eseguiti in immersione con autorespiratore, perlustrando tutta l'area indagata. La documentazione

le distanze sono in metri

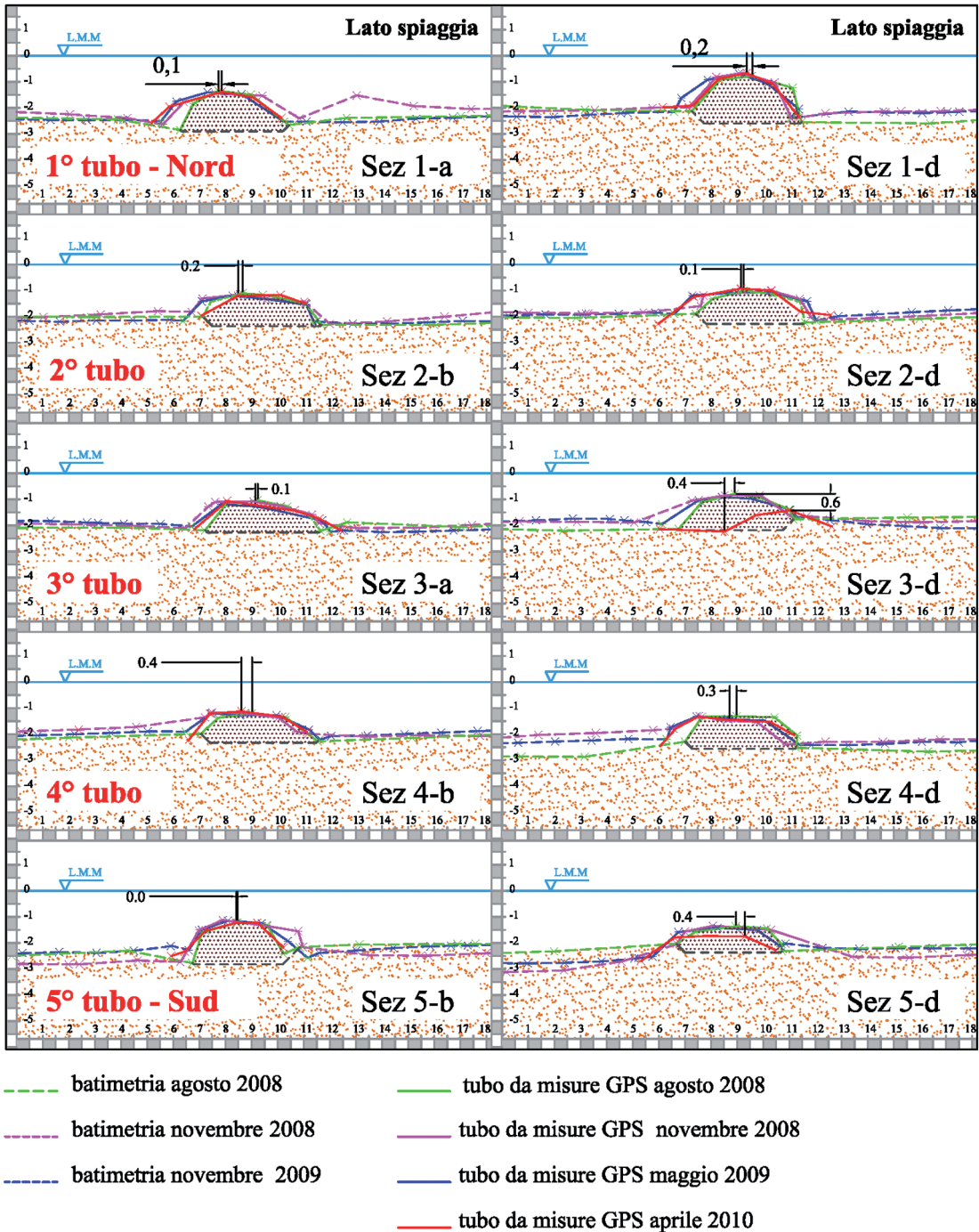


Figura 13 - Confronto nel tempo di parte delle sezioni (10 su 20).

degli organismi marini presenti è stata realizzata tramite un campionamento vivo e con l'utilizzo di una macchina fotografica digitale subacquea.

Il sistema di difesa in esame, adagiato su un fondale avente una profondità che varia da 1.5 m a 2.5 m, appartiene alla zona di transizione tra piano infralitorale inferiore e medio, quindi è caratterizzato da un forte

idrodinamismo che insieme a luce, temperatura e salinità costituisce un fattore ecologico dominante.

Dall'indagine effettuata il giorno 31 settembre 2008, è emerso che dopo circa tre mesi dalla sua messa in opera, il sistema di tubi in geotessuto presenta una copertura algale pressoché uniforme.

È stata riscontrata una maggiore predominanza di alghe appartenenti al gruppo morfologico delle Feoficee o Alghe brune, principalmente in tratti più riparati dal moto ondoso e ben illuminati. In particolare è stato possibile riscontrare la presenza di specie come *Dictyota dichotoma*, *Stypocaulon scoparmi* (Fig. 17) e in minor numero di *Padina pavonica*.

Sono risultate molto abbondanti, anche alghe corallinacee, appartenenti al gruppo delle Rodoficee o Alghe rosse, come ad esempio *Jania rubens*, che sotto forma di ciuffi piumosi ricopre gran parte della superficie dei tubi in geotessuto, con una caratteristica colorazione bianco-giallastra in zone fortemente esposte alla luce e rosa-violacea in zone meno illuminate.

La presenza di questi popolamenti algali, essenzialmente fotofili, ha richiamato diverse specie di pesci, appartenenti alla famiglia degli Sparidi, come ad esempio *Diplodus vulgaris*, *Oblada melanura* e *Sarpa salpa* (Fig. 16), che brucano sul substrato.

Il sopralluogo effettuato in data 18 Novembre 2008, al contrario del precedente ha messo in evidenza una modesta riduzione dello sviluppo di alcune specie algali, soprattutto di quelle appartenenti al gruppo delle Rodoficee, come ad esempio *J. rubens*. La causa di questa diminuzione probabilmente è da attribuirsi alle forti mareggiate, che hanno interessato il periodo intercorso tra i due campionamenti. Inoltre è stato possibile riscontrare che lungo tutta la struttura, ci sono delle zone principalmente interessate da questo fenomeno, che si trovano in corrispondenza di quei tratti del geocontenitore che presentano una notevole mobilità, come ad esempio intorno ad un manicotto che è stato trovato aperto o nei tratti in cui il tappeto sottostante la struttura non è più adeso al substrato.

Le specie algali appartenenti alle Feoficee, come *D. dichotoma*, rispetto al sopralluogo precedente, hanno effettuato un significativo accrescimento vegetativo, mentre altre alghe brune, come *P. pavonica*, sono risultate pressoché assenti su tutta la struttura.

Infine oltre alle specie animali trovate nel mese di settembre, sono state rilevate specie di pesci appartenenti alla famiglia dei Blennidi (Bavose) e dei Gobidi (Ghiozzi), è stata riscontrata inoltre un'abbondante presenza di crostacei, come ad esempio gamberetti del genere *Palemon* e di meduse della famiglia dei Pelagidi, come *Pelagia noctiluca*.

Il monitoraggio effettuato in data 07 Maggio 2009 ha messo in evidenza un ricoprimento algale ben strutturato e sviluppato, prevalentemente sulle superfici laterali del sistema di tubi in geotessuto, sia nel lato offshore che nel lato inshore, con la predominanza di specie algali appartenenti alle Feoficee, come *D. dichotoma* e *S. scoparium* e alle Rodoficee, come *J. rubens*.

Sulla sommità del geocontenitore invece, a causa del forte idrodinamismo e della costante azione abrasiva provocata dai manicotti aperti, sono presenti pochi esemplari di *J. rubens* e *S. scoparium*, caratterizzate entrambe da una struttura del tallo poco sviluppata e ramificata di altezza inferiore a 5 cm. Rispetto ai sopralluoghi precedentemente effettuati si osserva invece una maggiore colonizzazione del substrato da parte di *P. pavonica*.

Infine per quanto riguarda le specie animali, sono state rilevate specie di pesci appartenenti alla famiglia degli Sparidi (*Boops boops*), caratterizzate da piccole dimensioni, mentre su un lembo del tappeto sottostante il geocontenitore sono state trovate delle uova di seppia (*Sepiidae*).

I fondali su cui sono stati installati i cinque tubi in geotessuto, sono costituiti prevalentemente da uno strato roccioso di Panchina (arenarie di origine marina) coperto da uno strato di spessore variabile di sabbia. Lo strato roccioso viene in generale scoperto durante le mareggiate e ricoperto durante la fase di onde lunghe di fine tempesta. La forte mobilità dei sedimenti e la frequente ricopertura dello strato roccioso con la sabbia impedisce la colonizzazione permanente della superficie del fondo, rappresentando un'importante forma di disturbo per i popolamenti bentonici. Un elevato tasso di sedimentazione, infatti, può determinare profonde alterazioni nella struttura dei popolamenti, direttamente, attraverso il soffocamento degli organismi ed indirettamente, attraverso la riduzione della disponibilità di luce, ossigeno e substrato.

In alcune sacche di sabbia, permanentemente presente in corrispondenza di buche più profonde del substrato roccioso, sono presenti molluschi bivalvi, ma non sono presenti né fitocenosi (popolamenti algali), né fanerogame marine.

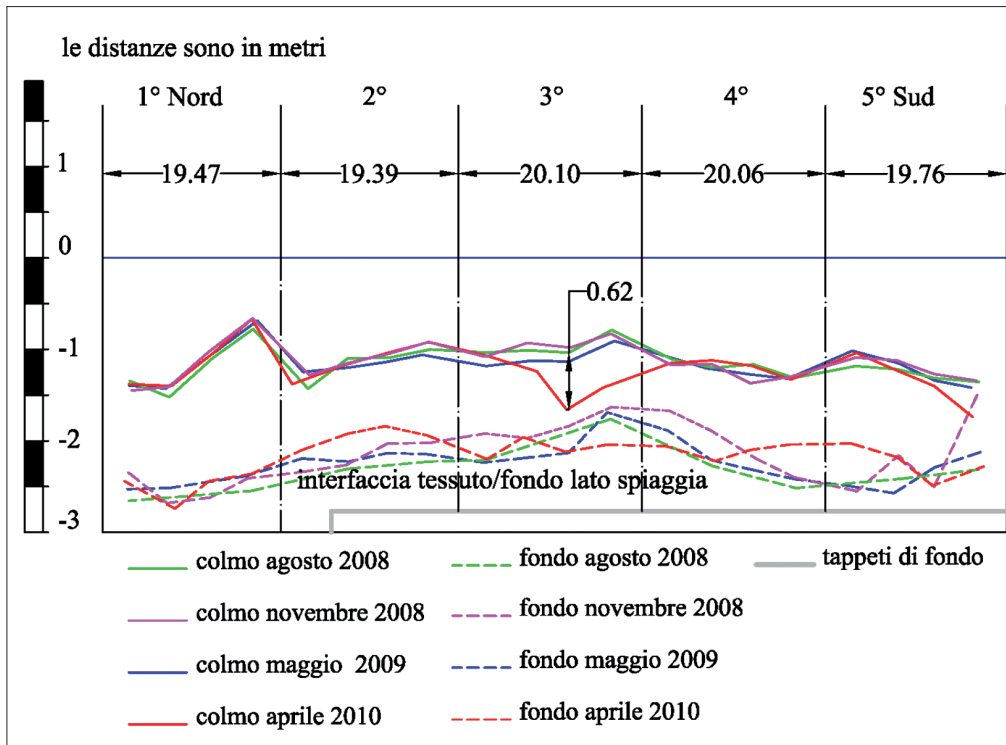


Figura 14 - Confronto, lato inshore, tra i profili ricavati nelle due campagne di indagini sul colmo e alla base della struttura.

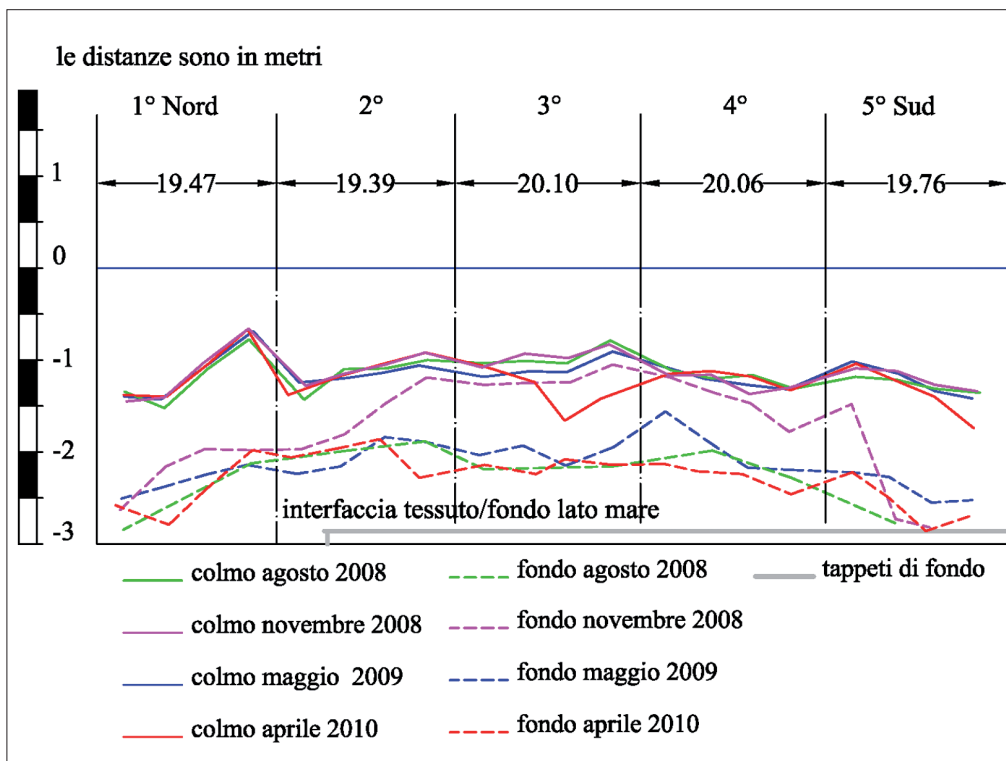


Figura 15 - Confronto, lato offshore, tra i profili ricavati nelle due campagne di indagini sul colmo e alla base della struttura.

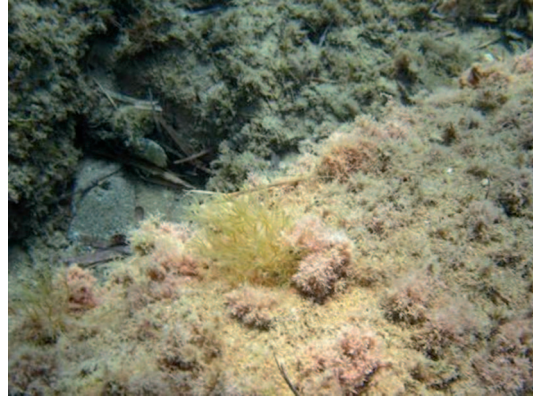


Figura 16 - Branco di *Sarpa salpa* (Salpa) al “pascolo”. Figura 17 - *Jania rubens* (alga rossa) e *Dictyota dichotoma* (alga bruna).

Conclusioni

Le opere di difesa della costa costruite con contenitori riempiti di sabbia hanno una affidabilità molto superiore alle barriere costruite negli anni '90 grazie alla disponibilità di materiali e di tecniche di confezionamento che permettono la realizzazione di contenitori di grandi dimensioni che possono essere riempiti con la sabbia prelevata dal fondo. Questa tecnica permette di ottenere un'accurata precisione nella costruzione di barriere e pennelli nonostante si debba operare solo con mezzi marittimi all'interno della surf zone dove le azioni sul fondo dovute alle onde sono sempre significative. Un miglioramento delle tecniche costruttive dovrebbe permettere di riempire i contenitori in modo da ottenere una generatrice superiore perfettamente orizzontale.

La tecnologia di posa delle protezioni con tappeti anti erosione del fondo non è ancora consolidata e richiede ulteriori approfondimenti.

Il monitoraggio, effettuato per circa due anni sulla barriera parallela a San Vincenzo, ha permesso di evidenziare che, una volta completato il processo di espulsione di acqua dalla miscela di riempimento, i contenitori raggiungono una condizione di equilibrio con un'altezza della struttura sostanzialmente stabile nel tempo, ed i problemi riscontrati sono dovuti esclusivamente alla tecnologia di posa. Visto il carattere temporaneo della barriera, la durabilità dei materiali verrà comunque testata in dettaglio con apposite prove distruttive sui materiali.

Per quanto semplificati rispetto agli ambienti “naturali”, i contenitori in geotessuto appaiono come sistemi “semi naturali” complessi, offrendo quindi la possibilità di una colonizzazione stabile alle specie animali e vegetali che non possono svilupparsi su tali fondali: questo processo pare favorito dalla costruzione di contenitori in geocomposito con uno strato di non tessuto all'esterno.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Comune di San Vincenzo e la Huesker s.r.l per la collaborazione ed il supporto a questa attività di ricerca.

Bibliografia

- Aminti P.L., Cammelli C., Cappiotti L., Jackson N.L., Nordstrom K.F., Pranzini E. (2004) - *Evaluation of beach response to submerged groin construction at Marina di Ronchi, Italy, using field data and a numerical simulation model. Journal of coastal research. Special Issue No. 33: 99-120.*
- Aminti P.L., Zanuttigh B., Lorenzoni L., Martinelli L., Clementi L. (2005) - *Esperimenti di Laboratorio e osservazioni di campo sulle modifiche indotte al fondo da opere trascinabili.* Studi costieri, 9: 159-190.
- Bavestrello G., Cerrano C., Puce S., Bianchi C.N., Calcinai B., Cattaneo-Vietti R., Morri C. e Sarà M. (2000) - *Bio-mineralogy as a structuring factor for marine epibenthic communities.* - Marine Ecology Progress Series 193: 241-249.

- Buckley J. e Hornsey W. (2006) - *Woorim beach protection – chasing the tide sand filled tubes vs. sand filled containers* - Atti VIII International conference on Geosynthetics, Yokohama: pp. 761-764.
- Cantré S. (2002) - *Geotextile tubes - analytical design aspects*, Geotextiles and Geomembranes, 20, Elsevier: 305-319.
- Cattaneo-Vietti R., Albertelli G., Bavestrello G., Bianchi C.N., Cerrano C., Chiantore M., Gaggero L., Morri C. e Schiaparelli S. (2002)- *Can rock composition affect sublittoral epibenthic communities?* - PSZNI Marine Ecology, 23 (suppl.): 65-77.
- Chapman M.G. e Bulleri F. (2003) - *Intertidal seawalls, new features of landscape in intertidal environments.*- Landscape and Urban Planning, 62: 159-172.
- Connell S.D. (2001) - *Urban structure as marine habitat: an experimental comparison of the composition and abundance of subtidal epibiota among pilings, pontoons and rocky reefs.* - Marine Environmental. Research 52: 115-125.
- D'Eliso C. Cappiotti L. Pranzini E. (2006) *Field monitoring of a submerged groin*. 2nd. Intern Short Course and Workshop on Coastal Processes and Coastal Eng. Nuova Ed. Bios 2007: 189 - 200.
- Faimali M., Garaventa F., Terlizzi A., Chiantore M. e Cattaneo-Vietti. R. (2004) - *The interplay of substrate nature and biofilm formation in regulating Balanus amphitrite Darwin. 1854 larval settlement*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 306: 37-50.
- Grune J., Sparboom U., Schmidt-Koppenhagen R. , Wang Z., Oumeraci H. (2006) - *Stability Tests of Geotextile Sand Containers for Monopile Scour Protection* Atti XXX International Conference of Coastal Engineering, San Diego: 5093-5105.
- Guidetti P., Bianchi C.N., Chiantore M., Schiaparelli S., Morri. C. e Cattaneo-Vietti R. (2004) - *Living on the rocks: substrate mineralogy and the structure of subtidal rocky substrate communities in the Mediterranean Sea.* - Marine Ecology Progress Series, 274: 57-68.
- Koerner R.M. (2005) - *Designing with Geosynthetics*, V ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 796 pp.
- Lawson C.R. (2006) - *Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering* - Atti VIII International Conference on Geosynthetics, Yokohama: 9-48.
- Lemire M. e Bourget E. (1996) - *Substratum heterogeneity and complexity influence micro-scale selection of Balanus sp. And Tubularia crocea larvae.*- Marine Ecology Progress Series, 135: 77-87.
- Leschinsky D., Leschinsky O., Ling H.I. e Gilbert P.A. (1996) - *Geosynthetic tubes for confining pressurized slurry: some design aspects*, Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 122, No. 8: 682-690.
- Liberatore G. (1993) - *L'uso di barriere sommerse per la protezione di ripascimenti artificiali un esempio di realizzazione nel Veneto Orientale*. In *La difesa dei Litorali* a cura di P.L.Aminti E.Pranzini Edizioni delle Autonomie, Roma: 253-268.
- Luger S. ,Prestedge G., McClarty A., Soltau C., Schoonees K., Fleming C. - *Morphodynamic Modelling for Design of a Beach Restoration Project*. Atti XXX International Conference of Coastal Engineering, San Diego: 4046 4055.
- Mori E., D'Eliso C., Aminti P. (2008) - *Geotextile Sand Containers used for submerged breakwater: scaling effects and stability*. Atti del convegno Coastlab08 2nd International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection 2-5 Luglio 2008, Bari, pp. 181-191.
- Mori E., Aminti P. (2008) - *Field experiment on a submerged barrier built with geotextile tubes*. Atti del convegno: Mediterranean Days of Coastal and Port Engineering, Palermo 7-9 Ottobre 2008, pp. 1-8.
- Palmerton J.B. (2002) - *Distinct element modelling geosynthetic fabric containers*. Atti VII Int. Conf. Geosynthetics, Nice, France: pp. 1021-1024.
- Pech D. (2002) - *Settlement of a tropical marine epibenthic assemblage on artificial panels: influence of substratum heterogeneity and complexity scales.*- Estuarine Coastal and Shelf Science, 55: 743-750.
- Pilarczyk K.W. (2000) - *Critical review of geosystems in hydraulics and coastal engineering application*. Atti II European Geosynthetics Conference, Bologna: pp. 65-76.
- Preti M., (1993) - *La difesa del territorio costiero in Emilia_Romagna: esperienze e considerazioni*. In *La difesa dei Litorali* a cura di P.L.Aminti E.Pranzini Edizioni delle Autonomie, Roma: pp. 283-296.
- Recio J. and Oumeraci H. (2007) - *Effect of deformations on the hydraulic stability of coastal structures made of geotextile sand containers*, Geotextiles and Geomembranes 25: 278-292.

- Restall, S.J., Jackson, L.A., Heerten, G., Hornsey, W.P., (2002) - *Case studies showing the growth and development of geotextile sand containers: an Australian perspective*, *Geotextiles and Geomembranes* 20: 321 - 342.
- Van Santvoort, G. P. T. M., ed. (1994) - *Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering*. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Schiaparelli S., Guidetti P. e Cattaneo-Vietti R. (2003) - *Can mineralogical features affect the distribution of sessile gastropods? The Vermetidae case in the Mediterranean Sea*. *Journal of Marine Biology Association UK*, 83: 1267-1268.

Ricevuto il 16/11/2009, accettato il 2/2/2010.

SPICOSA (Science and Policy Integration for COastal Systems Assessment) Strategie alternative di supporto alla Gestione Integrata della Zona Costiera

Laura Giordano¹ e Diego Vicinanza^{1,2}

¹IAMC-CNR, Calata Porta di Massa, Napoli, Tel.: +39 081 5423861, Fax: +39 081 5423887,

E-mail: laura.giordano@iamc.cnr.it

² Dipartimento di Ingegneria Civile - CIRIAM, Seconda Università di Napoli - Via Roma, 29 - 81031 Aversa (CE), Tel.: +39 081 5010245, Fax: +39 081 5037370, E-mail: diegovic@unina.it

Riassunto

Il progetto SPICOSA (Integrazione tra scienza e politica per la gestione dei sistemi costieri) nasce nell'ambito di un'iniziativa del VI Programma Quadro dedicata al Global Change and Ecosystems (<http://www.spicosa.eu>) come risposta alla crescente difficoltà che gli Enti locali incontrano nella gestione delle zone costiere ed ha come obiettivo finale la formulazione di una strategia scientifico-politica che dia beneficio alle comunità residenti sulla costa ed allo stesso tempo garantisca elevati livelli di sostenibilità ambientale. Lo scopo principale di SPICOSA è quello di concepire e sviluppare un solido approccio scientifico metodologico mirato a fornire gli strumenti decisionali (modelli) determinanti per uno sviluppo equilibrato delle componenti ecologiche, sociali ed economiche nella Gestione Integrata della Zona Costiera (GIZC). Il raggiungimento di questo ambizioso obiettivo ha richiesto una profonda riorganizzazione dell'attuale approccio al problema. In particolare, il progetto mira ad una quantificazione delle risposte degli ecosistemi costieri alle variazioni ambientali e antropiche ed al conseguente impatto sociale ed economico al variare della scala di queste modifiche da locali a globali. Il progetto ha richiesto una profonda integrazione anche tra gli aspetti disciplinari geografici, politici e sociali attraverso l'implementazione di ben 18 casi di studio in tutta Europa.

La memoria descrive i primi risultati del progetto, ed in particolare, della parte coordinata dagli autori relativa al gruppo di lavoro Work Package 10 nell'ambito delle "Strategie alternative di supporto alla Gestione Integrata della Zona Costiera".

Parole chiave: GIZC, Monitoraggio ambientale, Sviluppo sostenibile, Approccio sistemico.

Abstract

SPICOSA project (Science and Policy Integration for COastal Systems Assessment) originates from FP6 research initiative on Global Change and Ecosystems (<http://www.spicosa.eu>) and is a direct response to the fact that local authorities often fail to effectively manage the natural resources of our coasts in a way that secures benefits to resident communities whereas granting high levels of environmental sustainability. SPICOSA's main goal is to develop a scientific, methodological research approach aimed at providing decision tools (models) for achieving balance in the development of ecological, social, and economic components of Integrated Coastal Zone Management (ICZM) framework. In order to reach this ambitious objective it is necessary to restructure the scientific and methodological approach that has been in use until today. In particular, this project aims to quantify responses of coastal ecosystems to environmental and human perturbations, as well as the resulting socio-economic impacts according to different scales, from local to global. The project required solid integration of several disciplines, including geographic, political,

and social aspects, through the implementation of 18 cases throughout Europe. This paper describes the first results achieved, and in particular those related to Work package 10 "Alternative strategies as a support tool for ICZM".

Keywords: *ICZM, Environmental monitoring, Sustainable development, System approach.*

Introduzione

La gestione sostenibile delle aree costiere rappresenta una delle principali priorità nell'ambito delle recenti azioni intraprese dalla Commissione Europea, soprattutto rispetto all'adeguamento dei progetti alle direttive dell'UE sullo Sviluppo Sostenibile (Unesco, 2006). La Gestione Integrata della Zona Costiera (GIZC) ha un lungo passato legislativo all'interno della Comunità Europea e, pur avendo trovato largo consenso nei settori d'interesse, non è ancora riuscita a realizzare un'integrazione reale tra scienza e politica. Questo implica, spesso, la mancata applicazione del GIZC nella gestione quotidiana del territorio costiero. E' peraltro evidente in base alle esperienze maturate a livello internazionale (Clark, 1992; Turner e Salomons, 1999; Vallega, 1999) che l'approfondimento della tematica GIZC è oggi prioritario per far sì che il mondo dell'Università e della Ricerca assista le Istituzioni (es. Regioni e Stati Costieri) nell'esecuzione delle direttive UE (DG XI, 1998).

Il raggiungimento di tali obiettivi, avrà come ricaduta principale l'accrescimento delle prospettive regionali e nazionali di sviluppo sostenibile sulla fascia costiera in linea con quanto richiesto dalle più recenti normative Europee [...espone la consapevolezza del fatto che i mari e le coste sono essenziali per il benessere e la prosperità dell'Europa in quanto costituiscono vie commerciali, regolatori del clima, fonti di risorse ittiche, energetiche e di materiali, oltre ad essere luoghi residenziali e ricreativi per le popolazioni.]. Infatti, come raccomandato dalla CE (COM2000/547, COM2006/275, COM2009/304) la pianificazione e la cooperazione a livello sovragregionale e internazionale rappresenta a tutt'oggi una delle principali azioni strategiche da perseguire per una prospettiva di sviluppo sostenibile delle regioni costiere d'Europa.

L'Italia, in tale contesto, sta muovendo i primi passi per poter attuare delle strategie di gestione mirate alla sostenibilità ed integrazione delle conoscenze acquisite sulle zone costiere. Le partecipazioni ad azioni progettuali di carattere interregionale sono abbastanza avanzate per quanto riguarda le regioni dell'Italia centrale come l'Emilia Romagna che è stata la prima a stilare un piano di GIZC (AA. VV., 2005), mediante l'attuazione di 18 progetti e la stesura di 9 schede tematiche oltre al tema trasversale della comunicazione (AA.VV., 2008). L'approccio italiano alla GIZC è tuttora molto frammentario a livello nazionale ovvero non esistono ancora delle linee guida ministeriali. A livello internazionale, l'Italia è coinvolta in azioni di coordinamento istituzionale volte alla gestione sostenibile delle aree costiere attraverso il progetto ENCORA (EU-FP6) che ha come obiettivo la creazione di una rete per superare la frammentazione e condividere pratiche e conoscenze tra ricercatori tecnici e politici, nonché, il trasferimento delle conoscenze nel settore stesso. La crescente sensibilità a problematiche di pianificazione e gestione sostenibile dell'ambiente e dei rischi, non solo in aree costiere, ma anche in zone offshore della nostra penisola si è tradotta nella forte partecipazione a progetti di ricerca come PLANCOAST (INTeRREG-IIIB) e EUROSION (DG-Env.) che hanno come obiettivo comune lo sviluppo di nuove tecniche e metodologie indirizzate a catalogare e supportare le azioni di GIZC. L'idea di dover necessariamente corredare l'approccio politico-gestionale con delle forti basi scientifiche si è consolidata con il progetto CONSCIENCE (FP6), collegato al progetto EUROSION, e dedicato prevalentemente allo sviluppo e test di tool per la gestione "sostenibile" di problematiche di erosione costiera.

Alle sopraccitate azioni si affianca il progetto SPICOSA (EU-FP6) che ha come obiettivo la creazione di una nuova metodologia interdisciplinare basata su un "approccio sistemico" a supporto della gestione costiera "sostenibile" per favorire il rafforzamento del ponte di comunicazione tra scienziati, tecnici e i politici che devono necessariamente tener conto delle modificazioni ambientali causate dall'uso delle risorse e dalle pressioni antropiche generate dalle attività umane (Cendrero et al., 1997; Clark, 1992).

A livello nazionale e internazionale il coinvolgimento dei principali Enti di ricerca sulle scienze del mare, come l'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del CNR e l'Institut Francais de Recherche pour l'Exploitation de la Mer IFREMER, quali coordinatori del progetto SPICOSA "Science and Policy Integration for Coastal System Assessment" rappresenta uno dei più grandi sforzi della comunità scientifica per l'implementazione di un nuovo approccio nell'applicazione della GIZC.

Il progetto SPICOSA, che ha una durata di quattro anni (2007-2011), coinvolge 55 partner tra cui Enti e Istituti di Ricerca, Università, Piccole e Medie Imprese, Grandi Imprese, e una rete di ricercatori e tecnici

specializzati (Fig.1 e Tab. 1). Per ciascun Ente o Università sono state coinvolte competenze specifiche che includono l'ingegneria, le scienze naturali, nonché le scienze sociali ed economiche. Il progetto, nell'ambito dell'iniziativa del VI Programma Quadro dedicata al Global Change and Ecosystems, è quello che coinvolge il più grande numero di partecipanti e che prevede il più alto importo finanziato dalla Comunità Europea. Il progetto si articola attraverso 5 nodi e 13 work packages che abbracciano tutte le tematiche inerenti le metodologie e tecnologie di gestione delle aree costiere nonché il trasferimento delle conoscenze acquisite nell'ambito del progetto e la disseminazione dei risultati (Fig. 2). Lo scopo generale del progetto SPICOSA è quello di concepire e sviluppare un solido approccio sistemico

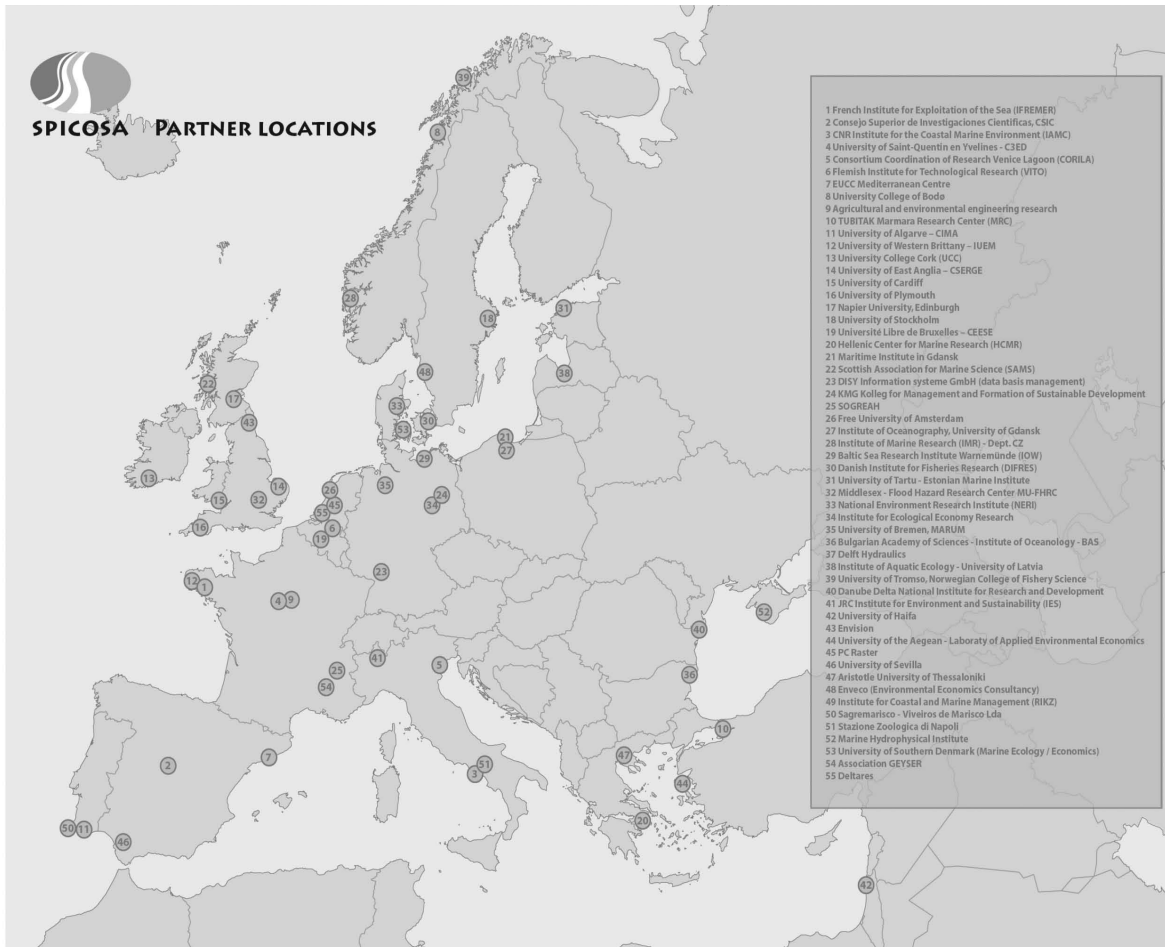


Figura 1- Location map dei Partner del progetto europeo FP6- SPICOSA (fonte: www.spicos.eu).

denominato “System Approach Framework (SAF)” che consenta di individuare gli strumenti politico-decisionali determinanti nella gestione dei sistemi costieri per garantire uno sviluppo equilibrato delle componenti ecologiche, sociali ed economiche. Il miglioramento della sostenibilità dei sistemi costieri significa un avanzamento delle conoscenze in tre settori:

- a) Ecologia: studio e analisi della riduzione del rischio di perdite irreversibili nella biodiversità degli ecosistemi e nella loro funzione, per aumentarne la salute e la produttività; sviluppo di nuove tecnologie e strategie di “remediation” non nocive per l'ambiente tese ad assistere gli Enti pubblici nell'utilizzo delle risorse percependo l'ambiente come sistema d'appoggio per la società.
- b) Società: sviluppo di strumenti di negoziazione che consentano la partecipazione nella procedura decisionale politica degli attori sociali e scientifici, creando così i presupposti per l'attuazione delle strategie di gestione

Consorzio Progetto SPICOSA		
ID	Istituzione Partecipante	Paese
1	French Institute for Exploitation of the Sea (IFREMER)	FR
2	Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, CSIC	ES
3	CNR Institute for the Coastal Marine Environment (IAMC)	IT
4	University of Saint-Quentin en Yvelines - C3ED	FR
5	Consortium Coordination of Research Venice Lagoon (CORILA)	IT
6	Flemish Institute for Technological Research (VITO)	BE
7	EUCC Mediterranean Centre	ES
8	University College of Bodo	NO
9	Agricultural and environmental engineering research	FR
10	TUBITAK Marmara Research Center (MRC)	TR
11	University of Algarve – CIMA	PT
12	University of Western Brittany – IUEM	FR
13	University College Cork (UCC)	IE
14	University of East Anglia – CSERGE	UK
15	University of Cardiff	UK
16	University of Plymouth	UK
17	Napier University, Edinburgh	UK
18	University of Stockholm	SE
19	Université Libre de Bruxelles – CEESE	BE
20	Hellenic Center for Marine Research (HCMR)	GR
21	Maritime Institute in Gdansk	PL
22	Scottish Association for Marine Science (SAMS)	UK
23	DISY Information systeme GmbH (data basis management)	DE
24	KMG Kolleg for Management and Formation of Sustainable Development	DE
25	SOGREAH	FR
26	Free University of Amsterdam	NL
27	Institute of Oceanography, University of Gdansk	PL
28	Institute of Marine Research (IMR) - Depr. CZ	NO
29	Baltic Sea Research Institute Warnemünde (IOW)	DE
30	Danish Institute for Fisheries Research (DIFRES)	DK
31	University of Tartu - Estonian Marine Institute	EE
32	Middlesex - Flood Hazard Research Center	UK
33	National Environment Research Institute (NERI)	DK
34	Institute for Ecological Economy Research	DE
35	University of Bremen, MARUM	DE
36	Bulgarian Academy of Sciences - Institute of Oceanology - BAS	BG
37	Delft Hydraulics	NL
38	Institute of Aquatic Ecology - University of Latvia	LV
39	University of Tromsø, Norwegian College of Fishery Science	NO
40	Danube Delta National Institute for Research and Development	RO
41	JRC Institute for Environment and Sustainability (IES)	EU
42	University of Haifa	IL
43	Envision	UK
44	University of the Aegean - Laboratory of Applied Environmental Economics	GR
45	PC Raster	NL
46	University of Sevilla	ES
47	Aristotle University of Thessaloniki	GR
48	Envenco (Environmental Economics Consultancy)	SE
49	Institute for Coastal and Marine Management (RIKZ)	NL
50	Sagremarisco - Viveiros de Marisco Lda	PT
51	Stazione Zoologica di Napoli	IT
52	Marine Hydrophysical Institute	UA
53	University of Southern Denmark (Marine Ecology / Economics)	DK
54	Association GEYSER	FR
55	Deltares	NL

Tabella 1 - Elenco dei partner del progetto Europeo SPICOSA (fonte: www.spicosa.eu).

e per l'attenuazione dei conflitti tra i decisori e gli utenti finali.

c) Economia: sviluppo di strumenti di analisi economica che migliorino la sostenibilità dei flussi di mercato derivanti da attività svolte nelle zone costiere stimolando contemporaneamente il mercato per lo sviluppo di tecnologie sostenibili.

L'applicazione della metodologia SAF si concretizza attraverso la modellizzazione contemporanea dei processi chiave di tipo Ecologico, Sociale ed Economico che avvengono nella zona costiera. Le componenti multidisciplinari del sistema devono essere osservate e analizzate in maniera adeguata sia in termini tecnologici sia in termini temporali, per tale motivo all'interno del progetto SPICOSA è stato previsto uno specifico *Work Package 10* denominato "Alternative Strategies".

Il *Work Package 10*, coordinato dagli autori, ricade nell'ambito del Nodo 4 del progetto (vedi Fig. 2) responsabile dei "Supporti e Servizi" ha un ruolo trasversale e di supporto alle sopraccitate attività generali di sviluppo di nuove metodologie. Infatti, oltre a fornire supporto su problematiche legate alle strategie politiche, opzioni tecnologiche e di monitoraggio il *Workpackage 10* si occupa di produrre degli output relativi alla classificazione ed integrazione di nuovi piani strategici che riguardano la metodologia SAF, che in questo momento è oggetto di test in 18 siti studio dislocati in tutta Europa (Fig. 3) così da garantirne un'ampia valutazione grazie alle molteplici problematiche trattate nei tanto diversificati sistemi costieri.

Il presente contributo, dopo una breve descrizione della metodologia SAF sviluppata nell'ambito del progetto, descriverà le strategie alternative di supporto all'ICZM sviluppate

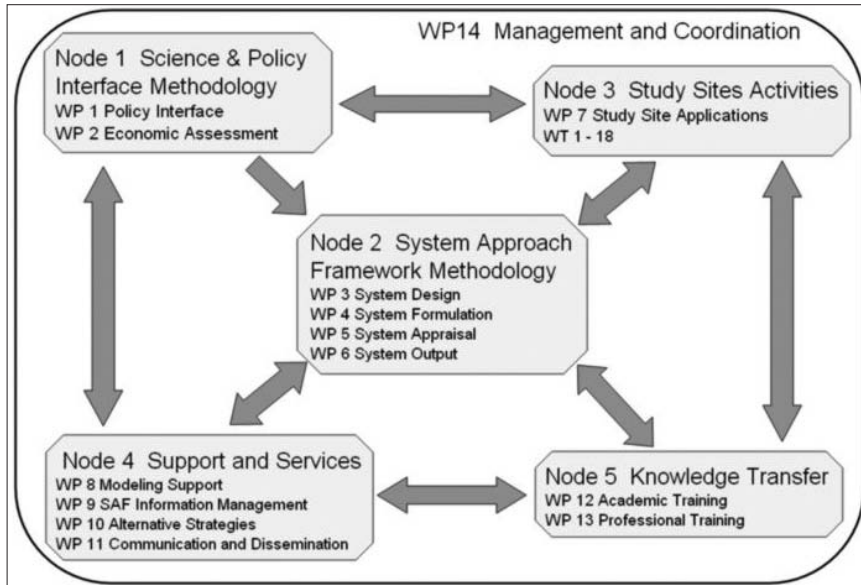


Figura 2 - Management e organizzazione del progetto SPI-COSA (fonte: www.spicosa.eu).



Figura 3 - Location Map e denominazione degli Study Sites (fonte: www.spicosa.eu).

dal gruppo di lavoro del WP10 su tematiche che riguardano la classificazione delle opzioni politiche, tecniche nonché di monitoraggio integrato della fascia costiera.

L'Approccio Sistemico (System Approach Framework, SAF)

La teoria dei sistemi (Von Bertalanffy, 1968), stabilisce che a causa delle complesse relazioni non-lineari che sussistono tra i vari elementi di un sistema naturale è necessario analizzare sia le proprietà dello stesso nella

sua interezza che rispetto alle sue parti. Per fare ciò, è necessario uno studio di carattere multidisciplinare che consenta di analizzare il sistema complessivo tenendo conto della sua organizzazione interna di natura gerarchica, ovvero dell'esistenza di più sottosistemi all'interno del sistema più ampio (AA. VV., 2003; Pickett et al., 2005).

L'obiettivo del SAF è quello di estrarre il maggior quantitativo possibile di informazioni sul funzionamento del sistema globale cosa che non può accadere studiando il fenomeno solo alla scala sub-sistemica (Hopkins and Bailly, 2006). La teoria della Biocomplexità (Kauffman, 1995) implica che l'auto-organizzazione delle componenti sistemiche è una funzione della diversità e della interazione delle componenti stesse, ovvero diverse parti possono interagire costruttivamente per evolvere verso una ottimizzazione delle risorse disponibili (Murray and Parslow, 1999). Questo suggerisce che le problematiche che riguardano la resilienza e la capacità di recupero di un sistema dipendono dall'intensità e dal numero di relazioni all'interno dello stesso (Patricio et al., 2004). Genericamente, possiamo immaginare un sistema come una scatola nera con ingressi (input) ed uscite (output) che rappresentano le funzioni/parametri d'ingresso e di uscita, mentre lo stato del sistema viene definito attraverso opportune "variabili di stato" in corrispondenza di un certo istante temporale. Gli input del sistema ne determinano lo stato e ne modificano le caratteristiche e queste modifiche vengono registrate dalle variabili di stato stesse che sono responsabili anche della intensità degli output.

Spesso, come accade per la maggior parte dei sistemi naturali, gli input esterni superano, in termini quantitativi o in termini d'intensità, la capacità naturale del sistema di rispondere ed auto-regolarsi. Pertanto, mentre i sistemi naturali reagiscono e si riorganizzano lentamente in funzione delle perturbazioni esterne, al contempo accade che si degradano in risposta a variazioni troppo intense andando incontro ad una cosiddetta spirale di degradazione (Marotta et al., 2001; Marotta e Vicinanza, 2001). Questo accade, per esempio, quando in risposta ad una mareggiata il tasso di erosione aumenta talmente velocemente da non consentire alla spiaggia di modificarsi morfodinamicamente in modo da ridurre naturalmente l'altezza dell'onda incidente. In seguito a ciò, l'ecosistema bentonico si danneggerà per erosione del fondo e tutto l'habitat e la catena trofica marina ne risentiranno e inoltre, la perdita di spiaggia porterà una conseguente degradazione anche a livello del sistema socio-economico.

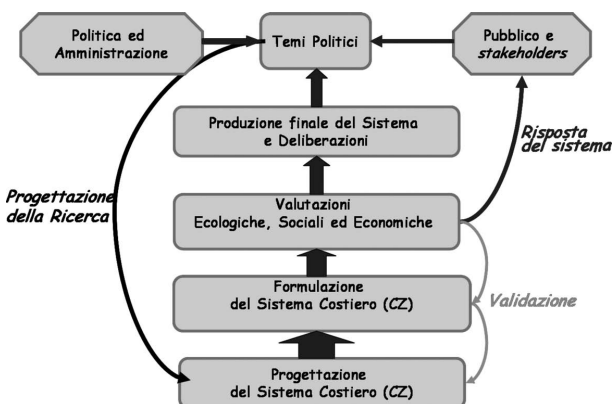
Quindi nell'ambito del SAF, l'integrazione tra ecologia e socio-economia è fondamentale per comprendere le catene di causa ed effetto esistenti all'interno del sistema e per poter agire in maniera correttiva. Per questo ultimo motivo, l'approccio SAF richiede un elevato livello di partecipazione da parte del pubblico ovvero "stakeholders", istituzioni pubbliche, utenti finali e decisori.

Chiaramente, l'approccio di cui stiamo discutendo, che è il principale esperimento condotto nell'ambito del progetto SPICOSA è in continuo aggiornamento grazie proprio al fatto che si stanno svolgendo test e applicazioni in diversi territori e su diverse tematiche che riguardano ben 18 paesi europei.

In linea di massima, gli step fondamentali della metodologia SAF sono:

il *Design* ovvero l'analisi delle problematiche che interessano un sistema costiero attraverso schematizzazioni e diagrammi causa-effetto;

la *Formulazione* del problema precedentemente evidenziato attraverso modelli matematici rappresentativi delle interazioni chiave e la formulazione di scenari;



l'*Appraisal* ovvero la valutazione dei risultati delle simulazioni e degli scenari di gestione e mitigazione adottati;

l'*Output* ovvero la preparazione dei modelli per gli utenti finali (decisori e politici in genere).

Nel diagramma (Fig. 4) che segue vi è una sintetica illustrazione del processo di studio, analisi e modellizzazione "SAF" che ovviamente coinvolge fortemente gli aspetti politici e amministrativi del sistema costiero (CZ).

Attualmente, il team di lavoro del progetto SPICOSA sta svolgendo l'ultima parte dell'esercizio

Figura 4 - Schema Metodologico del System Approach Framework (SAF) (fonte: Spicosa DOW, 2006).

SAF ovvero si sta occupando di terminare la fase di test sui siti di studio così da poter preparare gli *output* ovvero i modelli per l'utilizzo da parte degli utenti finali.

Bisogna comunque considerare che alla base di tutta la metodologia di studio, per poter comprendere e simulare le interazioni tra le componenti del sistema costiero, è necessario fornire delle caratterizzazioni adeguate del sistema stesso attraverso la considerazione del quadro normativo da un canto e dall'altro supportando metodologicamente le opzioni tecniche e di monitoraggio.

Le strategie alternative di supporto alla GIZC

Premesso che, lo scopo principale del progetto SPICOSA non è acquisire nuovi dati, ma riorganizzare, alla luce delle nuove strategie proposte, le banche dati già esistenti in modo da creare le basi per la generazione della cosiddetta "New-Knowledge". In questo contesto, il *Work Package 10*, articolato in tre principali *work task* multidisciplinari, ha come scopo il supporto trasversale della metodologia SAF e soprattutto dell'attività di modellizzazione effettuata nei 18 siti di studio del progetto. In tal modo, si potranno evidenziare e valutare i fenomeni rilevanti che condizionano lo stato ambientale e la sostenibilità nelle zone costiere mettendoli in relazione con quanto previsto dalla normativa vigente a livello internazionale e con le più recenti strategie tecniche e di monitoraggio.

Policy Options (WT10.1 - Leader: College di Bodo, Norvegia)

L'obiettivo di questo *Work Task* (WT), come strategia alternativa, è la classificazione, catalogazione e valutazione in termini di vantaggi e svantaggi, degli strumenti politici (es. strumenti di pianificazione del territorio, tasse e sussidi, strumenti di mercato, etc.) e dei relativi schemi (es. gestione centralizzata, decentralizzazione, approccio policentrico, etc.) riguardanti il quadro internazionale sulla gestione integrata della fascia costiera. L'attività del WT è focalizzata sia sulla pura ricerca bibliografica, sia sull'acquisizione di informazioni e materiale prodotto da istituzioni mondiali nell'ambito dello sviluppo del territorio, e per l'implementazione di politiche GIZC.

Il lavoro prodotto nell'ambito di questo WT acquista ancora maggior valore grazie alla condivisione delle esperienze maturate da ben 55 partner che hanno messo a disposizione le loro conoscenze per arricchire ulteriormente la catalogazione.

Il database prodotto contiene una raccolta generale della letteratura politico-legislativa sulla GIZC classificando il materiale secondo le seguenti categorie:

- Strumenti politici;
- Processi deliberativi e partecipativi;
- Controlli legislativi;
- Strumenti di pianificazione;
- Strumenti economici;
- Letteratura generale.

I dati bibliografici, le *Review* e le esperienze reperite sono stati opportunamente inseriti in un database in formato *MS-Access* che consente agli utenti di relazionare gli Issues ovvero le problematiche gestionali con le relative documentazioni normative. In particolare, sfruttando l'esperienza acquisita nell'ambito delle sperimentazioni condotte sui siti test, sono state evidenziate delle strategie di sostenibilità legate a 15 principali tipologie di *Issues* che possono interessare le zone costiere, ovvero:

- Conflitti di interessi;
- Mancanza di strategie politiche;
- Biodiversità;
- Erosione;
- Specie invasive;
- Eutrofizzazione;
- Contaminazione;
- Turismo;
- Fruibilità della costa;
- Pesca;
- Distruzione di habitat;

- Sversamento di inquinanti;
- Inquinamento dei sedimenti;
- Ciclo delle acque.

Oltre allo sviluppo del catalogo globale delle opzioni politiche e al collegamento con gli *Issues* e gli impatti ambientali considerati nell'ambito dell'applicazione delle metodologia SAF, il gruppo di lavoro si è occupato anche di:

- collaborare con i team di lavoro dei siti pilota in modo da scegliere appropriate parole chiave per produrre degli strumenti di ricerca operativa all'interno del database;
- provvedere alla preparazione e aggiornamento del database interattivo sul portale WEB in modo che esso sia disponibile non solo per gli utenti SPICOSA, ma anche per tutta la comunità che si occupa di GIZC.

Il database globale prodotto dal WT è attualmente in fase di pubblicazione sul portale dati del progetto SPICOSA (<http://www.spicosa.eu/dataportal/index.htm>) che ha lo scopo di promuovere la fruibilità degli strumenti da parte di utenti al di fuori del progetto.

Technical Options (WT10.2 - Leader: Università di Scienze e Tecnologie di Istanbul, Turchia)

Il WT "Technical Options" ha una funzione di supporto delle attività di progetto attraverso lo studio e la raccolta di tutte le informazioni relative agli avanzamenti tecnologici per la gestione integrata della fascia costiera (es. remediation di siti contaminati, riduzione dell'inquinamento, gestione dell'acquacoltura, rischio geologico, etc.) che possono ridurre gli impatti legati alle attività umane.

L'obiettivo principale del WT è quello di valutare tutte le alternative tecnologiche che possono essere considerate nell'ambito delle opzioni politiche per aumentarne la sostenibilità, includendo pertanto anche set di opzioni innovative che ancora non sono state integrate nell'ambito della GIZC come la *bio-remediation*, la riduzione dell'inquinamento con tecnologie eco-sostenibili o nuove metodologie per la difesa costiera a basso impatto. Pertanto, lo scopo immediato dell'attività è stato testare questi set di alternative su alcuni dei siti pilota perché molto spesso le tecnologie disponibili risultano essere ancora nella fase prototipale e non applicate in modo integrato nell'ambito di alcuna problematica GIZC. Questo ultimo aspetto, ha permesso non solo di costituire un valido supporto per la valutazione di scenari gestionali, ma anche di valutare gli effetti collaterali sul sistema marino costiero nell'ambito della implementazione della metodologia proposta dal progetto.

Alcuni esempi degli scenari valutati nei siti di studio sono:

- uso di tecnologie pulite in-situ che non provocano disturbo all'ecosistema (es. fitodepurazione)
- proposta di effettuare un'analisi dei rischi, dei costi e dei benefici legati agli interventi gestionali realizzati sul territorio;
- implementazione di opportune tecniche di mobilitazione/immobilizzazione per controllare la biodisponibilità dei contaminanti;
- design di nuove metodologie che consentono di aumentare la qualità delle aree marine protette;
- promozione di metodiche di gestione sostenibile delle acque e tecniche di riciclo in connessione con metodologie di gestione integrata della fascia costiera in particolare nelle aree soggette a desertificazione;
- uso di metodologie e piani di protezione di organismi ed ecosistemi ad elevato pregio;
- ingegnerizzazione di tecnologie dedicate alla riduzione del rischio di erosione dei litorali.

Tutte le informazioni inerenti la catalogazione delle alternative tecnologicamente avanzate connesse con le principali attività umane ed i relativi impatti ambientali sono state incluse in un database relazionale opportunamente documentato e pubblicato in rete sul portale del progetto (<http://www.spicosa.eu/dataportal/index.htm>). Il contributo fornito da questo WT rappresenta un grosso avanzamento soprattutto grazie al lavoro in cooperazione con i siti pilota dove è stato possibile discutere la pratica applicativa delle opzioni tecnologiche al fine di valutare concretamente il loro effetto sul sistema marino costiero.

Intelligent Monitoring (Leader: Istituto per l'Ambiente Marino Costiero IAMC-CNR, Italia)

Nell'ambito di questo WT vengono catalogate e recensite tutte le metodologie di monitoraggio e campionamento dati dedicate alla GIZC ed inquadrare nell'ambito della metodologia SAF.

Il ruolo di questa terza attività diviene fondamentale per il supporto della modellizzazione del sistema costiero condotta nei siti pilota, poiché spesso l'inadeguatezza degli schemi di campionamento e monitoraggio inficia

la performance dei modelli di simulazione che devono essere opportunamente calibrati su dati acquisiti con adeguata cadenza spaziale e temporale. L'attività condotta da questo WT ha riguardato non solo la realizzazione di un catalogo multimediale di tutto lo stato dell'arte delle tecniche di monitoraggio della fascia costiera, ma anche l'implementazione di opportuni pacchetti di monitoraggio personalizzati in base alle esigenze dei siti pilota rispetto alle fasi del SAF, ovvero design dei modelli, formulazione, calibrazione e validazione dei risultati.

I pacchetti di monitoraggio sono stati progettati tenendo conto di alcuni importanti fattori, ovvero:

- che le alternative tecnologiche di monitoraggio vanno valutate rispetto all'area da investigare, ai costi- e ai benefici, all'impegno economico-temporale e alla finalità del monitoraggio (es. calibrazione, validazione, etc.);
- che bisogna privilegiare le informazioni chiave richieste per l'analisi delle funzioni del sistema costiero (es. simulazione realtime, calibrazione, etc.).

Il prodotto di questo WT è indirizzato fortemente verso il supporto delle attività svolte nell'ambito dei siti pilota per corredare la metodologie SAF di strategie di acquisizione dati (pacchetti di monitoraggio) che siano collegate agli Issues politici e di conseguenza alle componenti impattate dell'ambiente marino costiero.

Le informazioni raccolte nell'ambito dei primi tre anni di progetto sono state inserite in un prototipo di database (<http://www.spicosa.eu/dataportal/index.htm>) che riporta non solo la classificazione di tutti gli impatti e gli Issues politici studiati in ogni sito pilota, ma anche un collegamento attivo tra impatti e dati necessari per lo studio dei processi chiave attraverso il SAF.

Nell'ambito della definizione dei pacchetti di monitoraggio sono stati individuati tre livelli in funzione di considerazioni di carattere strategico, ovvero:

- Livello A: acquisizione di dati a basso costo partendo da informazioni di letteratura, o da database pubblici (es. database condivisi nell'ambito di altri progetti), in modo da ottenere una approssimativa visualizzazione delle interazioni tra le componenti del sistema costiero rispetto alle strategie SAF;
- Livello B: è un livello di monitoraggio più complesso del precedente, sicuramente più costoso, che sfrutta non solo dati low-cost, ma include anche stazioni di monitoraggio, anche a misura automatica, riguardanti i parametri considerati critici nell'ambito dello studio dei processi e della modellazione del sistema;
- Livello C: Oltre a includere i due precedenti livelli (A e B) prevede un affinamento del monitoraggio di alcune variabili includendo, ad esempio, un campionamento semi-automatico ed adeguato in termini spazio-temporali designato in funzione delle caratteristiche del sito di studio (es. dimensione spaziale, posizione geografica, caratteristiche geomorfologiche ed ecologiche, etc.). Questo livello di monitoraggio è quello più dispendioso in termini temporali ed economici, ma assicura una fedeltà a lungo termine dei dataset acquisiti soprattutto quando il target finale è la creazione di una rete di monitoraggio per simulazione in real-time e la previsione di scenari "what-if".

E' evidente che la scelta del livello di monitoraggio in relazione ad ogni pacchetto di monitoraggio è di importanza cruciale per poter scegliere non solo le tecniche, ma anche per poter comprendere le necessità in termini di accuratezza dei dati qualora si voglia implementare il SAF in relazione ad una specifica problematica.

Discussione e conclusioni

Nell'ambito della "filosofia" del progetto SPICOSA il ruolo delle strategie alternative è quello di supportare i siti pilota nello sviluppo ed applicazione della metodologia SAF proponendo dei set multidisciplinari di strumenti politici, tecnici e di monitoraggio. Ad esempio, partendo dall'individuazione di una problematica critica della fascia costiera ed individuando gli impatti di questa sull'ambiente, l'utente finale può facilmente determinare la schematizzazione dei processi chiave che controllano le proprietà del sistema e quindi adottare il giusto "set" di strumenti per affrontare la problematica. Questo set può essere utilizzato dall'utente in tutte le quattro fasi del processo SAF, quindi dalla fase iniziale di individuazione dell'Issue politico fino alla fase finale di modellizzazione delle componenti del sistema costiero e valutazione dei scenari. Nell'ambito di quanto appena presentato il team di lavoro WP10 ha fornito un supporto per lo sviluppo di metodologie complementari alla realizzazione di modelli e scenari gestionali, seguendo un processo logico che a partire dalla problematica, offre soluzioni di monitoraggio per aumentare le prestazioni dei modelli e per suggerire innovazioni tecnologiche da inserire negli scenari di simulazione.

L'approccio metodologico generale proposto nell'ambito del WP10 comprende l'applicazione degli strumenti software realizzati (database relazionali con interfacce grafiche) dopo aver valutato tutte le informazioni relative al design del sistema costiero studiato (identificazione della problematica di gestione) nonché dopo una analisi delle criticità evidenziate attraverso i risultati (scenari) preliminari delle simulazioni condotte dai team di lavoro nell'ambito dei casi studio.

A partire da queste informazioni il primo passo è stato quello di inquadrare il sito studiato in un contesto multidisciplinare più generale attraverso la cosiddetta "Cause-Effect-Chain-Analysis" che consente di mettere in relazione le pressioni sul sistema con le risposte dello stesso ai vari livelli funzionali (es. aumento dei nutrienti->eutrofizzazione->anossia->mortalità bivalvi->perdita economica delle imprese->perdita posti di lavoro).

Questo tipo di analisi qualitativa consente di avere un quadro chiaro ed indicativo delle interazioni a livello sistemico e sub-sistemico, sia di carattere bio-fisico che di carattere socio-economico, chiaramente per ognuna di queste saranno scelti opportuni indicatori di stato e di risposta che saranno di successivo aiuto per migliorare il livello di conoscenza del problema studiato.

Dopo aver evidenziato i fattori chiave in gioco, la metodologia proposta consiste nel passare all'applicazione degli strumenti prodotti nell'ambito dei tre WT, ovvero:

- interrogazione del database delle Opzioni Politiche (formulazione di una Query) sulla gestione ambientale sostenibile includendo dettagli sulla problematica gestionale e sulla classificazione del sistema costiero studiato (es. acquacoltura, erosione costiera, protezione delle coste, turismo ecosostenibile) in ambito locale, nazionale ed europeo;
- interrogazione del database sulle Opzioni Tecniche (formulazione di una Query) inserendo dettagli sulle attività umane considerate di impatto (es. industria metallurgica, estrazione di inerti, trasporti marittimi);
- interrogazione del database sul Monitoraggio introducendo in base ai risultati della "Cause-Effect-Chain-Analysis" gli elementi necessari all'individuazione delle tecniche di monitoraggio (es. monitoraggio con CTD, ADCP, remote sensing, lidar, etc.) più adeguate a rilevare i parametri di interesse;

L'applicazione ed interrogazione congiunta dei database in relazione ad un caso studio genera una serie di output che andranno sia a supporto della modellizzazione sia a supporto operativo di una eventuale pianificazione gestionale come riportato di seguito nel caso esempio della gestione delle attività di acquacoltura:

- opzione Politica: riferimenti legislativi inerenti la valutazione di scenari di gestione sostenibile delle attività di pesca e acquacoltura (es. riduzione/ridistribuzione delle aree in concessione, riduzione dei carichi inquinanti, cambiamento della struttura gestionale).
- opzione Tecnica: introduzione di depuratori di tipo naturale (es. fitodepurazione) e di tipo tradizionale per poter valutare costi e benefici della riduzione del carico di inquinanti che giungono al sistema costiero e che sono responsabili di un calo di qualità del prodotto dell'acquacoltura, nonché della riduzione generale della qualità ambientale. In questo caso il database fornisce all'utente finale anche delle schede tecniche utili per il dimensionamento "virtuale" nell'ambito della modellizzazione dell'opzione tecnica scelta per la mitigazione/riduzione dell'impatto sull'ambiente.

Opzione di Monitoraggio: alternative tecnologiche (metodi diretti ed indiretti) per il monitoraggio di parametri significativi della qualità delle acque e delle principali forzanti ambientali che interessano il bacino e che sono in grado di influenzare la produttività biologica (es. onde e correnti, venti, concentrazione di nutrienti, stima della TSM, clorofilla, etc.). Nel caso specifico viene fornito anche un pacchetto di monitoraggio realizzato ad-hoc (es. inclusivo delle alternative tecnologiche da adottare e suggerimento di un piano di campionamento spazio-temporale) per la valutazione dei parametri di base che consentono di effettuare sia una validazione del modello che una sua applicazione in real-time.

In questo momento, l'approccio metodologico basato sui database realizzati come strategie alternative è stato inglobato in diversi casi studio sotto forma di scenari per le simulazioni numeriche, in modo da poter valutare in maniera più efficace le diverse alternative gestionali. Dato il forte carattere di work-in-progress si riporta di seguito una breve descrizione dei più significativi casi studio del progetto SPICOSA a cui il WP10 ha fornito supporto per le strategie alternative:

- la Laguna Veneta (http://www.spicosa.eu/venice_lagoon/index.htm) la cui principale problematica gestionale individuata nell'ambito di SPICOSA è l'inquinamento dovuto alle numerose attività antropiche e al trasferimento dei contaminanti nella catena alimentare attraverso la coltivazione intensiva di

vongole che rappresenta attualmente il 60% della produzione nazionale;

- La Baia di Izmit (Turchia) (http://www.spicosa.eu/izmit_bay/index.htm) localizzata nell'area sud-occidentale del Mar di Marmara le cui principali problematiche sono legate all'intenso traffico marittimo, al run-off e allo scarico di inquinanti provenienti dalla terra ferma complicati dalla ristretta circolazione di bacino;

- il Mare Piccolo di Taranto (http://www.spicosa.eu/taranto_mare_piccolo/index.htm) localizzato nel Golfo di Taranto (Mare Ionio) centro importante per la mitilicoltura a livello nazionale e anche luogo dove si svolgono numerose attività umane (es. industria pesante, chimica e marina militare) che rilasciando contaminanti in acqua e nel sedimento incidono negativamente sull'ecologia delle specie marine ed in particolare sulla qualità dei mitili.

L'applicazione delle metodologie e delle informazioni raccolte nei database sviluppati nell'ambito del WP10 ha permesso di ottenere una serie di benefici nell'ambito del processo di modellizzazione del sistema costiero. Basti pensare all'importanza di poter visualizzare con una semplice query tutto il catalogo delle opzioni politiche adottate per la sostenibilità per poi poter relazionare queste ultime con le più recenti opzioni tecnologiche per la mitigazione e monitoraggio degli impatti derivanti da attività umane finalizzando il tutto alla gestione sostenibile della fascia costiera. Disporre di un tale tipo di supporto alla modellizzazione del sistema costiero significa ottenere ricadute a livello dell'interazione tra scienza e politica soprattutto nell'ottica di dover fornire un sistema di supporto alle decisioni che sia scientificamente valido ed applicabile a casi reali.

Chiaramente, le banche dati prodotte nell'ambito del WP10, oggetto di continuo aggiornamento da parte del team di lavoro, al termine del progetto saranno pubblicate on-line sul portale SPICOSA e grazie alla loro documentazione tecnica saranno interrogabili dagli utenti in rete ed ampiamente applicabili dalla comunità scientifica che si interessa di GIZC.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Dr. Ennio Marsella Dirigente di Ricerca IAMC, il Prof. T.S. Hopkins coordinatore del progetto SPICOSA per l'IAMC, i Work Task leader Dr. Berit Skorstad (WT10.1), Dr. Ahmet Baban (WT10.2), Dr. Franco Decembrini (WT10.3) e lo staff del Work Package 10 "Alternative Strategies", la Dr. Carmela Caroppo (IAMC-Taranto) responsabile del sito di studio di Taranto Mar Piccolo, la Dr. Simona dalla Riva (CORILA) per il sito di studio della Laguna Veneta, la Dr. Leyla Tolun (MAM-TUBITAK) responsabile del sito di studio di Izmit Bay (Turchia) per il supporto e le informazioni fornite.

Bibliografia

- AA.VV., (2003) - *Systematic Approach to Coastal Ecosystem Restoration*. Coastal Services Center, Nation and Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA).
- AA.VV.(2008) - *The Plancoast Handbook on Integrated Maritime Spatial Planning*.(www.plancoast.eu)
- AA.VV. (2005) - *Linee Guida ICZM*. Regione Emilia Romagna.
- Commissione delle Comunità Europee Bruxelles (7.6.2006, COM(2006)) 275 - *Green Paper: Towards a future Maritime Policy for the Union: A European vision for the oceans and seas*. Volume II - annexe.
- Commissione delle Comunità Europee Bruxelles(24.6.2009, COM(2009)) 304 - *Riesame della politica ambientale 2008*.
- Commissione delle Comunità Europee Bruxelles (10.10.2007, COM(2007)) 575 - *Una politica marittima integrata per l'Unione Europea - versione finale*.
- Commissione delle Comunità Europee Bruxelles, (27.09.2000. COM(2000)) 547 - *Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo sulla gestione integrata delle zone costiere: una strategia per l'Europa*.
- Commissione delle Comunità Europee Bruxelles DG XI (1998) - *Implementing the EC Habitats Directive in marine and coastal areas*, pp. 1-68.
- Cendrero A.D. e Fisher W. (1997) - *A procedure for Assessing the Environment Quality of coastal Areas for planning and management*. Journal of Coastal Research, 13 (3), pp. 732-744.
- Clark G.R. (1992) - *Integrated Management of Coastal Zones*. FAO Fisheries Technical Paper, n. 327.
- Hopkins T.S., Bailly D. (2006) - SPICOSA (FP6 - Integrated Project) Priority 1.1.6.3 Global Change and Ecosystems Description of Work, 220 pp.

- Kauffman S.A.(1995) - *At Home in the Universe*. Oxford University Press.
- Marotta L., Cecchi A., Sierra J.P., Sanchez - Arcilla A. (2001) - *Integrated coastal zone management: indices and indicators for littoral zone. Application to the North Mediterranean Sea*. International Congress: Oceans III Millennium, Pontevedra (Spain), 24-27 of April of 2001.
- Marotta, L., Vicinanza, D. (2001) - *Indici di qualità ambientale nella gestione integrata della fascia costiera*. rivista Studi Costieri, Vol. 4, pp. 83-98, ISSN 1129-8588, Firenze.
- Montanari G., Giovanardi F., Melley A. (2000) - *Gli Indici trofici per le acque marine costiere*. Agenzia Nazionale per la protezione Ambientale, Roma.
- Murray A.G., Parslow J.S. (1999) - *The analysis of alternative formulations in a simple model of a coastal ecosystem*. In Ecological Modelling 119: 149-166.
- Patricio, J.R. Ulanowicz, M.A. Pardal, J.C. Marques (2004) - *Ascendency as an ecological indicator: a case study of estuarine pulse eutrophication*. Estuarine Coastal and Shelf Science, 60: 23-35.
- Pickett S. T. A., Cadenasso M. L. and Grove J. M. (2005) - *Biocomplexity in Coupled Natural-Human Systems: A Multidimensional Framework*. Ecosystems 8 (2005) pp. 225-232.
- Turner R.K., L. D. de Lacerda (eds) - *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, pp. 1-10.
- Turner R.K. e Salomons W. (1999) - *Coastal Management: Principles and Practice in Salomons*. W., K. Turner, L. D. de Lacerda (eds), Perspectives on Integrated Coastal Zone Management, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, pp. 1-10.
- UNESCO (2006) - *Visions for a sea changes. Report of the First International Workshop on Marine Spatial Planning*. Intergovernmental Oceanographic Commission and the Man and the Biosphere Programme, UNESCO Headquarters, Paris, France, 8-10 November 2006. See also http://ioc3.unesco.org/marinesp/files/FinalConclusionsNextSteps_041206.pdf.
- Vallega A., (1999) - *Fundamentals of Integrated Coastal Management*. Ed. Kluwer Academic Publishers
- Von Bertalanffy L. (1968) - *General Systems Theory*. George Braziller, New York: 295 pp.

Ricevuto il 13/3/2010, accettato il 18/7/2010.

Analisi dei livelli marini estremi e delle acque alte lungo il litorale ravennate

Marinella Masina e Paolo Ciavola

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Ferrara, via Saragat, 1 - 44122 Ferrara
marinella.masina@unife.it, cvp@unife.it

Riassunto

In tutto l'Alto Adriatico i fenomeni di acqua alta espongono i territori costieri ad un elevato livello di rischio per inondazione marina. Obiettivo del presente studio è la stima dei livelli marini estremi e dei relativi periodi di ritorno per le aree costiere vulnerabili della Provincia di Ravenna, punto di partenza di grande rilevanza per la Protezione Civile nella messa a punto di adeguati sistemi di previsione e di allerta.

Le osservazioni disponibili si riferiscono alle registrazioni con cadenza di 10 minuti del mareografo di Porto Corsini (Ravenna), stazione della Rete Mareografica Nazionale, e coprono un periodo di dieci anni, dal 2000 al 2009. Il controllo di qualità e l'alta correlazione con i valori orari relativi allo stesso periodo archiviati dall'Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia per la stazione di Punta della Salute assicurano la validità dei dati utilizzati nell'analisi.

La stima dei valori estremi è stata effettuata considerando la probabilità limite congiunta degli r eventi annuali più elevati sia della serie temporale dei livelli osservati che di quella dei residui, ottenuta rimuovendo la marea astronomica tramite analisi armonica effettuata con il programma `t_tide`. La selezione è stata realizzata considerando indipendenti valori estremi separati da almeno 78 ore, in modo da includere in un unico evento le oscillazioni di livello dovute alle sesse che possono accompagnare i fenomeni di surge, e cercando riscontro nelle serie temporali dei dati meteorologici ed ondametrici registrati dalle stazioni più vicine.

Il probability plot test indica un buon adattamento del modello ai dati esaminati per $r=6$ in corrispondenza del quale si ottengono livelli di 0.85, 1.05 e 1.28 m e residui di 0.61, 0.79 e 1.02 m per tempi di ritorno rispettivamente di 2, 10 e 100 anni.

Parole chiave: valori estremi, livelli, residui, tempi di ritorno, Porto Corsini.

Abstract

The entire North-western Adriatic coast is exposed to a high degree of inundation risk by exceptional sea levels caused by storm surges. The aim of the present investigation is to estimate extreme water levels and their associated return periods along vulnerable coastal areas of the Ravenna Province.

The observations available for Ravenna are 10-minute interval measurements, recorded by the Porto Corsini tide gauge station, which is part of the National Tide Gauge Network managed by ISPRA. The studied time series cover a period of ten years, from 2000 to 2009. A preliminary process of quality control applied to raw data and the high correlation found with the hourly sea level measurements collected by Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree of Venice Municipality for the tide station of Punta della Salute ensure the consistency of the Ravenna dataset used in the statistical analysis.

The methodological approach employed in the study is based on the limiting joint Gumbel distribution of the r largest order statistics. The seven largest values of sea level and surge were extracted for each year from the quality

*checked records of observations and non-tidal residuals. The non-tidal residuals sequences were produced by subtracting the predicted astronomic tide from the observed time series through harmonic analysis carried out on a yearly basis using the program *t_tide*. In the selection of extreme events, only those separated by at least 78 hours were considered as being independent. This time window was supposed to have included in a unique event the effect of seiche oscillations that may follow storm surges. Further validation of the representativeness of the dataset came from its cross-comparison with time series of meteorological parameters and wave measurements collected at several of the nearest stations along the Adriatic coast.*

The analyses identified extreme levels of 0.85, 1.05 and 1.28 m for return periods of 2, 10 and 100 years. The non-tidal residuals computed for the same return periods were 0.61, 0.79 and 1.02 m.

Keywords: *sea levels, non-tidal residuals, return period, Porto Corsini, extreme events.*

Introduzione

I territori costieri a basso livello altimetrico dell'Adriatico nord-occidentale, patrimonio storico, socio-economico ed ambientale, sono sempre più frequentemente esposti al rischio di inondazione per ingressione marina durante eventi di mareggiata e storm surge. Rialzi del livello del mare si manifestano particolarmente nel periodo autunno-invernale per effetto di basse pressioni locali e di intensi e persistenti venti provenienti dai quadranti sud-orientali (Scirocco) e diretti lungo l'asse longitudinale dell'Adriatico, associati a sistemi depressionari che si accostano al bacino da ovest o sud-ovest (Raicich, 2003). La configurazione allungata del Mare Adriatico e l'effetto di incanalamento prodotto dalle conformazioni orografiche delle regioni che vi si affacciano determinano un'intensificazione dell'azione di trascinamento del vento verso l'estremità chiusa che favorisce l'accumulo di acqua a ridosso della costa. Le dinamiche di generazione risultano amplificate dalla limitata profondità dei fondali che caratterizza la parte settentrionale dell'Adriatico. Il rischio di allagamento aumenta quando il contributo di origine meteorologica si sovrappone ad un'alta marea astronomiche, determinando forti innalzamenti del livello del mare che, andando oltre i valori massimi raggiunti dalle alte maree in condizioni normali, possono provocare il fenomeno dell'acqua alta. Gli eventi di surge sono solitamente accompagnati dalle sesse, oscillazioni libere che in un bacino semichiuso come quello adriatico possono persistere anche per diversi giorni dopo la cessazione dei fattori perturbativi che le hanno innescate. L'oscillazione fondamentale longitudinale ha un periodo di circa 21-22 ore (Raicich et al., 1999; Vilibić, 2006), molto simile a quello dell'onda mareale.

Gli effetti più evidenti del fenomeno dell'acqua alta sono costituiti dagli allagamenti della città di Venezia (dal punto di vista tecnico il termine indica il raggiungimento di una quota critica di +110 cm rispetto allo zero del 1897) e dei centri urbani lagunari (Canestrelli et al., 2001; Ferla et al., 2007). Numerosi sono gli studi incentrati sulle variazioni nella distribuzione delle maree estreme e delle surges a Venezia (Pirazzoli, 1982; Camuffo, 1993), sulle tendenze climatologiche osservate negli ultimi decenni (Pirazzoli e Tomasin, 2002; Trigo e Davies, 2002) e sulle previsioni delle conseguenze indotte sul litorale veneziano dal cambiamento climatico globale in atto sia in relazione all'evoluzione della storminess che allo scenario di crescita del livello medio del mare (Lionello, 2005; Lionello et al., 2010). Al forte incremento della frequenza delle acque alte riscontrato durante il XX secolo a Venezia hanno contribuito essenzialmente l'innalzamento relativo del livello medio del mare dovuto alla combinazione dei processi di subsidenza locale ed eustatismo ed i lavori idraulici effettuati alle bocche di porto ed in laguna (Camuffo, 1993).

I fattori subsidenza, sia di origine naturale che antropica, ed eustatismo sono i principali responsabili anche dell'accentuazione, durante gli ultimi cinquant'anni, della vulnerabilità della fascia costiera ravennate nei confronti dei fenomeni di ingressione marina durante intense mareggiate associate ad eventi di acqua alta (Bondesan et al., 1995; Teatini et al., 2005). I risultati ottenuti dall'analisi dell'ultima campagna di livellazione condotta da ARPA Ingegneria Ambientale nel 2005 riportati da Preti (2009) indicano una tendenza all'aumento degli abbassamenti lungo l'intero tratto da Lido di Savio (10 mm/anno) a Marina di Ravenna (8÷11 mm/anno), facendo registrare i valori più elevati dell'intera costa emiliano-romagnola nella zona compresa tra la pineta di Classe e Lido Adriano, con punte di 19 mm/anno in corrispondenza di Lido di Dante, in prossimità della foce dei Fiumi Uniti.

La conoscenza dei fenomeni meteomarini estremi è indispensabile per l'impostazione di un'adeguata programmazione ed un corretto dimensionamento degli interventi lungo la costa.

Il tradizionale metodo di valutazione dei livelli estremi basato sull'analisi dei massimi annuali (Gumbel, 1958) non è in grado di fornire stime accurate dei parametri della distribuzione quando il dataset disponibile è di lunghezza limitata o presenta frequenti interruzioni. L'esperienza suggerisce infatti che per ottenere risultati attendibili sono necessari almeno venticinque anni di dati (Pugh e Vassie, 1980). Approcci alternativi sono stati sviluppati negli ultimi decenni per superare la limitazione imposta dalla disponibilità delle registrazioni. Il metodo proposto da Smith (1986) e Tawn (1988), *r* largest Annual Events Method, è un'estensione del modello dei massimi annuali e si basa sulla distribuzione limite congiunta di un numero prefissato di eventi estremi indipendenti per ciascun anno di dati. L'approccio non risente dell'effetto di variazioni temporali e spaziali, in quanto fondato su una definizione puramente relativa di valore estremo (Butler et al., 2007). La sua applicazione richiede almeno dieci anni di osservazioni (Tawn e Vassie, 1989).

Con il metodo delle probabilità congiunte (Joint Probabilities Method) introdotto da Pugh e Vassie (1979, 1980) è possibile ottenere stime stabili anche con periodi di campionamento molto brevi (sono comunque consigliati almeno quattro anni di dati (Pugh, 1987)). La funzione di distribuzione dei livelli estremi viene ottenuta dalla combinazione delle funzioni di densità di probabilità della marea astronomica e della surge assumendo che i due processi siano statisticamente indipendenti. Tawn e Vassie (1989) hanno osservato come le assunzioni alla base del metodo ne restringano le applicazioni con buoni risultati alle aree in cui l'escursione di marea è dominante in relazione alla variabilità della surge e risultano disponibili più di dieci anni di registrazioni. Il metodo presenta due principali inadeguatezze: innanzitutto l'indipendenza nella sequenza dei livelli non costituisce un valido presupposto per via dell'influenza della marea e della forte dipendenza temporale esibita dalla componente residuale; in secondo luogo, la distribuzione empirica dei residui è una rappresentazione sufficientemente buona della distribuzione reale eccetto che in prossimità degli estremi, per cui l'approccio non è in grado di fornire probabilità di occorrenza dei livelli superiori alla somma della massima surge osservata e della più alta marea astronomica (Tawn e Vassie, 1989; Tawn, 1992). Il Joint Probabilities Method risulta inoltre più complesso dei metodi diretti perché devono essere tenuti in considerazione effetti stagionali (determinati dai differenti periodi in cui possono verificarsi le maggiori surges e le più grandi maree astronomiche) e l'eventuale interazione fra le componenti di marea e di residuo (con tendenza dei massimi valori di surge a presentarsi più frequentemente in fase di marea crescente).

Per migliorare la procedura di stima e rendere il metodo più largamente applicabile, Tawn e Vassie (1989) hanno apportato due sostanziali modificazioni (Revised Joint Probabilities Method). La prima riguarda la trasformazione della distribuzione oraria in tempi di ritorno: la dipendenza nella sequenza dei valori orari di livello è stata affrontata attraverso l'introduzione dell'*extremal index*, derivato dal tempo medio di superamento di un determinato livello per ogni evento indipendente che eccede la soglia prestabilita. La seconda modificazione consiste in uno smoothing dell'estremità della distribuzione empirica dei residui in modo da ottenere per i livelli probabilità oltre il range esistente dei dati di surge.

Pirazzoli et al. (2007) osservano però come la presenza delle sesse, specialmente nel Nord Adriatico, renda il numero delle surges poco chiaro e propongono l'applicazione di un fattore empirico di correzione che, dedotto direttamente dal dataset disponibile, permetterebbe di calibrare il Joint Probabilities Method confrontando le stime con il massimo registrato.

Negli ultimi trent'anni la stima dei livelli marini estremi è stata realizzata generalmente sulla base di dati orari. Lo sviluppo dei sistemi operativi di previsione e di allerta per la mitigazione e gestione dei rischi costieri connessi ai fenomeni di storm surge e tsunami (soprattutto dopo l'impatto devastante sulle regioni del sud-est asiatico del maremoto del 26 Dicembre 2004) ha reso disponibili, ai fini della definizione di scenari evolutivi realistici e della rilevazione di condizioni di pericolo in tempi congrui alle necessità di intervento, osservazioni del livello del mare campionate ad alta frequenza e trasmesse in tempo reale. Studi recenti condotti da Tsimplis et al. (2009) e Lee et al. (2009) hanno evidenziato come la frequenza delle misurazioni possa significativamente influenzare la stima dei massimi valori di livello e di residuo: l'impiego delle registrazioni orarie può condurre rispetto ai dati ad alta risoluzione temporale ad una considerevole sottostima degli estremi effettivi specialmente quando di limitata persistenza.

In questa memoria vengono presentati i risultati dell'analisi statistica dei livelli marini estremi e delle acque alte per il litorale ravennate. Le informazioni fornite possono essere di supporto per le attività di gestione e pianificazione strategica del territorio e per il sistema di previsione dell'impatto di eventi di mareggiata e di surge in fase di sviluppo nell'ambito del Progetto Europeo MICORE (www.micore.eu).

Materiali e metodi

Dati di livello

Ai fini della caratterizzazione statistica delle maree lungo il litorale ravennate sono stati utilizzati i dati disponibili per il mareografo di Porto Corsini (latitudine 44° 29' 31.44" N, longitudine 12° 16' 57.98" E) (Fig. 1), stazione della Rete Mareografica Nazionale gestita da ISPRA. Il sensore di livello installato è del tipo ad ultrasuoni e la precisione complessiva è di 0.4 cm (<http://www.idromare.it>). La serie considerata nell'analisi comprende le osservazioni registrate con cadenza di 10 minuti dal 31 Dicembre 1999 al 1 Gennaio 2010. Ogni dato campionato rappresenta la media su un periodo di 10 secondi di accensione del sensore al termine dell'intervallo di 10 minuti che identifica temporalmente la misura. I dati di marea si riferiscono al livello medio del mare (IGM) di Genova del 1942.

Per quanto concerne l'intervallo utilizzato, occorre evidenziare che, durante il periodo dal 1986 al 1998, quando la Rete Mareografica italiana è stata sottoposta a ristrutturazione e tutte le apparecchiature meccaniche sono state sostituite con strumenti elettronici, è venuta meno l'attenzione alla conservazione dell'affidabilità del livello di riferimento che aveva caratterizzato la precedente organizzazione, come indicano i numerosi e lunghi periodi di assenza dei dati e gli errori nell'impostazione del livello di riferimento rilevati anche nell'analisi del dataset di Porto Corsini (http://www.idromare.it/rmn_cennistorici.php).

A Ravenna la marea astronomica è caratterizzata da componenti diurne e semidiurne che determinano un'escursione di circa 30 cm in quadratura e 70-80 cm nei periodi di sizigie (Idroser, 1996). Il regime di moto ondoso è generalmente a bassa energia, con altezza d'onda significativa al largo dominante inferiore a 50 cm (Decouttere et al., 1998). Le tempeste più frequenti provengono dai settori compresi tra i 60° ed i 120° (Scirocco), mentre le più violente interessano i settori di Bora (Idroser, 1996).



Poiché il confronto tra i dati di stazioni vicine costituisce un prezioso strumento per l'individuazione di misure inconsistenti nelle registrazioni di livello, sono state impiegate anche le osservazioni orarie, relative allo stesso intervallo di tempo, acquisite dalla stazione di Punta della Salute - Canal Grande (latitudine 45° 25' 51.45" N, longitudine 12° 20' 13.38" E) e rese disponibili dall'Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia (<http://www.comune.venezia.it/maree>), che insieme a tale mareografo gestisce altre quindici stazioni automatiche distribuite nella laguna veneta. La stazione automatica provvede soltanto ad un controllo di base dei dati. La misura di livello avviene tramite idrometro a galleggiante. La precisione di lettura del sensore è di ± 1 cm. Le rilevazioni delle altezze di marea effettuate dagli strumenti della Rete Telemareografica della Laguna di Venezia si riferiscono al piano fondamentale della Rete Altimetrica dello Stato (1897).

Figura 1 - Localizzazione delle stazioni mareografiche considerate nello studio.

Controllo di qualità delle osservazioni di livello

Per assicurare la validità e la consistenza dei dati acquisiti per scopi operativi, le registrazioni di Porto Corsini sono state sottoposte ad un'analisi preliminare di qualità. La procedura adottata comprende i seguenti steps in accordo con gli standards implementati dall'European Sea Level Service (García et al., 2007):

- controllo della regolarità e continuità dell'informazione temporale;
- individuazione dei buchi presenti nella serie (Tab. 1), verifica dell'assenza di gaps sistematici stagionali che potrebbero influire sulla statistica delle surges (Fig. 2) e copertura, attraverso interpolazione lineare

fra i punti estremi, solo di brevi intervalli corrispondenti alla mancanza di un massimo di due osservazioni successive (gap filling);

- ricerca di valori anomali (spikes);
- applicazione di un test di stazionarietà per la valutazione del numero di valori ripetuti in relazione a quello consentito in funzione dell'intervallo di acquisizione: per dati campionati ogni 10 minuti il valore suggerito dal Manual of Quality Control Procedures for Validation of Oceanographic Data dell'UNESCO (1993) è 12. Solo in tre situazioni sono state riscontrate misure ripetute in eccesso rispetto alla soglia prefissata: dall'analisi della loro entità e del dataset complessivo però non si è ritenuta opportuna la loro eliminazione, dal momento che si trattava di valori prossimi allo zero che non avrebbero quindi alterato la distribuzione degli estremi.

Tabella 1 - Numero complessivo e percentuale di dati mancanti per anno.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Totale dati	1330	5233	64	1959	44	201	521	8	807	92
mancanti	2.52%	9.96%	0.12%	3.73%	0.08%	0.38%	0.99%	0.02%	1.53%	0.18%

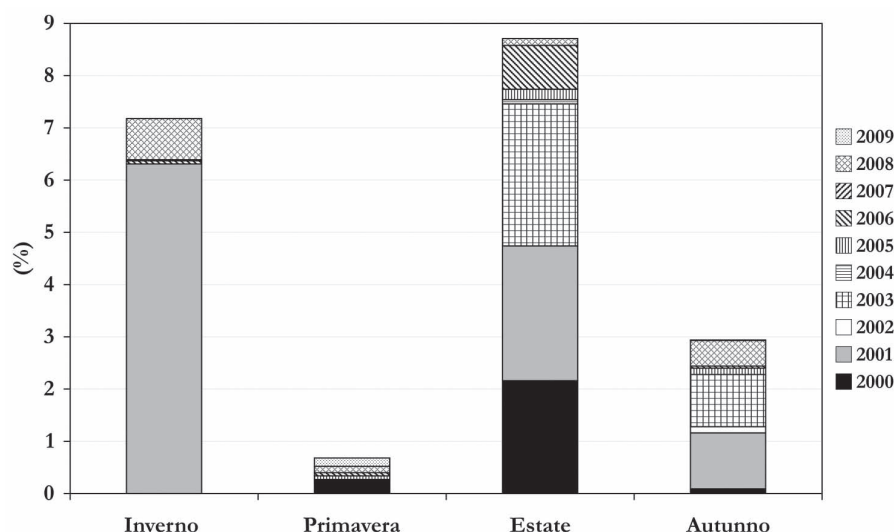


Figura 2 - Distribuzione stagionale dei dati mancanti.

L'identificazione degli spikes all'interno della serie temporale è stata effettuata applicando due diversi algoritmi. Il metodo più semplice, time-consecutive check o delta-check, consiste nell'individuare i valori di livello soggetti a variazioni eccedenti un limite prefissato rispetto alle misurazioni immediatamente precedenti e successive:

$$\text{se } |x_{t-1} - x_t| > \sigma_T \text{ e } |x_t - x_{t+1}| > \sigma_T \rightarrow 10\text{-min spike} \quad (1)$$

Per la determinazione della tolleranza σ_T è stata considerata l'espressione

$$\sigma_T = 0.58 \cdot 3 \cdot \sigma \cdot \sqrt{T} \quad (2)$$

opportunamente calibrata per brevi intervalli di campionamento (Handbook of Automated Data Quality Control Checks and Procedures of the National Data Buoy Center, 2003), dove σ rappresenta la deviazione standard del campione di dati e T è il periodo di tempo, espresso in ore, che intercorre tra le misure. Nella presente analisi, con dati campionati ad intervalli di 10 minuti ed un valore medio di σ pari a 0.23 m, la relazione precedente consente una variazione massima di livello di 16 cm. Le misure eccedenti la soglia stabilita sono state corrette mediante sostituzione con valori ancora una volta determinati tramite interpolazione lineare. Per eliminare il rumore dalla serie originale dei livelli è stato effettuato uno smoothing con spline cubica. Sulla base dell'esigenza di fedeltà ai dati e delle caratteristiche intrinseche di ciascuno dei dieci anni di misurazioni, per tentativi è stato selezionato un parametro di smoothing prossimo all'unità e sono state identificate come outliers le registrazioni i cui residui risultano superiori ad una soglia prefissata di 5σ . L'analisi della distribu-

zione dei residui eseguita sui primi 176 campioni di 144 dati del 2000 rivela, attraverso i tests di Jarque-Bera, χ^2 e Lilliefors, soddisfacenti caratteristiche di normalità ed anche la funzione di autocorrelazione manifesta il realizzarsi delle condizioni di bianchezza, confermando la bontà della procedura seguita

Descrizione della metodologia

In qualsiasi istante t il livello marino osservato ξ , dopo la rimozione delle onde, può essere espresso con riferimento ad un determinato datum come somma di tre componenti, il livello medio del mare $Z_0(t)$, la marea astronomica $X(t)$ ed il contributo meteorologico $Y(t)$ (Pugh e Vassie, 1979):

$$\xi(t) = Z_0(t) + X(t) + Y(t) \quad (3)$$

La variazione del livello medio del mare nel tempo risulta generalmente molto piccola quando rapportata alla variabilità giornaliera delle altezze di marea e di *surge* (Pugh, 1987); nel presente studio, dato il limitato numero di anni a disposizione, non è stata affrontata la determinazione del termine $Z_0(t)$ valutando una tendenza media sul lungo periodo. Haigh et al. (2010) mostrano come l'approccio utilizzato nel trattare i *trends* nei valori estremi possa condurre a significative differenze nelle stime dei livelli quando vengano utilizzate registrazioni di lunghezza inferiore ai 50 anni.

L'analisi armonica effettuata sul dataset delle osservazioni controllato e validato con il toolbox `t_tide` (Pawlowicz et al., 2002), versione Matlab del codice sviluppato da Foreman (1977), ha consentito di definire la componente astronomica della marea, valutando le caratteristiche delle costanti armoniche con un intervallo di confidenza del 95% per periodi di 365/6 giorni, a seconda dell'anno del calendario. L'impiego di `t_tide` è infatti raccomandato per registrazioni in input di lunghezza non superiore ad un anno per garantire l'accuratezza delle correzioni nodali applicate al centro della serie temporale. Dall'analisi dei valori ottenuti per le sette principali costituenti di marea del Nord Adriatico (O1, P1, K1, N2, M2, S2, K2) per ciascuno dei dieci anni di dati emergono variazioni massime contenute (1 cm per quanto riguarda l'ampiezza e 19 gradi per la fase) che escludono alterazioni significative imputabili a particolari condizioni meteorologiche. Soddisfacente risulta anche il confronto tra i valori ottenuti mediando i risultati delle dieci sequenze temporali e le costanti storiche riportate da Mosetti (1987) (osservandosi differenze massime di 1.4 cm e 36 gradi in termini di ampiezza e di fase rispettivamente), soprattutto se si tiene conto che sono state determinate con metodi diversi e su intervalli di tempo diversi. Nel presente studio per il calcolo delle previsioni di marea si sono considerate significative le componenti con signal-to-noise power ratio maggiore o uguale a 1.

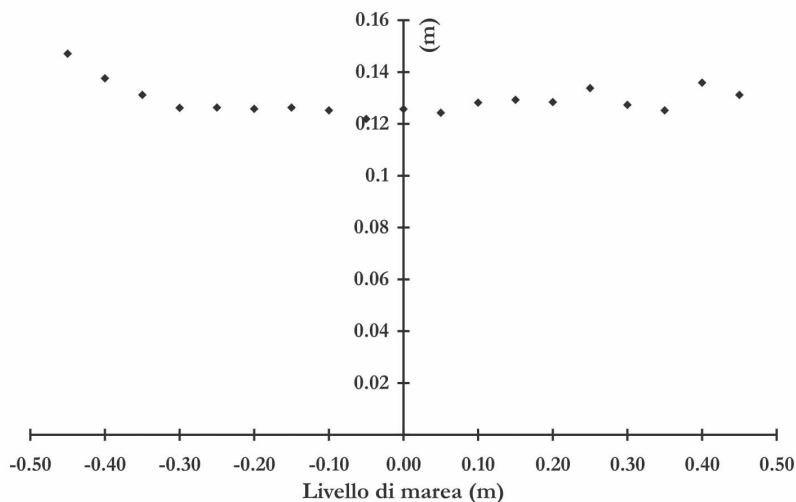
La serie dei residui meteorologici (*non-tidal residuals*), ottenuta rimuovendo il segnale mareale dalle osservazioni di livello, è stata plottata in funzione del tempo e sottoposta ad esame visivo per verificare la presenza di piccoli errori o malfunzionamenti. Il record dei residui può contenere in generale, oltre alla componente meteorologica vera e propria (*surge*), il contributo dovuto alle sesse, gli effetti dell'interazione non lineare tra marea e *surge*, errori nella previsione della marea astronomica e problemi di timing.

L'eventuale esistenza di irregolarità nella serie originale dei dati è stata indagata anche attraverso il confronto con le registrazioni relative allo stesso periodo archiviate dall'Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia per la stazione mareografica di Punta della Salute - Canal Grande. Essendo pubblicati per questa seconda stazione solo valori orari, per rendere possibile la comparazione è stato applicato ai dati di Porto Corsini, campionati ad alta frequenza, il filtro di Pugh (Pugh, 1987). Gli elevati coefficienti ottenuti dalla correlazione lineare fra i valori orari di livello e di residuo della marea per il decennio analizzato (Tab. 2) mostrano per i due mareografi, nonostante la loro collocazione in aree costiere morfologicamente differenti, caratteristiche molto simili nella risposta agli impulsi meteorologici.

La separazione della componente residuale del livello attraverso la stima del segnale mareale e la sua rimozione dalla serie delle osservazioni si basa sull'assunzione che marea e *surge* siano fenomeni indipendenti. L'interazione tra le componenti di marea e di *surge* risulta particolarmente significativa in aree con acque basse, dove per effetto dell'attrito risultano attenuati i picchi di *surge* che si verificano in corrispondenza dei livelli di alta marea, mentre altri meccanismi non lineari tendono ad amplificarne il valore in fase di marea montante (Prandle e Wolf, 1978). Horsburgh e Wilson (2007) hanno mostrato come il modello di interazione nel Mare del Nord sia il risultato di un'alterazione di fase del segnale mareale e di una modulazione nella generazione della *surge* dovuta alla variazione di profondità durante il ciclo di marea. Ignorare questo tipo di dipendenza potrebbe portare ad una considerevole sovrastima dei "livelli di ritorno" (Pugh, 1987). Un approccio standardizzato per testare

la presenza di interazione consiste nel calcolare la deviazione standard dei valori di *surge* per differenti livelli di marea: qualsiasi variazione della distribuzione delle *surges* con l'altezza di marea è indice di dipendenza (Pugh, 1987). I risultati ottenuti per Porto Corsini mostrano solo piccole variazioni, indicando che i due processi possono essere considerati come variabili statisticamente indipendenti (Fig. 3). Studi condotti da Canestrelli et al. (2001) sui fenomeni di acqua alta a Venezia evidenziano come il massimo rialzo possa avvenire in momenti differenti da quelli di un'alta marea astronomica sostenuta.

La probabilità di occorrenza di eventi estremi può dunque essere stimata selezionando le altezze massime di



livello, ξ , dalla sequenza delle osservazioni e i valori massimi di *surge*, Y , dalla serie dei residui. In questo modo l'analisi statistica della componente meteorologica può includere anche residui positivi di altezza notevole che verificandosi però in condizioni di bassa marea avrebbero scarsa probabilità di produrre livelli marini complessivi preoccupanti.

Figura 3 - Relazione fra i livelli di marea astronomica e la deviazione standard dei residui a Porto Corsini.

Anno	COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE	
	Livello osservato	Residuo meteorologico
2000	0.92	0.92
2001	0.91	0.89
2002	0.90	0.88
2003	0.93	0.91
2004	0.93	0.91
2005	0.93	0.87
2006	0.93	0.91
2007	0.93	0.89
2008	0.93	0.90
2009	0.93	0.90

Tabella 2 - Coefficiente di correlazione lineare tra i valori orari di livello e di residuo per le stazioni di Porto Corsini e Punta della Salute. La misura delle maree a Porto Corsini è teoricamente relativa al livello medio mare di Genova 1942, mentre a Venezia il riferimento è lo Zero Mareografico di Punta della Salute del 1897.

Stima dei valori estremi

Nella rappresentazione statistica dei valori estremi di certe grandezze idrologiche (portate di piena, precipitazioni intense ecc.) e dei livelli marini si può ricorrere alla legge generale del massimo valore (*Generalized Extreme Value, GEV*) (Jenkinson, 1955):

$$F(x; \mu, \sigma, k) = \exp \left\{ - \left[1 - k \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{1/k} \right\} \tag{4}$$

con $\sigma > 0$ e valori di x tali per cui $1 - k(x - \mu)/\sigma > 0$.

Per valori del parametro di forma $k < 0$ la GEV equivale alla legge di Fisher-Tippett del II tipo (x è limitata inferiormente), per $k > 0$ equivale alla Fisher-Tippett del III tipo (x risulta limitata superiormente) e per $k = 0$ si riduce alla distribuzione di Gumbel (Fisher-Tippett del I tipo):

$$F(x; \mu, \sigma) = \exp \left\{ - \exp \left[- \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right] \right\} \quad -\infty < x < \infty \quad (5)$$

Assumendo che gli r valori estremi estratti da un singolo anno di dati abbiano la stessa distribuzione GEV descritta dall'equazione (4), la densità congiunta di (X_1, X_2, \dots, X_r) è data da:

$$f(X_1, X_2, \dots, X_r; \mu, \sigma, k) = \sigma^{-r} \exp \left\{ - \left[1 - k \left(\frac{X_r - \mu}{\sigma} \right) \right]^{1/k} + \left(\frac{1}{k} - 1 \right) \sum_{j=1}^r \log \left[1 - k \left(\frac{X_j - \mu}{\sigma} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

dove $X_1 \geq X_2 \geq \dots \geq X_r$ e $1 - k(X_j - \mu)/\sigma > 0$ per $j=1, \dots, r$ (Smith, 1986; Tawn, 1987).

Quando F è data dall'equazione (5), si ha corrispondentemente:

$$f(X_1, X_2, \dots, X_r; \mu, \sigma) = \sigma^{-r} \exp \left[- \exp \left(- \frac{X_r - \mu}{\sigma} \right) - \sum_{j=1}^r \left(\frac{X_j - \mu}{\sigma} \right) \right] \quad (7)$$

per $X_1 \geq X_2 \geq \dots \geq X_r$, formulazione considerata in dettaglio da Smith (1986) ed a cui si fa riferimento nelle successive analisi.

Supponendo che $X_{1,n} \geq X_{2,n} \geq \dots \geq X_{r,n}$ siano gli r valori estremi per ognuno degli N anni di dati ($1 \leq n \leq N$), l'equazione (7) fornisce l'espressione della densità congiunta di $X_{1,n}, \dots, X_{r,n}$ in funzione dei parametri μ_n e σ_n . Se i dati relativi ai singoli anni sono indipendenti ed ugualmente distribuiti, $\mu_n = \mu$ e $\sigma_n = \sigma$ ed il prodotto di tutte queste densità può essere considerato come la densità congiunta di tutte le osservazioni (Smith, 1986):

$$\sigma^{-Nr} \exp \left\{ - \sum_{n=1}^N \left[\exp \left(- \frac{X_{r,n} - \mu}{\sigma} \right) + \sum_{j=1}^r \frac{X_{j,n} - \mu}{\sigma} \right] \right\} \quad (8)$$

L'equazione (8) può essere trattata come una funzione di verosimiglianza ed i parametri possono essere stimati massimizzando il logaritmo della funzione.

Per assicurare l'indipendenza dei valori estremi estratti dalle serie temporali dei livelli osservati e dei residui, sono stati considerati solamente gli eventi separati da almeno 78 ore. Questa finestra è stata selezionata per tenere conto del tempo medio di decadimento delle oscillazioni dovute alle sesse che possono seguire i fenomeni di *surge* nel bacino adriatico secondo quanto determinato da Raicich et al. (1999) (78 ± 24 h), la cui stima risulta coerente con i valori calcolati per la costa croata da Cerovečki et al. (1997) (3.2 ± 0.5 giorni, risultato dell'analisi di dodici eventi di sessa accaduti fra il 1963 ed il 1986) e da Vilibić et al. (2000) (81 ± 19 h).

Il numero r di eventi estremi deve essere abbastanza grande da permettere una stima ragionevolmente accurata dei parametri e nel contempo sufficientemente piccolo per assicurare che X_r appartenga ancora alla coda della distribuzione (Tawn e Vassie, 1989). Analizzando i risultati ottenuti per Lowestoft (Mare del Nord, Regno Unito), Tawn (1988) ha evidenziato come le stime dei livelli appaiano piuttosto stabili assumendo per r valori compresi fra 3 e 7. Tsimplis e Blackman (1997) hanno mostrato che, nonostante il miglior adattamento della distribuzione GEV ai dati di livello registrati presso alcuni porti dei Mari Egeo e Ionio avvenga selezionando gli otto eventi annui più significativi, i valori delle altezze di marea con tempo di ritorno cinquantennale calcolati considerando $r = 5$ e $r = 10$ non differiscono più di 5 cm. Sulla base di queste osservazioni la sperimentazione è stata effettuata con un numero di eventi variabile da 3 a 7.

Poiché i fenomeni di *surge* rappresentano una misura della risposta del livello del mare alle forzanti atmosferiche, per assicurare che ognuno degli eventi selezionati costituisse effettivamente un estremo, la loro occorrenza è stata messa in relazione con i principali parametri meteorologici raccolti dalle più vicine stazioni costiere. In particolare sono stati analizzati i dati SYNOP forniti da ARPA-SIMC Emilia-Romagna relativi alle registrazioni triorarie della pressione atmosferica e della velocità e direzione del vento per le stazioni di Venezia, Ravenna e Rimini. Il confronto tra le oscillazioni nelle serie temporali dei livelli e della pressione atmosferica conferma come il rialzo locale del livello marino sia determinato dalla diminuzione della pressione che accompagna il passaggio della perturbazione secondo l'effetto barometrico inverso. La correttezza della procedura seguita nella selezione è stata testata anche attraverso la comparazione con le misurazioni ondametriche e, più precisamente, con i datasets delle mareggiate identificati secondo i criteri indicati da Armaroli et al. (in stampa) sulla base

dei dati disponibili per le piattaforme Acqua Alta di ISMAR-CNR a otto miglia dalla costa in prossimità di Venezia ed ENI-PCW di fronte a Ravenna e delle registrazioni provenienti dalle boe di Ancona e Cesenatico. Un ulteriore controllo è stato infine realizzato incrociando le altezze massime ricavate per Porto Corsini con le informazioni contenute nell'elenco degli estremali maggiori o uguali a 80 cm pubblicato dal Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia per la stazione mareografica di Punta della Salute.

Prima di procedere con l'analisi statistica i valori estremi dei livelli e dei residui sono stati detrendizzati, sottraendo alle altezze massime individuate il valore medio di ciascuna serie temporale determinato su base annuale. La valutazione dell'adattamento del modello ai dati disponibili e la selezione del valore optimum di r sono state effettuate tramite il metodo grafico (*probability plot test*) proposto da Smith (1986), basato sulla stima dei valori

$$U_{j,n} = \sum_{j=0}^{r-1} \exp\left\{-\left(\frac{X_{j,n} - \mu}{\sigma}\right)^j - \exp\left[-\left(\frac{X_{j,n} - \mu}{\sigma}\right)\right]\right\} / j! \quad (9)$$

$$1 \leq n \leq N$$

Se il modello è corretto, per j fissato, $U_{j,n}$, $1 \leq n \leq N$, sono quantità costanti che cadono nell'intervallo (0,1). Una volta riordinati, i valori $U_{j,1}, \dots, U_{j,N}$ per j fissato, calcolati utilizzando le stime $\hat{\mu}$ e $\hat{\sigma}$, vengono graficati in funzione di $i/(N+1)$, $1 \leq i \leq N$. L'allontanamento da una relazione di tipo lineare esprime una deviazione dal modello adottato.

Di particolare interesse pratico risulta la stima di x_p , definito come il livello con probabilità p di essere superato dal valore massimo annuo quando per il processo viene considerata l'equazione (5):

$$x_p = \mu - \sigma \cdot \log[-\log(1 - p)] \quad (10)$$

Il tempo di ritorno T e la probabilità di superamento sono legati dalla relazione

$$p_s = \frac{1}{T} \quad (11)$$

Risultati e discussione

Nelle Tabelle 3 e 4 sono riportati i valori di livello e di residuo per assegnato tempo di ritorno, calcolati prendendo in considerazione un numero di eventi estremi variabile da 3 a 7 per ciascuno anno di dati, del periodo 2000-2009 campionati ad alta frequenza analizzati.

Tabella 3 - Stima dei livelli marini H per assegnato tempo di ritorno T in prossimità di Porto Corsini considerando un numero di eventi estremi r variabile da 3 a 7 per ciascun anno di dati, del periodo 2000-2009 campionati ad alta frequenza.

T (anni)	H(T) (m)				
2	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86
5	0.93	0.95	0.96	0.97	0.99
10	0.99	1.01	1.03	1.05	1.07
20	1.05	1.08	1.10	1.12	1.15
50	1.13	1.16	1.19	1.21	1.25
100	1.19	1.23	1.26	1.28	1.32

Anche se i valori ottenuti considerando $r = 6$ e $r = 7$, peraltro coincidenti, risultano leggermente inferiori rispetto a quelli che si hanno con un numero di eventi più basso, le stime dei residui, quando si assume che gli estremi seguano la distribuzione di Gumbel, possono ritenersi ragionevolmente stabili sull'intervallo adottato per r: le differenze massime si hanno infatti per i valori attesi con tempo di ritorno cinquantennale e centennale e sono pari a 4 cm.

In termini di livello previsto, invece, le variazioni aumentano considerando un numero di eventi crescente e

tempi di ritorno via via più lunghi, raggiungendo un valore massimo di 13 cm in corrispondenza di $T = 100$.

Tabella 4 - Stima dei residui h per assegnato tempo di ritorno T in prossimità di Porto Corsini considerando un numero di eventi estremi r variabile da 3 a 7 per ciascun anno di dati del periodo 2000-2009 campionati ad alta frequenza.

	$r = 3$	$r = 4$	$r = 5$	$r = 6$	$r = 7$
T (anni)	$h(T)$ (m)				
2	0.62	0.62	0.62	0.61	0.61
5	0.74	0.74	0.74	0.72	0.72
10	0.82	0.81	0.82	0.79	0.79
20	0.89	0.89	0.89	0.86	0.86
50	0.99	0.98	0.99	0.95	0.95
100	1.06	1.05	1.06	1.02	1.02

Sulla base del probability test, si ritiene che $r = 6$ produca, sia in termini di livello (Fig. 4) che di residuo (Fig. 5), il migliore adattamento del modello ai dati, soprattutto se si tiene conto che sono disponibili solo dieci punti. Il confronto tra gli estremi indipendenti estratti dalle registrazioni di livello con intervallo di acquisizione di 10 minuti e quelli identificati nelle serie dei valori orari ottenute dall'applicazione del filtro di Pugh indica sul periodo esaminato differenze fino a 5 cm, confermando che l'utilizzo di dati orari, quantunque filtrati, può condurre per le aree costiere del Nord Adriatico ad una sottostima dell'effettivo valore degli estremi, come già osservato da Tsimplis et al. (2009) analizzando i dati relativi alla stazione mareografica di Trieste. Le variazioni massime dei livelli con periodo di ritorno decennale, cinquantennale e centennale determinati a partire dai dati campionati ogni 10 minuti sono rispettivamente di 4, 5 e 6 cm, per r fissato, rispetto ai corrispondenti valori stimati per mezzo dei dati filtrati riportati in Tabella 5.

Tabella 5 - Stima dei livelli marini H per assegnato tempo di ritorno T in prossimità di Porto Corsini considerando un numero di eventi estremi r variabile da 3 a 7 per ciascun anno di valori orari filtrati del periodo 2000-2009.

	$r = 3$	$r = 4$	$r = 5$	$r = 6$	$r = 7$
T (anni)	$H(T)$ (m)				
2	0.81	0.82	0.82	0.83	0.84
5	0.90	0.92	0.92	0.94	0.96
10	0.96	0.99	0.99	1.01	1.04
20	1.02	1.06	1.05	1.08	1.11
50	1.09	1.14	1.14	1.17	1.21
100	1.15	1.20	1.20	1.24	1.29

In Tabella 6 vengono riassunti i risultati degli studi esistenti in letteratura inerenti all'analisi dei livelli marini estremi lungo il litorale ravennate. Va osservato come le stime ottenute per i massimi livelli con $r = 6$ partendo dai dati campionati ad alta frequenza risultino in buon accordo con quelle ricavate da Yu et al. (1998) nell'ambito del Progetto Cenas sulla base di simulazioni numeriche di eventi di mareggiata nel bacino adriatico. La previsione dei livelli estremi è stata condotta dai suddetti Autori considerando gli scenari futuri legati ad un'intensificazione delle condizioni meteorologiche scatenanti principalmente attraverso il fattore vento.

Differenze di 8, 12 e 14 cm rispettivamente per i tempi di ritorno di 10, 50 e 100 anni emergono invece dal confronto con i valori del massimo innalzamento del livello statico sul medio mare dedotti dalla regolarizzazio-

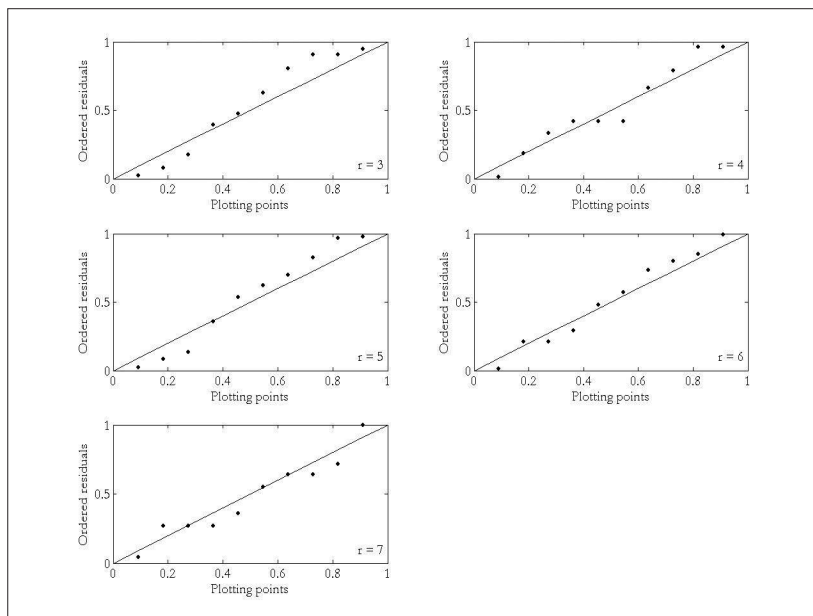


Figura 4 - Probability plots derivati dal modello adottato (Gumbel) utilizzando r valori estremi per ognuno dei dieci anni di dati a disposizione e considerando i valori massimi di livello separati da un intervallo temporale di almeno 78 ore.

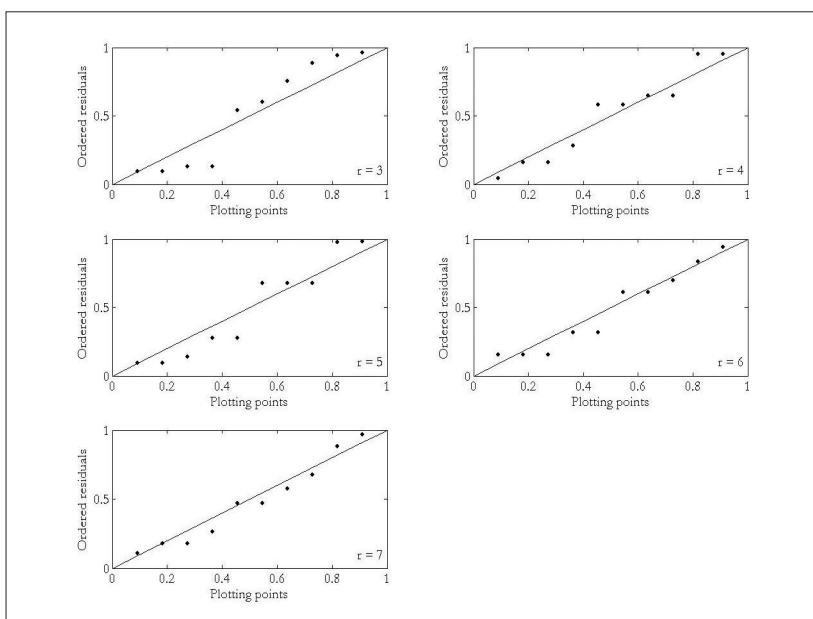


Figura 5 - Probability plots derivati dal modello adottato (Gumbel) utilizzando r valori estremi per ognuno dei dieci anni di dati a disposizione e considerando i valori massimi di residuo separati da un intervallo temporale di almeno 78 ore.

ne secondo la formula di Hazen delle osservazioni dei massimi annuali relative al periodo 1934-1987 e riportati nel Piano Coste della Regione Emilia-Romagna (Idroser, 1996). È da rilevare, al contrario, come a risultare in stretto accordo con le stime proposte da Idroser (1996) siano quelle che si ottengono per $r = 3$ considerando i valori orari filtrati. Occorre inoltre sottolineare che i dati utilizzati nel Piano Coste non coprono il periodo più recente.

Nel tentativo di comprendere le motivazioni all'origine di tale discordanza, la performance della metodologia è stata valutata anche attraverso l'analisi dei risultati ottenuti dall'applicazione della procedura indicata al dataset

dei valori orari disponibile per la stazione di Punta della Salute. Come si può notare dalla Tabella 7, le stime dei livelli appaiono piuttosto stabili al variare di r : si osserva infatti una differenza massima di 6 cm in corrispondenza dei valori attesi con tempo di ritorno centennale, che si riduce a soli 3 cm se si esclude dal confronto la con-

Tabella 6 - (A) Livelli estremi a Ravenna ottenuti tramite simulazione numerica per diversi periodi di ritorno da Yu et al. (1998). (B) Valori del massimo innalzamento del livello statico sul medio mare indicati nel Piano Coste (Idroser, 1996).

A	T (anni)	H(T) (m)	T (anni)	H(T) (m)	B
	1	0.85	2.5	0.85	
	10	1.04	5	0.91	
	100	1.28	10	0.97	
			25	1.04	
			50	1.09	
			100	1.14	

Tabella 7 - Stima dei livelli marini H per assegnato tempo di ritorno T considerando un numero di eventi estremi r variabile da 3 a 7 per ciascun anno di dati orari del periodo 2000-2009 disponibili per la stazione di Punta della Salute (Venezia).

dizione $r = 3$. Anche in questo caso il probability test indica in $r = 6$ il migliore adattamento del modello ai dati.

	$r = 3$	$r = 4$	$r = 5$	$r = 6$	$r = 7$
T (anni)	H(T) (m)				
2	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98
5	1.13	1.11	1.11	1.11	1.12
10	1.22	1.20	1.19	1.20	1.21
20	1.32	1.29	1.27	1.28	1.29

Tabella 8 - Applicazione delle distribuzioni GEV e Gumbel ai valori massimi annuali di livello (cm) registrati a Punta della Salute riferiti al running yearly mean sea level. Le stime sono state determinate da Pirazzoli et al. (2007) sia sull'intero campione di 66 anni di osservazioni che coprono il periodo dal 1940 al 2005, (A), sia sul numero complessivo di anni disponibile con meno del 15% di dati mancanti, (B). Tale condizione arbitraria porta ad escludere i valori massimi registrati negli anni 1940, 1966 e 1967.

	$r = 3$	$r = 4$	$r = 5$	$r = 6$	$r = 7$
50	1.43	1.40	1.38	1.39	1.40
100	1.52	1.48	1.46	1.47	1.49

A	GEV	Gumbel		GEV	Gumbel	B
T (anni)	H(T) (cm)		T (anni)	H(T) (cm)		
2	100	100	2	100	99	
10	122	124	10	119	120	
50	142	146	50	131	138	
100	149	155	100	135	146	

Conclusioni

L'esame dei massimi innalzamenti previsti per il livello del mare evidenzia come, anche per bassi valori del tempo di ritorno, si delinei uno scenario di rischio idraulico molto serio per i territori costieri dell'area ravennate caratterizzati da elevazioni che nella maggior parte dei casi non superano il metro sul livello medio del mare (Teatini et al., 2005).

L'analisi dei risultati porta a ritenere, in accordo con quanto già osservato da Pirazzoli et al. (2007), che,

per le regioni costiere del Nord Adriatico, dove i fenomeni di *surge* hanno la stessa entità dell'escursione di marea, le stime delle altezze massime di livello siano strettamente legate all'intervallo temporale considerato per le registrazioni mareografiche.

Lo studio qui presentato ha stimato, per tempi di ritorno di 2, 10 e 100 anni dei massimi livelli di 0.85, 1.05, 1.28 m. Tali stime si riferiscono al valore "totale" del sovralzato, includendo quindi tutti i fenomeni meteo marini che si verificano in condizione di mareggiata ma non quelli dovuti dal moto ondoso come *set-up* e *run-up*. Sono quindi da aspettarsi valori più elevati in condizioni di costa esposta al moto ondoso, si rammenta che il mareografo di Porto Corsini si trova all'interno del porto di Ravenna. I valori massimi di livello del mare possono essere utilizzati da progettisti coinvolti nella progettazione di opere marittime e da pianificatori costieri per valutare l'esposizione al rischio di ingressione marina in zone abitate.

Ringraziamenti

L'analisi è stata condotta nell'ambito del Progetto Europeo MICORE (FP7 contratto 202798) (www.micore.eu). Lo studio di M. Masina si è svolto nel contesto del Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Ferrara.

Si ringraziano l'Ing. Andrea Valentini di ARPA-SIMC Emilia-Romagna per avere cortesemente messo a disposizione degli Autori i dati sinottici per le stazioni di Venezia, Ravenna e Rimini e le registrazioni del mareografo di Porto Corsini per il periodo 2000-2007 e l'Ing. Carlo Zumaglini della SIAP+MICROS S.r.l. per avere fornito le misurazioni di livello relative agli anni 2008 e 2009.

Bibliografia

- Armaroli C., Ciavola P., Masina M., Perini L., Calabrese L., Lorito S. e Valentini A. (in stampa) - *Critical storm thresholds for significant morphological changes and damage along the Emilia-Romagna coastline, Italy*. Special Issue of Geomorphology.
- Bondesan 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 (4): 1354-1379.
- Butler A., Heffernan J.E., Tawn J.A., Flather R.A. e Horsburgh K.J. (2007) - *Extreme value analysis of decadal variations in storm surge elevations*. Journal of Marine Systems, 67:189-200.
- Camuffo D. (1993) - *Analysis of the Sea Surges at Venice from A.D. 782 to 1990*. Theoretical and Applied Climatology, 47: 1-14.
- Canestrelli P., Mandich M., Pirazzoli P.A. e Tomasin A. (2001) - *Venti, depressioni e sesse: perturbazioni delle maree a Venezia (1951-2000)*. Città di Venezia, Centro Previsioni e Segnalazioni Maree. pp. 105.
- Cerovečki I., Orlić M. e Hendershott M.C. (1997) - *Adriatic seiche decay and energy loss to the Mediterranean*. Deep-Sea Research I, 44 (12): 2007-2029.
- Decouttere C., De Backer K., Monbaliu J. e Berlamont J. (1998) - *Wave refraction in the Upper Adriatic Sea*. In: Water Science and Technology Library, CENAS, Coastline Evolution of the Upper Adriatic Sea Due to Sea Level Rise and Natural and Anthropogenic Land Subsidence. G. Gambolati ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Paesi Bassi, pp. 169-183.
- Ferla M., Cordella M., Michielli L. e Rusconi A. (2007) - *Long-term variations on sea level and tidal regime in the lagoon of Venice*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 75: 214-222.
- Foreman M.G.G. (1977) - *Manual for tidal heights analysis and prediction*. Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sydney, B.C., pp. 97.
- García M.J., Pérez B.G., Raicich F., Rickards L., Bradshaw E., Plag H.-P., Zhang X., Bye B.L. e Isaksen E. (c2007) - *European Sea Level Monitoring: Implementation of ESEAS Quality Control*. In: Dynamic Planet: Monitoring and Understanding a Dynamic Planet with Geodetic and Oceanographic Tools, IAG Symposium Cairns Australia 22-26 August 2005. International Association of Geodesy Symposia. Springer, Berlino, 130: 67-70.
- Gumbel E.J. (1958) - *Statistics of Extremes*. Columbia University Press, New York, pp. 375.
- Haigh I.D., Nicholls R. e Wells N. (2010) - *A comparison of the main methods for estimating probabilities of extreme still water levels*. Coastal Engineering 57: 838-849.
- Horsburgh K.J. e Wilson C. (2007) - *Tide-surge interaction and its role in the distribution of surge residuals in*

- the North Sea*. Journal of Geophysical Research, 112, C08003, doi:10.1029/2006JC004033.
- Idroser (1996) - *Progetto di Piano per la Difesa dal Mare e la Riqualificazione Ambientale del Litorale della Regione Emilia-Romagna; Relazione generale*. Regione Emilia-Romagna, Bologna. pp. 365.
- Jenkinson A.F. (1955) - *The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 81 (348): 158-171.
- Lee J.-C., Park K.-S., Kwon J.-I. e Kim S.-I. (2009) - *Storm Surge Calculations Using Sea Level Data*. Marine Geodesy, 32: 108-117.
- Lionello P. (2005) - *Extreme storm surges in the Gulf of Venice: present and future climate*. In: Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon: State of Knowledge, ed. Fletcher C.A. and Spencer T., Cambridge University Press, Cambridge, U.K.: 59-69.
- Lionello P., Galati M.B. e Elvini E. (2010) - *Extreme storm surge and wind wave climate scenario simulations at the Venetian littoral*. Physics and Chemistry of the Earth, doi:10.1016/j.pce.2010.04.001.
- Mosetti F. (1987) - *Distribuzione delle maree nei mari italiani*. Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata, V (1): 65-72.
- National Data Buoy Center (2003) - *Handbook of Automated Data Quality Control Checks and Procedures of the National Data Buoy Center*. NDBC Technical Document 03-02. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration. Mississippi, U.S.A., pp. 44.
- Pawlowicz R., Beardsley B. e Lentz S. (2002) - *Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE*. Computers & Geosciences, 28: 929-937.
- Pirazzoli P.A. (1982) - *Maree estreme a Venezia (periodo 1872-1981)*. Acqua-Aria, 10: 1023-1039.
- Pirazzoli P.A. e Tomasin A. (2002) - *Recent Evolution of Surge-related Events in the Northern Adriatic Area*. Journal of Coastal Research, 18 (3): 537-554.
- Pirazzoli P.A., Tomasin A., Ullmann A. (2007) - *Extreme sea levels in two northern Mediterranean areas*. Méditerranée, 108: 59-68.
- Prandle D. e Wolf J. (1978) - *The interaction of surge and tide in the North Sea and River Thames*. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 55: 203-216.
- Preti M. (2009) - *Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione*. I Quaderni di ARPA, ARPA Regione Emilia-Romagna, Bologna. pp. 270.
- Pugh D.T. (1987) - *Tides, Surges and Mean Sea-Level*. Wiley, Chichester. pp. 472.
- Pugh D.T. e Vassie J.M. (1979) - *Extreme Sea Levels from Tide and Surge Probability*. Proceedings of the Sixteenth Coastal Engineering Conference, Amburgo, Germania, 27 Agosto-3 Settembre 1978. American Society of Civil Engineers, New York, 1: 911-930.
- Pugh D.T. e Vassie J.M. (1980) - *Applications of the joint probability method for extreme sea level computations*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 2, 69: 959-975.
- Raicich F. (2003) - *Recent evolution of sea-level extremes at Trieste (Northern Adriatic)*. Continental Shelf Research 23: 225-235.
- Raicich F., Orlić M., Vilibić I. e Malačić V. (1999) - *A case study of the Adriatic seiches (December 1997)*. Il Nuovo Cimento, 22 C (5): 715-726.
- Smith R.L. (1986) - *Extreme value theory based on the r largest annual events*. Journal of Hydrology, 86: 27-43.
- Tawn J.A. (1988) - *An extreme value theory model for dependent observations*. Journal of Hydrology, 101: 227-250.
- Tawn J.A. (1992) - *Estimating Probabilities of Extreme Sea-levels*. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics), 41 (1): 77-93.
- Tawn J.A. e Vassie J.M. (1989) - *Extreme sea levels: the joint probabilities method revisited and revised*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 2, 87: 429-442. (Paper 9476, Water Engineering Group).
- Teatini P., Ferronato M., Gambolati G., Bertoni W. e Gonella M. (2005) - *A century of land subsidence in Ravenna, Italy*. Environmental Geology, 47: 831-846.
- Trigo I.F. e Davies T.D. (2002) - *Meteorological conditions associated with sea surges in Venice: a 40 year climatology*. International Journal of Climatology, 22: 787-803.
- Tsimplis M.N. e Blackman D. (1997) - *Extreme Sea-level Distribution and Return Periods in the Aegean and Ionian Seas*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 44: 79-89.
- Tsimplis M.N., Marcos M., Pérez B., Challenor P., Garcia-Fernandez M.J. e Raicich F. (2009) - *On the effect*

- of the sampling frequency of sea level measurements on return period estimate of extremes-Southern European examples.* Continental Shelf Research 29: 2214-2221.
- UNESCO (1993) - *Manual of Quality Control Procedures for Validation of Oceanographic Data.* Prepared by CEC: DGXII, MAST and IOC: IODE. Manual and Guides 26, SC-93/WS-19. pp. 436.
- Vilibić I. (2000) - *A climatological study of the uninodal free oscillation in the Adriatic Sea.* Acta Adriatica, 41 (2): 89-102.
- Vilibić I. (2006) - *The role of the fundamental seiche in the Adriatic coastal floods.* Continental Shelf Research 26: 206-216.
- Yu C.S., Decouttere C. e Berlamont J. (1998) - *Storm Surge Simulations in the Adriatic Sea.* In: Water Science and Technology Library, CENAS, Coastline Evolution of the Upper Adriatic Sea Due to Sea Level Rise and Natural and Anthropogenic Land Subsidence. G. Gambolati ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Paesi Bassi, pp. 207-232.

Ricevuto il 13/7/2010, accettato il 22/5/2011.

RemTech Expo - Giornata Giovani GNRAC

Care lettrici e cari lettori di Studi Costieri,

gli articoli che seguono sono stati scritti dai soci del GNRAC che hanno partecipato all'evento G3, Giornata Giovani GNRAC, tenutosi il 21 Settembre 2010 nell'ambito degli Incontri Tecnici del RemTech Expo. L'obiettivo dell'associazione era quello di favorire l'incontro dei soci che sono all'inizio della loro attività di ricerca scientifica e di sostenere la divulgazione dei loro lavori. La partecipazione ha superato di gran lunga le attese tanto da poter affermare che l'obiettivo è stato centrato. Tutti i lavori presentati sono pubblicati nella forma di brevi articoli di due pagine ad eccezione di due contributi per i quali abbiamo ritenuto utile ampliarne la presentazione in otto pagine.

Gli argomenti riguardano tematiche inerenti a vari aspetti all'Ambiente Costiero, affrontate con metodologie e mezzi d'indagine anche molto differenti, dimostrando una marcata multiculturalità degli autori pur sempre accomunati dell'approccio scientifico ai problemi.

La multiculturalità e l'approccio scientifico sono due requisiti centrali per la nostra associazione, nella convinzione che siano il presupposto necessario per raggiungere qualsiasi avanzamento della conoscenza che possa essere trasferito ai gestori delle coste per porre in essere azioni efficienti ed efficaci nella gestione dell'ambiente costiero.

Il successo dell'evento G3 e l'atmosfera che si è instaurata tra i tutti partecipanti, durante l'incontro e nei mesi successivi, ci ha stimolato a ripetere l'iniziativa anche per l'anno 2011 con il desiderio di costituire un evento culturale annuale che, sulla spinta dei giovani partecipanti, possa essere di riferimento per tutta la comunità nazionale degli studiosi e dei gestori dell'ambiente costiero. Anche questo secondo appuntamento del G3 si terrà a Ferrara come Incontro Tecnico del "Coast Expo 2011" quindi manifestiamo un sentito ringraziamento all'organizzazione Ferrara Fiere Congressi per offrirci l'opportunità di una magnifica sede. Arrivederci al RemTech Expo 2011!

Per il GNRAC
Lorenzo Cappietti

Metodologie per la valutazione degli aspetti estetici delle opere di difesa costiera ai fini dell'analisi di fattibilità

Genny De Angelis

Viale Monte Grappa, 1 - 00053 Civitavecchia (RM).

Riassunto

Il crescente interesse per la difesa costiera e le iniziative contro l'erosione rendono sempre più importante prendere in considerazione la scelta delle tecniche di difesa da adottare, non solo per la durata dei loro effetti, ma anche per fattori estetici, per l'utilizzo della spiaggia ad uso ricreativo, per il paesaggio. Scopo della ricerca è lo sviluppo di una metodologia da introdurre in un'analisi di fattibilità che comporta il tentativo d'inserimento degli aspetti estetici delle difese marine, selezionando due tecniche valutative, una non monetaria basata sulla valutazione estetico – visiva: tramite lo Scenic Beauty Estimation (SBE) e il metodo delle preferenze visive, e una monetaria tramite lo sviluppo dell'analisi costi – benefici standard, con l'aggiunta degli ulteriori benefici “estetici” quantificati in valore. I metodi sono stati messi a punto adattandoli alla valutazione del paesaggio costiero e sono stati poi applicati al tratto del litorale di Ladispoli (località vicino Roma), dove nel settore settentrionale, da Torre Flavia alle due scogliere parallele alla spiaggia, è situata la zona oggetto di studio.

Parole chiave: erosione costiera, tecniche di valutazione del paesaggio, analisi costi – benefici, ripascimento artificiale.

Abstract

The growing interest in coastal defence and initiatives against erosion makes choice of defence techniques increasingly important, not only for the duration of their effects, but also for aesthetic factors and because of the use of the beach for recreation, landscape and bathing purposes. This work stems from a previous analysis on beach nourishment carried out in a bathing resort (Ladispoli) in the province of Rome, where the cost of beach nourishment was considered to be acceptable; the objective of the present study is to analyse the issue considering aesthetic aspects. This involves consideration of the visual effects of defence structures (nourishment, breakwaters, groynes, seawalls, etc.), measures of the visual impact of components (shape, materials, etc.) and comparison of complex scenarios, in order to achieve a scale of aesthetic values that can be transformed into monetary values, including the investment evaluation. This is an attempt to link aesthetic and economic aspects, adding the subjectivity of perceptions to the assignment of values whenever a true market is not available. Calculation of feasibility is then carried out, using this additional component in the evaluation scheme, in order to reach the best solution.

Keywords: coastal defence works, coastal erosion, cost – benefit analysis, coastal landscape assessment.

Introduzione

Esistono numerose definizioni di paesaggio legate soprattutto al punto di vista con il quale si valuta l'oggetto che viene definito paesaggio. In questo lavoro è stata adottata la definizione più tradizionale di paesaggio che nasce da considerazioni di tipo estetico, legate a caratteri esterni e visibili. Con questo contributo, si vuole ana-

lizzare il paesaggio costiero che rappresenta uno degli ambienti naturali più delicati e maggiormente dinamici, sui quali si concentrano un elevato numero di fattori che ne condizionano l'evoluzione. Il problema che oggi maggiormente assume rilevanza è, però, senz'altro l'erosione delle spiagge, sia come trend naturale, sia come fenomeno indotto dalla pressione d'uso della fascia costiera e del territorio contiguo. La risposta all'erosione marina fu affidata al Ministero dei Lavori Pubblici che ebbe il compito di intervenire per la difesa degli abitati con l'indicazione di utilizzare opere di tipo rigido. In questo modo, si cercò di porre rimedio all'erosione delle spiagge attraverso la realizzazione di strutture di difesa a carattere d'ingegneria marittima (barriere, pennelli, etc.), privilegiando l'efficacia dell'intervento rispetto ai problemi d'ordine ambientale e soprattutto paesaggistico che si venivano a creare. I limiti di questi sistemi divennero sempre più lampanti man mano che cresceva l'attenzione verso i problemi ambientali e la tutela del paesaggio. Solo negli ultimi anni il crescente interesse per la difesa del litorale dall'erosione marina e le iniziative volte al suo contrasto hanno posto sempre più come aspetto rilevante la scelta tra le diverse tecniche di difesa, quali, ad esempio, il ripascimento, non solo come generatrici d'effetti duraturi e sostenibili, ma sempre più come dipendenti da fattori estetici in generale connessi alla fruizione del litorale per fini ricreativi, paesaggistici (GNRAC, 2006).

Scopo del lavoro è lo sviluppo di una metodologia da inserire in un'analisi di fattibilità che comporta il tentativo d'inserimento degli aspetti estetici delle difese marine, selezionando due tecniche valutative: una non monetaria, basata sulla valutazione estetico – visiva che privilegia apprezzamenti personali e soggettivi e utilizza scale di valutazione di tipo ordinale, tramite lo Scenic Beauty Estimation (SBE) e il metodo delle preferenze visive, e una monetaria tramite lo sviluppo dell'analisi costi – benefici standard, con l'aggiunta degli ulteriori benefici “estetici” quantificati in valore. I metodi sono stati messi a punto adattandoli alla valutazione del paesaggio costiero e sono stati poi applicati al tratto del litorale di Ladispoli (località vicino Roma).

Area di studio

L'area oggetto di studio è rappresentata dal tratto di costa compresa tra Capo Linaro a nord e Palo (foce Tevere lato nord) a sud, tratto che presenta un'estensione di 25,4 km e al cui interno è situato il litorale di Ladispoli. Il tratto di spiaggia studiato è posto nel settore settentrionale del litorale di Ladispoli (provincia di Roma), che si trova esposto sul Tirreno centrale. L'area fa parte dell'unità fisiografica che si sviluppa interamente lungo il litorale laziale da Capo Linaro, nei pressi di S.Marinella, lungo la direzione NW-SE fino ad Anzio. La zona studiata si estende per circa 1.750 m ed è delimitata a nord da Torre Flavia e a sud da due scogliere parallele in prossimità del Fosso Vaccino (Fig. 1).

Nel periodo marzo – aprile 2003 è stato completato l'intervento di ripascimento con l'apporto di 485.000 m³ di sabbia prelevata in mare. La nuova spiaggia è stata protetta con 11 pennelli in roccia ortogonali alla linea di riva. Il risultato è stato anche la netta differenza di colore tra la spiaggia prima e dopo il ripascimento. Infatti la spiaggia di Ladispoli rappresenta un caso molto particolare non solo per la granulometria delle sabbie della battigia, ma anche per la loro composizione mineralogica: si tratta di un sedimento estremamente ricco di mi-



Figura 1 -Ubicazione dell'area di studio (da Google Earth).

nerali femici ad elevato peso specifico e quindi abbastanza diverso da quello dalla cava di estrazione. Quest'ultimo, infatti, ha sì livelli a elevata concentrazione di minerali femici, ma nella maggior parte del sedimento è la frazione sialica (minerali a basso peso specifico, ad esempio il quarzo) a prevalere (Rapporto Beachmed, 2004).

La valutazione estetico - visiva: il metodo delle preferenze visive

Il metodo delle preferenze visive stima il valore di un paesaggio tramite la rilevazione del giudizio che il fruitore può avere nei confronti della bellezza, amenità, godibilità visiva del paesaggio. Per poter effettuare la stima occorre prima di tutto definire esattamente i paesaggi da valutare, ossia, nel nostro caso definire le tecniche di



Figura 2 -Le cinque tecniche di difesa mostrate agli intervistati (1. fonte: Provincia di Livorno; 2. fonte: www.beachmed.it; 4. fonte: www.delos.unibo.it; 5. fonte: Studi costieri 10).

difesa facilmente riconoscibili ed identificabili; ad ogni tecnica di difesa corrisponde un valore paesaggistico definito da un punteggio che nasce da interviste che permettono di stabilire una graduatoria ordinale dei paesaggi offerti dalle varie tecniche di difesa, dal più gradito al meno apprezzato. La procedura messa a punto in questo lavoro si articola in due fasi: la prima incentrata sull'analisi del gradimento estetico secondo le tecniche dello SBE (Scenic Beauty Estimation) e la seconda tramite le preferenze visive.

Il livello di gradimento delle tecniche di difesa della costa è stato valutato attraverso interviste (effettuate nel mese di giugno - luglio 2007) durante le quali ad ogni intervistato è stato mostrato un fotomontaggio di 5 foto (Fig. 2) con le principali tecniche di difesa costiera. Le domande che sono state poste sono le seguenti:

1. *La spiaggia può essere protetta dall'erosione con differenti tecniche. Quali di queste tecniche preferisce? Attribuisca un voto da 1 (molto brutto) a 5 (molto bello) ad ogni foto.*
2. *Preferisce una spiaggia di sabbia fine, sabbia grossolana, ghiaia o ciottoli?*
3. *Il colore della sabbia usata per il ripascimento deve essere chiaro o scuro?*

Per ciò che riguarda la tipologia dei sistemi di difesa costiera, circa il 50% degli intervistati è risultato favorevole alla presenza di una struttura rigida (il 16% barriere distaccate emerse, il 14% pennelli, il 11% intervento misto, il 9% ripascimento protetto da pennelli) poiché sinonimo di durabilità e maggior efficacia per la difesa costiera. In ogni modo il restante 50% preferisce un'opera morbida pura (ripascimento non protetto) soprattutto per ragioni legate alla bellezza ambientale e alle attività ricreative. Per quanto concerne la tipologia del materiale impiegato circa il 70% degli utenti preferisce sabbia fine e il 79% chiara, solo il 21% sabbia scura, simile a quella presente originariamente sulla spiaggia di Ladispoli. Circa il 18% gradisce sabbia grossolana e solo il 12% ghiaia.

Si è poi passati alla valutazione estetico - visiva vera e propria; a tal proposito per ogni tecnica mostrata si è proceduto all'analisi dei punteggi ottenuti dalle singole interviste in modo da definire la preferenza dell'intero campione. L'analisi è avvenuta mediante il calcolo di un indice definito Scenic Beauty Estimation (modello proposto da Daniel e Boster, 1976). Nel modello la "bellezza scenica" è rappresentata da una serie di valori che derivano da giudizi, espressi tramite una scala numerica da un certo numero d'osservatori. Il risultato fornisce un indice quantitativo della bellezza scenica percepita dall'osservatore ottenuto tramite la seguente procedura:

1. richiesta di attribuire un valore p_{ij} variabile da 1 a t per ognuna delle n foto scattate nel sito;
2. calcolo del saggio di frequenza f_{ij} di ogni punteggio ottenuto dividendo il numero di volte " n_{ij} " in cui il paesaggio in questione ha ricevuto il punteggio " p_{ij} " per il numero totale di foto " n_j ", tramite la formula:

$$F_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_j} \quad \text{con} \quad n_j = \sum n_{ij}$$

3. calcolo per ogni p_{ij} del saggio cumulato di frequenza c_{ij} ;
4. calcolo del punteggio " z_{ij} " corrispondente ad una frequenza cumulata pari a c_{ij} ;
5. calcolo della media dei punteggi ottenuti: $z_j = \sum z_{ij} / t-1$;
6. calcolo di SBE_j nel seguente modo: $SBE_j = z_j - z_r$ con z_r = valore medio dei punteggi z di un sito paesaggistico di riferimento per il quale $SBE = 0$.

In seguito gli stessi dati sono stati utilizzati per calcolare l'indice di gradimento; in pratica l'ordine di preferenza delle difese per l'intero campione. A tal fine sono state calcolate, per ogni foto, la media e la varianza delle valutazioni: assumendo i valori medi come indice di preferenza è possibile ordinare le difese dalle preferite alle meno gradite. I risultati evidenziano la sostanziale coincidenza tra i due metodi (Fig. 3); le difese risultate maggiormente favorite sono: ripascimento morbido, ripascimento protetto da pennelli trasversali e intervento misto.

L'analisi costi - benefici

È una metodologia di analisi utilizzata per prevedere gli effetti di un investimento al fine di verificare se, con la realizzazione dello stesso, la collettività ottenga un beneficio o un costo netto. L'analisi costi-benefici consente di scegliere, tra diversi progetti alternativi, quello che rende massima la differenza tra la situazione attuale e quella che deriva dalla realizzazione del progetto, in termini di benefici e costi. Nell'ambito dell'analisi costi-benefici vi sono degli indicatori detti di "redditività" utilizzati come criterio di accettazione o meno del progetto: VAN (Valore Attuale Netto), RBCA (Rapporto Benefici Costi Attualizzati) e TIR (Tasso Interno di Rendimento):

$$VAN = \sum_{i=1}^n \left[\frac{B_{ci} - B_{si}}{(1+r)^i} \right] - \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_{ci} - C_{si}}{(1+r)^i} \right] \geq 0$$

$$RBCA = \frac{\sum_{i=1}^n B_{na}}{\sum_{i=1}^n C_{na}} \geq 1$$

$$TIR = r^*, \text{ per } VAN = \sum_{i=1}^n \left[\frac{B_{ci} - B_{si}}{(1+r)^i} \right] - \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_{ci} - C_{si}}{(1+r)^i} \right] = 0$$

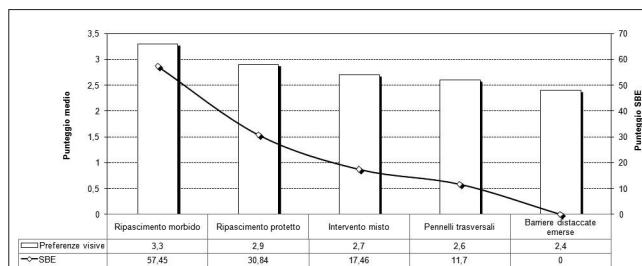


Figura 3 - Graduatoria delle difese sulla base della valutazione estetico - visiva.

Il Valore Attuale Netto è la somma dei saldi dei flussi di cassa attualizzati tramite un opportuno tasso di sconto e misura il valore scontato dei flussi netti generati dall'investimento. Un VAN maggiore di zero indica che il progetto genera un beneficio netto e rappresenta una buona misura del valore aggiuntivo creato dall'intervento.

Nella fase di ordine di convenienza dei progetti alternativi (opere rigide, rinascimenti, o entrambe le azioni), la scelta verterà sul progetto che presenta il VAN più elevato. Il rapporto Benefici Costi Attualizzati fornisce il numero di unità monetarie di benefici attualizzati generato da ogni unità monetaria di costi attualizzati. Questo indicatore indica la capacità di ogni progetto di remunerare l'investimento iniziale, l'indicatore sembra preferibile al VAN quando si debbano comparare fra di loro progetti alternativi. L'ultimo indicatore il TIR è frequentemente utilizzato come criterio per l'ordinamento dei progetti d'investimento. Esso rappresenta quel valore del saggio di sconto che attribuirebbe all'investimento un VAN pari a zero. Nel paragonare due progetti alternativi, quindi, quello avente un TIR più elevato può essere considerato superiore dal punto di vista di redditività economica. Questo indicatore può essere utile come integrazione a quelli precedentemente esaminati. Nella scelta degli indicatori, deve essere tenuto in considerazione che il VAN è efficace per descrivere un singolo progetto, esso inoltre non fornisce esplicitamente tutti gli aspetti marginali del progetto che, tuttavia, possono essere catturati utilizzando il TIR e il RBCA. Data la natura degli scenari ipotizzati, sembra opportuno l'utilizzo di tutti e tre gli indicatori esaminati, ed attuare la scelta comparando le informazioni che essi forniscono (Autorità di Bacino del fiume Tevere, 2004).

Dove B e C rappresentano i benefici e i costi rispettivamente sia con intervento che senza intervento, i è il tempo, ed r è il saggio di sconto considerato.

Nel caso della stima degli interventi finalizzati alla difesa e al mantenimento della linea di costa, s'individua una funzione che mette in rapporto l'erosione al suo costo sociale misurato in termini monetari. Le linee guida da seguire (Autorità di Bacino del fiume Tevere, 2004) per impostare l'analisi sono state:

1. nota l'entità dell'erosione, si determina la "quantità di costa" sottratta entro un determinato periodo di tempo, pari alla vita progettuale degli interventi previsti, qualora nessuna azione venga intrapresa;
2. si stimano gli impatti in unità fisiche, cioè si determina l'influenza della riduzione della linea di costa con l'impatto sui ricettori diretti (ad esempio l'impatto sulle infrastrutture) ed indiretti (ad esempio variazione del flusso turistico);
3. si trasformano le unità fisiche in unità monetarie, cioè si valuta l'onere in termini monetari (ex ante) che verrebbe a sostenere la collettività interessata a causa della riduzione di un determinato tratto della linea di costa;
4. si calcolano i costi e i benefici (ex post) derivanti dall'intervento o dai progetti proposti (diretti ed indiretti);
5. gli impatti in termini monetari vanno distribuiti nel tempo in termini di flusso di valori (cash-flow), esplicitando quali costi o benefici si presentano annualmente lungo tutto il periodo di considerato;
6. elaborazione al netto, ossia come differenza tra la situazione con e senza l'intervento per ogni unità di tempo considerato.

Tra le tipologie d'intervento suggerite, sono risultati di particolare interesse i ripascimenti di sabbia sia di tipo morbido o puro (in assenza di strutture di protezione) che di tipo rigido (protetti da scogliere longitudinali o da pennelli trasversali alla spiaggia). La verifica relativa alla realizzabilità di questi sistemi di difesa dall'erosione è avvenuta attraverso lo sviluppo dell'analisi costi – benefici, nella quale sono confrontati questi tre tipi di tecniche con l'ipotesi nulla, cioè senza alcun intervento. Di queste situazioni sono stati elaborati tre scenari sperimentali che costituiscono il nostro modello valutativo. Di seguito si riporta una rapida analisi dei tre scenari scelti come modelli di confronto in questo studio. Per eseguire il confronto, per tutte le tipologie è stata assunta una lunghezza standard del litorale da difendere pari a 1 km, e per tutti e tre gli scenari l'ipotesi di base (ex ante) a confronto, consiste nel rilevare un'entità progressivamente ridotta dei benefici a causa del ridursi della spiaggia, che comporta, però, alcuni interventi di consolidamento (come difese aderenti e radenti), laddove l'erosione impatta sugli edifici ed infrastrutture. Gli effetti di tale analisi sono considerati per i 3 scenari parimente nell'arco di 25 anni, periodo ritenuto generalmente sufficiente per la valutazione di opere di grande impegno.

Scenario 1: Ripascimento puro

Secondo quanto riportato nel 3 Quaderno del progetto Beachmed, *consiste nel versamento di sabbia lungo il litorale in quantità tali da fornire un contributo positivo sul bilancio solido litoraneo, determinando un ampliamento artificiale della fascia litoranea da lasciar progressivamente erodere.*

Nel nostro modello basato sui dati Beachmed, nel quale si analizza la situazione di “non – intervento” con questa d'intervento, durante il primo anno sono scaricati sulla spiaggia 450.000 m³ di sabbia e poi, a più riprese, 120.000 m³ durante il secondo anno e negli anni successivi 40.000 m³ per mantenere la linea di riva costante nel tempo. In assenza di strutture rigide si è stimato che un ripascimento è soggetto a perdite dell'ordine di 120,00 m³/m/anno durante il primo anno d'esercizio e 20,00 m³/m/anno negli anni successivi. Questa tecnica ha bisogno di un impiego di risorse iniziali limitate e maggiori costi di manutenzione per ripascere quanto esportato dal mare (Beachmed, 2004).

Scenario 2: Ripascimento protetto da 3 pennelli trasversali

Queste strutture, trasversali alla linea di riva, hanno una lunghezza di 150 m, sono poste a circa 300 m l'una dall'altra e raggiungono profondità di 3 m s.l.m. con una quota in sommità di +0,5 m s.l.m. Anche in questo caso il volume di sabbia di ripascimento è di circa 450.000 m³; le perdite, stimate secondo i risultati ottenuti da modelli numerici, risultano dell'ordine di 36 m³/m/anno durante il primo anno d'esercizio e di 15 m³/m/anno negli anni successivi. Nel nostro modello sono previste ricariche manutentive ogni 4 anni con 120.000 m³ di sabbia. Le opere rigide sono realizzate in massi naturali e la distanza media della cava è di circa 60 km. Il volume totale dei massi impiegati per la loro realizzazione è di 9.000 m³. Anche in questo caso si mettono a confronto due situazioni, una senza intervento e una con intervento (Beachmed, 2004).

Scenario 3: Intervento misto: ripascimento, 3 pennelli e 1 barriera sommersa

Il versamento di sabbia è protetto da una scogliera sommersa parallela alla linea di riva e distante da essa 150 m, lunga 1.000 m, larga in sommità 30 m e profondità della berma 1 m s.l.m.. I tre pennelli sono lunghi 250 m (di cui 160 m tratto emergente e 90 m il tratto sommerso) e distanti tra loro 300 m, quota di sommità +0,5 m s.l.m. e larghi in sommità 4 m. Mentre la barriera sommersa ha come obiettivo di far frangere l'onda sulla berma della struttura per dissipare l'energia del moto ondoso e creare le condizioni per una spiaggia artificiale, i pennelli hanno una funzione di contenimento dei sedimenti trasportati dalle correnti longitudinali. Le opere rigide sono realizzate in massi naturali e la distanza media della cava è di circa 60 km; in totale sono stati utilizzati 22500 m³ di massi per la costruzione di pennelli e 172500 m³ per la barriera sommersa. È prevista una diminuzione del volume di sabbia dell'ordine all'incirca del 30% rispetto al caso di ripascimento morbido. Si considerano quindi apporti iniziali di sabbia di circa 315.000 m³ con ricariche manutentive ogni 5 anni con apporto minore di sabbia dell'ordine di 120.000 m³. Si è stimata una perdita dell'ordine di 25,00 m³/m/anno durante il primo anno d'esercizio e di 4,00 m³/m/anno negli anni successivi (Beachmed, 2004).

Risultati

L'esame dei diversi scenari previsti consente la comprensione degli effetti dei progetti descritti per lo studio della loro fattibilità. Di seguito sono esposti i risultati per i tre scenari esprimibili attraverso i criteri d'accetta-

zione del progetto: VAN (Valore Attuale Netto), RBCA (Rapporto Benefici Costi Attualizzati) e TIR (Tasso Interno di Rendimento). Su un tratto di litorale lungo 1 km, ipotizzando che la vita media di un'opera di difesa sia di 25 anni, l'investimento economicamente più conveniente risulta il ripascimento protetto da pennelli trasversali e da barriere sommerse (scenario 3), mentre appare economicamente più gravoso il ripascimento non protetto ovvero morbido (scenario 1). Di seguito si riporta la tabella del confronto dei VAN, RBCA e TIR, ottenuti ipotizzando un costo unitario della sabbia da cava marina (senza IVA) di 7,00 €/m³ (Rapporto Beachmed, 2004) ed un tasso di attualizzazione del 3% (Tab. 1).

Scenari	Descrizione dell'opera	VAN M€	RBCA	TIR
1	Ripascimento morbido	6,4	2,1	20%
2	Ripascimento protetto da pennelli	4,5	2,3	23%
3	Intervento misto	8,3	4,1	28%

Tabella 1 - Risultati dell'ACB per i 3 scenari in base ai criteri di accettazione del progetto.

Per quanto riguarda il ripascimento morbido dal punto di vista fisico e per il nostro modello valutativo, gli effetti della tecnica sono molto dispendiosi in termini di sabbia per la mancanza di difese rigide. Questa tecnica può essere iscritta nella categoria dei progetti di tipo CICO (Continuos Input – Continuos Output) in quanto c'è un versamento iniziale di sabbia poi erosa e ogni anno si ha il mantenimento della spiaggia con un quantitativo minore di sabbia. Il VAN relativo alla dinamica dei differenziali della situazione senza e con progetto è positivo e pari a 6.4 M€; il rapporto benefici costi attualizzati è maggiore di 1, mentre il TIR si autodetermina intorno al 20%. Il ripascimento protetto da pennelli trasversali risulta del tipo PICO (Point Input – Continuos Output) perchè all'inizio, pur non avendo un forte costo iniziale con le difese rigide, resta pur sempre un forte impiego di sabbia con frequenti ripascimenti manutentivi (ogni 4 anni) di 120.000 m³ di sabbia a fronte di 450.000 m³ iniziali. L'intervento misto con barriera sommersa, pennelli e ripascimento risulta economicamente più oneroso rispetto agli altri due per quanto riguarda la componente rigida, mentre il quantitativo di sabbia versato la prima volta (proprio grazie alla posa di pietrame) sarà inferiore (315.000 m³) così come le ricariche successive, effettuate ogni 5 anni (120.000 m³). Anche questo intervento è di tipo PICO perchè se pur minore è l'apporto continuo di sabbia, maggiore è l'apporto di pietra all'inizio. A seguito dell'analisi effettuata, però, con l'aggiunta dei benefici estetici il progetto economicamente più conveniente diviene il ripascimento morbido, prima scelta nella scala di preferenza (Tab. 2).

Scenari	Descrizione dell'opera	Benefici estetici	VAN M€	RBCA
1	Ripascimento morbido	10 %	7,5	2,3
2	Ripascimento protetto da pennelli	5 %	4,8	2,4
3	Intervento misto	0 %	8,3	4,1

Tabella 2 - Risultati dell'ACB per i 3 scenari con l'aggiunta dei benefici estetici (ipotesi 1).

Conclusioni

Dal confronto dei 3 scenari in termini di opere realizzate e di impatto estetico si nota come la situazione cambi nel momento in cui l'effetto estetico impatta sulla dinamica costi – benefici e questo dipende dall'attribuzione di valore all'effetto estetico. E' questo l'aspetto più critico e deve essere affinato secondo metodologie del tipo Contingent Valuation (CV), Hedonic Price (HP) e Benefit Transfer (BT). La CV è un approccio che richiede che gli individui esprimano le proprie preferenze verso determinate risorse ambientali, o loro variazioni (come nel caso dell'erosione costiera), rispondendo a domande riguardo a proprie ipotetiche scelte. Cioè si chiede agli individui quanto sono disposti a pagare per ottenere un beneficio o contenere o eliminare una perdita (arretramento della linea di costa). L'indagine deve avvenire con una serie di domande in cui gli intervistati dichiarano la loro disponibilità a pagare nel caso esistesse un mercato del bene (in questo caso il bene è la fascia di costa sottoposta ad erosione). Con il HP si attribuisce un prezzo ad un bene ambientale esaminando l'effetto che esso esercita su un dato bene di mercato. Esso presenta il vantaggio di una discreta possibilità d'applicazione, non essendo legato tanto alla misura del servizio ricreativo quanto a quello paesaggistico. Infine il benefit transfer (BT) è utilizzato per stimare il valore economico dei servizi ambientali mediante il

trasferimento delle informazioni ottenibili da studi già completati ad altri siti e/o contesti.

La modulazione degli effetti con parametrizzazione di variabili strategiche sull'attualizzazione ha messo in evidenza che i benefici estetici non compensano l'effetto finanziario, che ai saggi più alti ribalta la preferibilità dello scenario 1 (ripascimento morbido). In tutti e tre i casi sottoposti a confronto, pone qualche preoccupazione l'enorme dispendio di sabbia, prelevata da cave sottomarine e consapevolmente destinata a perdersi, che deve essere spesa in misura diversa tra le tre tecniche; su questo punto sono quattro le domande che ci poniamo: ce ne è abbastanza da soddisfare la domanda iniziale e quella ripetuta? Tutta la sabbia è disponibile nelle tipologie granulometriche opportune? Se così fosse tale prelievo non porta a generare un forte impatto ambientale? È accettabile spendere così tanto, pur sapendo che la sabbia a breve verrà di nuovo dispersa in mare? Per contenere i volumi di sabbia necessari si ritiene opportuno orientare gli interventi verso tipologie miste, che comprendano versamenti di sabbia e opere di difesa "rigide", ma queste sono meno gradite. La situazione, quindi, può cambiare al momento in cui l'effetto estetico impatta sulla dinamica benefici – costi. Per ora si è trattato di una componente incrementale suggerita dall'apprezzamento estetico richiesto agli intervistati, ma quantificato monetariamente in termini arbitrari. Si ritiene essenziale pervenire ad una monetizzazione più "solida", con metodologie più rigorose per inserire la componente estetica, se necessario ricorrendo all'analisi multicriteriale nelle scelte d'investimento.

A questo punto sono due i dubbi che sorgono: se è corretto effettuare queste difese a vantaggio di alcune imprese (stabilimenti balneari) senza chiamarle a contribuire in maniera diretta e responsabile. O se sono solo le imprese a trarne beneficio. I costi della sabbia considerati attualmente sono diversi da quelli noti nel resto d'Europa (si parla di appena 2,00 €/m³). Ci si chiede allora se creandosi volumi di domanda così elevati, non si andrebbero anche a generare economie di scala e maggior concorrenzialità.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Prof. Lorenzo Venzi per l'aiuto dato nella ricerca.

Bibliografia

- Autorità di bacino del fiume Tevere (2004) - *Linee guida per la realizzazione del sistema a supporto delle decisioni della fascia costiera compresa tra Ruderi di S.Nicola e Capo d'Anzio*. Alegato Tecnico.
- Borra D, Mattalia A. (1994) - *Il metodo delle preferenze visive nella valutazione del paesaggio forestale*, Genio Rurale, N.1: 60-68.
- Daniel T.C., Boster R.S. (1976) - *Measuring landscape esthetics: the scenic beauty estimation method*, USDA Forest, pp. 1-63.
- De Angelis G., Venzi L. (2006) - *Coast protection from erosion: a socio-economic analysis of beach nourishment (the case of Ladispoli beach)*, in Atti della 2nd international Conference on the Management of coastal recreational resources beaches, yacht marinas and coastal ecotourism, 25-27 October, Gozo - Malta, pp. 35-47.
- GNRAC (2006) - *Lo stato dei litorali italiani*. Studi Costieri, 10: 107-112.
- Marzetti Dall'Aste Brandolini S. (1998 - 2002) - *Preferences about different kinds of defense structures and beach materials: the Italian case - studies of Lido di Dante, Ostia and Pellestrina island*, DELOS Project - Final report, www.delos.unibo.it
- McLaughlin S., McKenna J., Cooper J.A.G. (2002) - *Socio economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities*, Journal of coastal research, special issue 36: 487-497.
- MESSINA project (2005) - *Socio-economic methods for evaluating decisions in coastal erosion management - State of the art*, Component 3, www.interreg-messina.org/publications.htm.
- Polame P., Marzetti S., Van der Veen A. (2005) - *Economic and social demands for coastal protection*, Coastal engineering, 52: 819-840.
- Progetto Beachmed Rapporto Finale*, 2004, pp. 248-261.

Ricevuto il 12/10/2010, accettato il 23/3/2011.

Stima delle accuratezze spaziali delle morfologie estratte da video-monitoraggio: il caso della stazione Torre del Sole (Lazio, Terracina)

Luca Parlareco

Scuola di Dottorato in Scienze della Terra, Università di Ferrara, Via Saragat, 1 - 44100 Ferrara.

Riassunto

Nell'ambito di un dottorato di ricerca in Scienze della Terra presso l'Università di Ferrara è stata analizzata la risposta di un tratto di litorale sabbioso (Terracina, Lazio) ad un intervento di ripascimento tramite l'utilizzo di dati di video-monitoraggio. Dalle foto rettificate sono stati estratti due indicatori della morfologia di spiaggia, ovvero il posizionamento della frangenza a riva e sulle barre sommerse. La variabilità morfologica di questi due indicatori è stata analizzata su un tratto di circa 1000m di litorale per un periodo di 34 mesi, da Gennaio 2008 ad Ottobre 2010.

Nella presente nota si presenteranno le metodiche utilizzate per valutare l'attendibilità morfologica degli indicatori estratti dalle immagini video, e quindi le incertezze del posizionamento planimetrico delle morfologie utili ad una corretta interpretazione della loro variabilità in senso cross-shore.

Parole chiave: barre, linea di riva, altezza d'onda, frangimento, dissipazione energetica.

Abstract

During a PhD project at the Ferrara University the response to beach face nourishment at the barred beach of Terracina (Tyrrhenian sea, Italy) was analysed. This study was based on a dataset of time-exposure video-images collected during a 34-month period (january 2008 - october 2010). Proxies for shoreline and sandbar crest positions were extracted from video-images and compared with measurements from topographic and bathymetric surveys. The morphologic variability of these two proxies was analysed along a 1000 m long beach section. In the present note the methods used to asses the morphologic representativeness of video-morphologies are presented.

Keywords: bars, shoreline, wave height, wave breaking, wave energy dissipation.

Introduzione

Il video-monitoraggio rappresenta un potente strumento per monitorare l'evoluzione delle spiagge, permettendo un'osservazione con elevata frequenza temporale, per lunghi periodi e con elevate risoluzioni spaziali. Il video-monitoraggio utilizza un sistema di video-camere, che opportunamente posizionate, permette un'osservazione continua di estese porzioni di litorale anche, e soprattutto, durante gli eventi di mareggiata. Il concetto alla base di questa tecnica è l'interpretazione quantitativa dei dati video acquisiti, dove la foto, a seguito di opportune elaborazioni (Holland et al., 1997), costituisce una rappresentazione in scala dello spazio circostante.

Con l'obiettivo di monitorare l'evoluzione post-ripascimento del litorale di Terracina (LT), la Regione Lazio ha commissionato l'installazione di un sistema di video monitoraggio alla SVM s.r.l.. In data 18 Giugno 2007, sul tetto dell'albergo Torre del Sole, presso il lungomare di Terracina (Latina), è stata installata una stazione di video monitoraggio costituita da due fotocamere che guardano (quasi) ininterrottamente 180° di litorale. Tale sistema è analogo a quello installato presso Igea Marina (Ravenna) nel 2006 (Archetti et al.,

2008; Archetti e Zanuttigh, 2010). Le immagini fornite dalla stazione sono di due tipi, snapshot e timex. La prima rappresenta una semplice foto della spiaggia, mentre la seconda rappresenta il dato con maggiore potenzialità nel fornire informazioni di tipo morfologico, ovvero un'immagine media costruita su 10 minuti di registrazione. Da questa immagine si può identificare, pertanto, la posizione di elementi costieri connessi (più o meno direttamente) alla dinamica del moto ondoso quali, la posizione della frangenza a riva e sulle barre sommerse. Queste identificazioni sono rese possibili dalla presenza nella foto di bande ad alta luminosità (chiare) che si formano durante l'intervallo di media temporale in corrispondenza delle zone di frangimento.

La stretta dipendenza di tali video-morfologie con le condizioni meteo-marine agenti al momento dello scatto rende l'interpretazione morfologica di tali dati molto complessa, soprattutto in funzione di una confrontabilità tra video-morfologie ottenute in diverse condizioni mareali e di altezza d'onda (H_s). Per tale motivo, di seguito si presentano le metodiche utilizzate per vincolare l'interpretazione morfologica delle video-morfologie estratte nel sito di studio durante un intervallo temporale di 34 mesi.

Struttura dei rilievi topografici di controllo

A partire dal Novembre 2008 sono stati eseguiti una serie di campagne topo-batimetriche per monitorare l'evoluzione morfologica della porzione di spiaggia ripasciuta e contestualmente calibrare tutte le informazioni video-morfologiche ottenibili dal sistema di Torre del Sole.

La struttura del campionamento topografico è stata vincolata dalla necessità di calibrare le potenzialità del monitoraggio tramite video, a tale scopo la scelta di una adeguata spaziatura dei transetti di misura pregiudicava sia la risoluzione spaziale minima delle morfologie di spiaggia, sia le procedure di interpolazione dei dati acquisiti. Per il primo motivo è stata definita una maglia di campionamento regolarmente spaziata lungo costa, con transetti perpendicolari alla direzione media del paraggio in esame e distanziati ogni 25m. Lo step di acquisizione dei punti lungo i transetti è stata di circa 2.5 m. Sono stati eseguiti 14 rilievi topografici da Marzo 2009 ad Aprile 2010 lungo una porzione di circa 1000 m per coprire una distanza media di 700m dalla stazione di video monitoraggio. Secondariamente, una maglia di campionamento fittamente e regolarmente distribuita nello spazio ha fornito una ottimizzazione degli errori di interpolazione, e quindi è stato possibile utilizzare un'interpolazione di tipo lineare che assicurasse la minore deviazione tra dato registrato e dato interpolato. L'analisi dell'evoluzione batimetrica è stata eseguita tramite 5 rilievi eseguiti fino alla profondità di 5 m. Differentemente dai rilievi topografici non è stato possibile acquisire i dati batimetrici né con una cadenza temporale regolare, né con una maglia di campionamento ben definita. In generale è stata assicurata una griglia di campionamento con transetti perpendicolari a costa spaziati ogni

50 m per un intervallo di litorale che comprendesse almeno 500 m del tratto ripasciuto.

Contestualmente sono stati eseguiti una serie di rilievi mirati alla misura di particolari punti di controllo (Ground Control Point, GCP) utili sia per la procedura di rettifica delle foto, sia per analizzare le accuratezze e gli errori intrinseci nell'elaborazione delle immagini video.

Rappresentatività morfologica delle video-morfologie

L'analisi geomorfologica quantitativa è stata eseguita sulle foto rettificate secondo le metodiche classiche della fotogrammetria digitale terrestre. Successivamente le foto sono state campionate in funzione del valore di luminosità in prossimità della linea di riva e delle barre sommerse.

La rappresentatività morfologica delle informa-

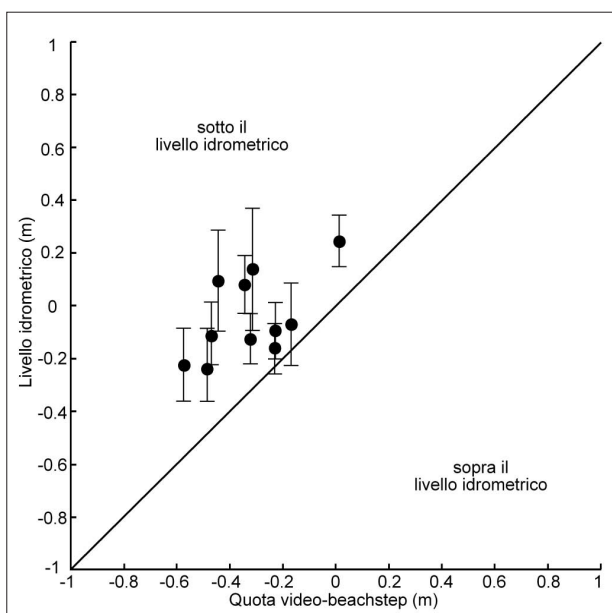


Figura 1 - Quota IGM della video-morfologia beach step e relative incertezze.

zioni estratte dalle immagini è stata valutata tramite il confronto con i dati topo/batimetrici acquisiti nel corso del 2009-2010, dei livelli idrometrici misurati dal mareografo di Gaeta e delle caratteristiche d'onda disponibili.

Frangimento a riva - Beach step

La linea di riva intesa come frangimento a riva (beach step) è stata estratta in maniera automatica campionando i picchi di intensità luminosa lungo costa. La significatività morfologica di questo proxy è stata analizzata in funzione della sua quota sul livello medio mare. Per ogni rilievo utile è stata interpolata la quota della video-morfologia ed è stata mediata lungo costa. Il valore ottenuto è stato paragonato alle quote idrometriche misurate al momento del rilievo topografico, e le deviazioni standard dovute al processo di media spaziale sono state inserite come barre di errore (Fig. 1). La relazione tra livello idrometrico e quota IGM dello beach step indica una chiara, e prevedibile, dipendenza del secondo dal primo. In particolare, il beach step si posiziona a quote IGM sempre inferiori del livello idrometrico.

Una relazione lineare ben definita, anche per il minimo numero di dati disponibili, non è tuttavia estrapolabile visto che il coefficiente di correlazione è di 0.3.

Frangenza sulle barre sommerse

In generale, la posizione della cresta di barra (x_c) fornisce la rappresentazione più compatta del comportamento di una barra (Plant et al., 2001). Quindi, molte ricerche si sono concentrate sull'analisi della posizione della cresta di barra (ad esempio Lippmann et al., 1993) e sulla sua variazione nel tempo (ad esempio Gallagher et al., 1998). Ulteriormente, altri parametri morfometrici del corpo di barra sono spesso staticamente relazionati alla posizione della cresta di barra (Ruessink e Kroon, 1994; Pruszek et al., 1997). Il sistema di video-monitoraggio utilizzato è in grado di visualizzare la morfologia sommersa tramite il posizionamento della zona di frangimento sulle barre sommerse mediato in dieci minuti (immagine timex). La posizione dal massimo valore di intensità (x_i) fornisce, pertanto, una buona indicazione della posizione planimetrica della cresta di barra (x_c).

Tipicamente, x_i devia da x_c di una distanza Δx ,

$$\Delta x = x_i - x_c \quad (1)$$

Δx è dell'ordine della decina di metri e varia nel tempo e lungo costa in funzione dell'altezza d'onda H_s , del livello idrometrico η e della batimetria stessa (van Enckevort e Ruessink, 2001)

$$\Delta x = f(H_s, \eta, \text{batimetrie}) \quad (2)$$

Questa dipendenza è facilmente intuibile, visto che il posizionamento della frangenza sulle barre è funzione della batimetria, della profondità e dell'altezza d'onda.

E' stata condotta un'analisi simile sul data-set a disposizione, limitando però la valutazione di Δx in funzione della sola altezza d'onda H_s

$$\Delta x = f(H_s) \quad (3)$$

Tale semplificazione è stata vincolata sia dalla natura e tipologia di dati a disposizione, sia da alcune considerazioni di tipo oceanografico. Il valore di η assume un'informazione differente in funzione della localizzazione della misura. Se tale parametro deve essere utilizzato per stimare la sua influenza sul processo di frangimento sulle barre deve, di fatto, essere comprensivo del livello del mare reale che, oltre alle quote delle creste d'onda, è funzione di surge, di wave set-up e di wind set-up. Il valore di η utilizzato nel presente lavoro deriva da una lettura mareografica all'interno di una struttura portuale (porto di Gaeta), di fatto non rappresentativa totalmente delle componenti sopra elencate. A discapito di tale limitazione strumentale, però, va ricordato il contesto oceanografico del Tirreno centro-meridionale, dove i livelli idrometrici eccezionalmente variano su ranges maggiori di 0.5 m. L'entità di tali variazioni, paragonata alla variazione di H_s durante le mareggiate ha una influenza molto modesta sul posizionamento delle zone di frangimento, che è sicuramente non confrontabile ai contesti costieri in cui i ranges mareali sono dell'ordine del metro. In ultimo, le H_s utilizzate rappresentano delle simulazioni numeriche, sebbene molto attendibili (Valentini et al., 2007), e non dei valori misurati.

L'influenza di H_s sul posizionamento planimetrico delle video-barre è stato computato in funzione degli assunti proposti da van Enckevort e Ruessink (2001), ovvero che gli elevati valori dell'intensità luminosa

nei pressi della zona di frangimento (x_i) corrispondano alla porzione di acqua turbolenta nei pressi del fronte d'onda, o roller. x_i approssimerebbe, pertanto, il posizionamento del picco dell'energia del roller, x_{Er} . La distribuzione cross-shore di Er è stata modellizzata utilizzando le equazioni per il bilancio energetico al frangimento (Stive e De Vriend, 1994)

$$\frac{d}{dx} \cdot (2Er \cdot c \cdot \cos\vartheta) = \frac{2g \cdot Er \cdot \sin\beta}{c} + Dbr \quad (4)$$

dove c rappresenta la velocità di fase dell'onda, ϑ la direzione dei fronti d'onda, β la pendenza del fronte d'onda e Dbr la dissipazione dell'energia al frangimento per la rottura dell'onda.

In questo modo è stata riscritta l'equazione 1 come

$$\Delta x = x_{Er} - xc \quad (5)$$

La dipendenza di Δx su H_s è stata investigata calcolando l'evoluzione della dissipazione energetica su alcuni profili misurati, e utilizzando i valori ondosi di input (Fig. 2).

All'aumentare di H_s la posizione cross-shore del picco di Er (x_{Er}) va a spostarsi verso mare rispetto il posizionamento della cresta di barra (xc). In particolare, per valori di H_s maggiori di ~ 1 m x_{Er} rimane costante poiché influenzato dall'aumento di profondità nel trogolo a tergo della barra. La relazione tra Δx e H_s sulla barra esterna è stata analizzata limitando la scelta delle H_s alle giornate in cui fosse realmente visibile dalle immagini il frangimento sulla barra esterna (Fig. 2).

Il picco della Er (x_{Er}) si posiziona sulla barra interna per valori di H_s minori di ~ 1.2 m, per valori maggiori la massima dissipazione del contenuto energetico a rottura (picco di Er) si concentra sulla barra esterna e

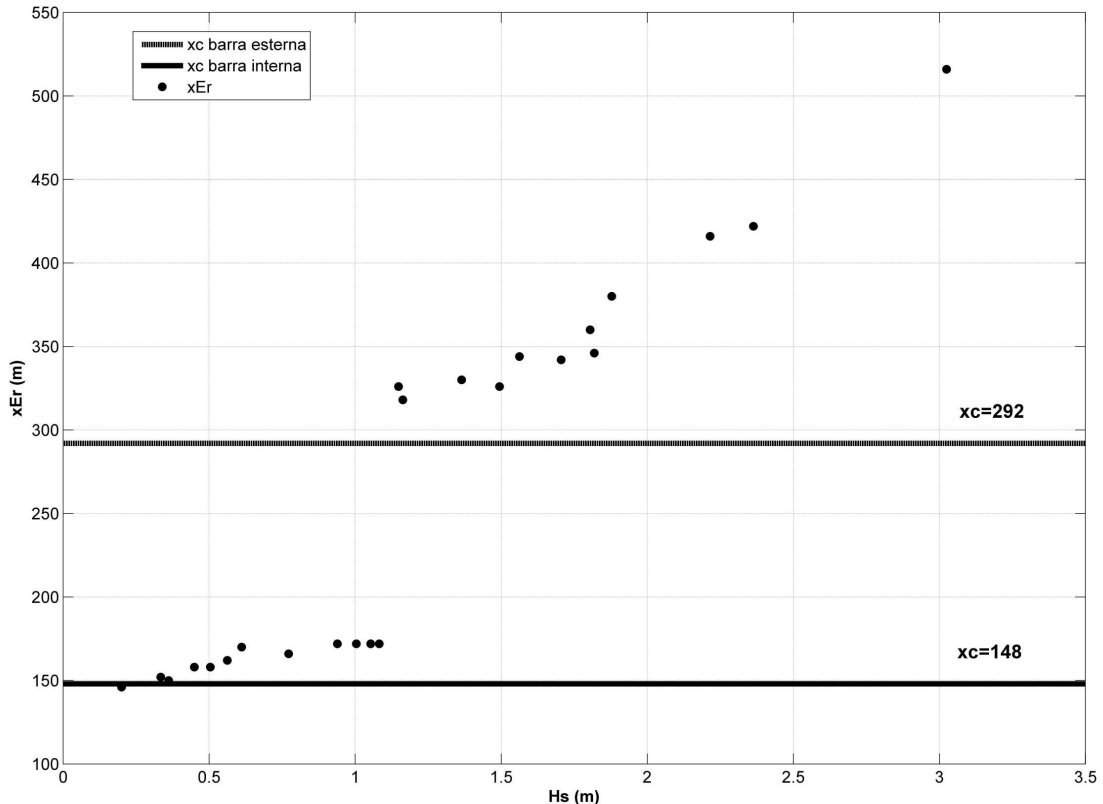


Figura 2 - Andamento di Δx sulla barra esterna in funzione di H_s . Xc rappresenta il posizionamento mediato lungo costa della barra interna (148m dalla baseline) e di quella esterna (292 m dalla baseline).

tende ad allontanarsi rispetto la posizione di x_c . Per valori di H_s compresi tra ~ 1.2 m e 2 m i massimi valori di Δx sono dell'ordine di 50 m (si veda eq. 2). Valori di H_s maggiori di 2m inducono dei Δx difficilmente paragonabili ai massimi valori di x_i osservati dalle foto (x_i max 320 m).

Conclusioni

La rappresentatività morfologica delle video morfologie estratte dalle foto è stata analizzata e comparata al dato topografico, batimetrico, ondametrico e mareale.

Il posizionamento dello beach step, indicando la zona di frangimento a riva, individua una porzione di spiaggia con quote sempre minori del corrispettivo livello mareale, posizionandosi verso mare rispetto lo zero IGM. Una valutazione dell'errore di posizionamento planimetrico dello beach step rispetto una riferimento altimetrico non è stato analizzato, anche se le osservazioni 2009-2010 indicano la persistenza di tali video-morfologie in determinate fasce altimetriche. Tale indicazione è comunque sempre vincolata alla variabilità nel tempo delle pendenze e delle granulometrie alla battigia.

Il posizionamento planimetrico delle video-barre è stato analizzato in funzione dell'altezza d'onda, ovvero è stata approssimato il posizionamento di x_i al posizionamento della massima dissipazione energetica per il frangimento. La dipendenza da H_s è ben evidente. Per altezze d'onda fino a ~ 1.1 m la differenza tra posizione della cresta di barra e la video-barra interna varia da 0 a 20m. All'aumentare di H_s tale off-set rimane costante. L'influenza di H_s sulla differenza di posizione tra cresta di barra esterna e video-barra esterna varia da 0 a 50m, per valori di H_s fino a 2m.

L'analisi dell'evoluzione morfologica delle barre, e quindi gli spostamenti cross-shore della cresta di barra, deve essere vincolata a tali soglie di indeterminanze (nel nostro caso 20m per la barra interna e 50m per la barra esterna) e movimenti minori di tali soglie devono essere considerati fittizi in quanto prodotti da uno spostamento dei frangenti sul corpo di barra, più che da uno spostamento dell'intero corpo di barra.

Bibliografia

- Archetti R., Schiaffino C. F., Ferrari M., Brignone M., Rihouey D. (2008) - *Video systems for the coastal monitoring*. In Beach Erosion Monitoring. Edited by Enzo Pranzini e Lilian Wetzel, Nuova Grafica Fiorentina. pp. 101-109.
- Archetti R. e Zanuttigh B. (2010) - *Integrated monitoring of the hydro-morphodynamics of a beach protected by low crested detached breakwaters*. Coastal Engineering, 57: 879-891.
- Gallagher E., Elgar L. S., e Guza R. T. (1998) - *Observations of sand bar evolution on a natural beach*. Journal of Geophysical Research, 103: 3203-3215.
- Holland K. T., Holman R., Lippmann T., Stanley J. e Plant N. (1997) - *Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies*. Journal of Oceanic Engineering, 22: 81-92.
- Lippmann T. C., Holman R. A. e Hathaway K. K. (1993) - *Episodic, nonstationary behavior of a two sand bar system at Duck*. Journal of Coastal Research, 15: 49-75.
- Plant N. G., Freilich M. H. e Holman R. A. (2001) - *Role of morphologic feedback in surf zone sandbar response*. Journal of Geophysical Research, 106: 973-989.
- Pruszk Z., Rozynski G. e Zeidler R. B. (1997) - *Statistical properties of multiple bars*. Coastal Engineering, 31: 263-280.
- Ruessink B. G. e Kroon A. (1994) - *The behaviour of a multiple bar system in the nearshore zone of Terschelling: 1965-1993*. Marine Geology, 121: 187-197.
- Stive M. J. F e De Vriend H. J. (1994) - *Shear stresses and mean flow in shoaling and breaking waves*. In: Proceedings Coastal Engineering'94, 594-608.
- Valentini A., Delli Passeri L., Paccagnella T., Patruno P., Marsigli C., Deserti M., Chiggiato J. e Tibaldi, S. (2007) - *The Sea State forecast system of ARPA-SIM*. Boll. Geof. Teor. Appl., 48 (3): 333-349.
- van Enckevort, I. M. J. e B. G. Ruessink (2001) - *Effects of hydrodynamics and bathymetry on video estimates of nearshore sandbar position*. Journal of Geophysical Research, 106: 16969-16979.

Ricerca di una metodologia per la definizione di una linea di costa sostenibile: esperienza nel tratto di litorale di Milano Marittima (Ravenna)

Sara Cortesi

Università di Ferrara. E-mail: sara.cortesi@student.unife.it

L'incremento degli interventi di ripascimento artificiale delle spiagge che si è registrato negli ultimi anni porta alla necessità di individuare metodologie innovative per la gestione dei sedimenti in grado di garantire una più duratura stabilizzazione dell'arenile e di sostenere le attività economiche-turistiche che gravitano sul sistema costa. Lo studio mira a definire una nuova strategia per il ripascimento della spiaggia cercando di integrare agli aspetti geomorfologici del litorale un esame socio-economico, incentrato sull'uso reale della spiaggia. Tale aspetto si basa sull'analisi della capacità di carico del litorale, una nuova metodologia, messa a punto dall'UNEP in particolare dal PAP/RAC per individuare come la risorsa spiaggia sia compatibile con lo sviluppo sostenibile. Quest'analisi associata ad uno studio sull'evoluzione del litorale ha permesso di definire una stima dell'ampiezza minima del litorale (con uno scenario previsionale al 2015) ed il fabbisogno strategico dei sedimenti. Lo studio è stato svolto nel tratto di litorale di Milano Marittima nord (in Provincia di Ravenna) caratterizzato da un elevato valore economico-sociale, sul quale si presentano molteplici problematiche erosive. Il litorale, che si estende per una lunghezza di circa 2,2 km, è sottoposto a periodici interventi di ripascimento in quanto è soggetto ad un'intensa erosione, innescata principalmente dalla presenza delle barriere parallele emerse di Lido di Savio, poste sopraflutto, che trattengono i sedimenti portati a mare dal fiume Savio. Lo studio geomorfologico condotto a partire dai rilievi topo-batimetrici disponibili, dal 1984 al 2006, ha confermato la criticità del litorale sul quale ogni anno vengono erosi in media 33.000 m³ di sedimenti. Per individuare quanto incide l'instabilità dell'arenile sugli utenti è stata condotta un'analisi sulla capacità di carico della spiaggia sia turistica che fisica. La capacità di carico turistica ha previsto la distribuzione di questionari, da luglio a settembre 2009, rivolti sia a turisti-residenti che agli operatori degli stabilimenti balneari. Dei primi ne sono stati raccolti 445 ed è emerso come la maggior parte degli utenti preferisca le spiagge libere attrezzate pur sostenendo una piccola spesa per i servizi (bagni, docce). L'ampiezza della spiaggia è percepita come adeguata per il 77% dei casi ma mettendola in relazione al grado di affollamento il criterio soggettivo cambia: negli stabilimenti, dove è presente affollamento, è percepita meno adeguata rispetto alla spiaggia libera, meno affollata. Dalle interviste realizzate agli operatori degli stabilimenti risulta che sono a conoscenza del fenomeno erosivo in quanto è evidente l'impatto economico sulla loro attività (10 metri erosi di spiaggia equivalgono a due file in meno di ombrelloni). Non sono a conoscenza della Gestione Integrata delle Zone Costiere e non sono soddisfatti degli interventi sulla costa da parte delle autorità locali e regionali, quindi ritengono utile la collaborazione tra enti pubblici e privati. Per calcolare la capacità di carico fisica è stata messa a punto una procedura, ricavata dalla letteratura (William Allan and Micallef Anton, 2009), in cui si suppone che l'area dedicata ad ogni ombrellone, occupato da due persone, sia pari a di 16 m². Valutando il calcolo delle persone presenti sulla spiaggia, a partire dal rilievo aerofotogrammetrico del 2005 (il più recente disponibile), si è cercato di determinare una stima delle presenze in eccesso in ogni stabilimento balneare. Dalla differenza fra il computo delle persone presenti calcolate dal conteggio del numero degli ombrelloni (10.484 persone) e dall'area dedicata ai bagnanti (9.912 persone) risulta un sovraffollamento su 31 stabilimenti dei 44 presenti. Nel complesso le persone in eccesso, sulla lunghezza di spiaggia adibita all'ombreggio, sono 572. Considerando che ogni persona occupa 8 m², si può calcolare la superficie necessaria alle persone in eccesso (Tab. 1), da cui si stima di dover apportare un'ampiezza media in più di 3 m, rispetto ai 52 m realmente presenti nel 2005. Per stimare l'ampiezza minima necessaria al 2015 è stato considerato lo studio evolutivo della linea di riva, tramite il programma Digital Shoreline Analysis System (sviluppato dall'USGS ed implementato in ArcMap) che ha permesso di valutare lo scostamento in metri tra due linee di costa. Dalla

Figura 1 si evidenzia un andamento della linea di costa che tende all'erosione dal 1943 al 1991 e dal 2003 al 2006. Mentre nell'intervallo di tempo dal 1994 al 2002 la linea di costa è avanzata grazie agli ingenti interventi di ripascimento.

Per effettuare una previsione futura al 2015, inerente lo spostamento della linea di riva, è stato preso in considerazione l'andamento da febbraio 2003 al 2006. In questo intervallo di tempo si registra un arretramento medio della linea di costa di circa 7 m, con una velocità media di 1,8 m/anno. Moltiplicando quest'ultimo risultato per nove anni, proiettando il tutto al 2015, si ottiene uno spostamento medio della linea di riva di -16 metri. È da tener presente che questo risultato non

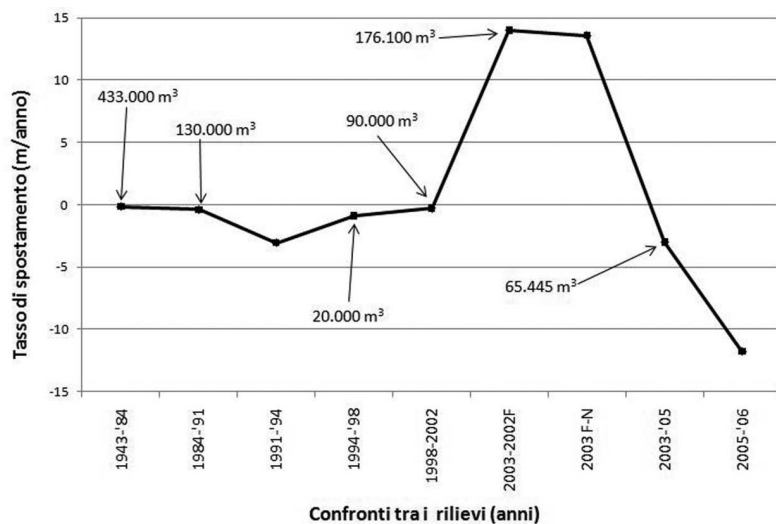


Figura 1 - Velocità medie di arretramento ed avanzamento del litorale desunte dai dati analizzati per l'intervallo 1943-2006. Per ogni intervallo di tempo è stato indicato l'apporto complessivo di materiale portato a ripascimento.

considera gli effetti degli eventuali interventi messi in opera per mitigare il fenomeno erosivo. Quindi nel 2015 l'ampiezza media dell'arenile sarebbe di 36 metri, sulla cui superficie le persone soddisfabili saranno circa 7.000. Ipotizzando però una crescita annua costante del turismo del +3,6% (Comune di Cervia) le presenze reali saranno 15.000 (5.000 in più rispetto al 2005). Risulta quindi un sovrappollamento di 8.000 persone,

a cui servirebbe un'ampiezza di 43 m in più rispetto a quella prevista dal trend evolutivo della linea di riva (Tab. 1).

Tabella 1 – Stime dell'ampiezza minima necessaria al 2005 ed al 2015 desunte dal calcolo dalla capacità di carico fisica; la stima previsionale considera l'ipotesi di un incremento del turismo del 3,6%.

Anni su cui vengono effettuate le stime	Area reale adibita ai bagnanti (m ²)	Lunghezza spiaggia (m)	Sovrappollamento (num. Persone)	Area necessaria alle persone in eccesso (m ²)	Ampiezza reale (m)	Apporto necessario all'area reale (m)	Ampiezza totale necessaria (m)
2005	80.000	1.500	572	4.576	52	3	55
2015	54.000	1.500	8.000	64.000	36	43	79

Per affrontare questa situazione si può presumere di dover apportare materiale, ai 36 m previsti, che consenta un ampliamento della spiaggia da un minimo di 18 metri (ipotizzando che il turismo resti costante nel tempo, pari al 2005) ad un massimo di 43 m (ipotizzando un incremento costante del turismo pari al 3,6%). Se il turismo rimane costante nel tempo, si possono effettuare interventi minimi, come: motivare gli utenti ad un utilizzo più omogeneo della spiaggia (attrezzando le spiagge libere con servizi minimi) e incentivare la partecipazione degli utenti ad attività alternative alla spiaggia (dal sondaggio risultano interessati). Ma contemplando un probabile aumento del turismo, stimato in un aumento di 5.000 persone rispetto al 2005, sarà necessario intervenire con apporti di materiale sabbioso. Oltre al quantitativo minimo necessario per contrastare l'erosione, che si stima in circa 33.000 m³/anno (perdita media annua, ricavata dal calcolo delle variazioni volumetriche dei sedimenti) sarà necessario intervenire con un'aggiunta di sedimenti di circa 50.000 m³ (stima ricavata dalla pendenza della spiaggia, pari al 2%). Sommando una limitata disponibilità dei sedimenti idonei al ripascimento che corrispondono ad un investimento annuo, solo di sabbia, di circa 360.000 Euro e calcolando un incremento del turismo, che comporterebbe un'ulteriore aggiunta di sabbia e, dunque, un incremento dell'investimento nasce un'importante sfida per i prossimi anni: mettere a regime le attività di ripascimento con la certezza dei finanziamenti e stabilire una reale collaborazione fra enti pubblici e privati (come stabilisce la GIZC), dove il 50% dei privati si è dichiarato disponibile a partecipare economicamente.

Sviluppo e validazione di un modello numerico bifase per lo studio dell'interazione onda-struttura

Maria Gabriella Gaeta

DICAM, Università di Bologna, Viale Risorgimento, 2 - 40136 Bologna
E-mail: g.gaeta@unibo.it

La valutazione dell'entità dell'impatto di un'onda su una struttura costiera impermeabile risulta di fondamentale importanza per le conseguenze indotte sulla stabilità e il danneggiamento dell'opera stessa: l'onda infatti all'impatto determina una forte pressione (o shock), elevata in intensità e breve in durata. Già Bagnold (1939) e più recentemente, tra gli altri, Oumeraci et al. (2001) conclusero sulla base di risultati sperimentali che l'entità di tale impatto è fortemente legata al contenuto di aria per il cosiddetto effetto cuscinetto e alla forma dell'onda frangente.

Diversi studi numerici su tale tematica sono presenti in letteratura (una dettagliata revisione è presente in Bredmose et al., 2009) dai quali emerge che i modelli numerici che consentono una accurata e più completa descrizione dell'idrodinamica, sia durante la propagazione dell'onda che al suo impatto con una struttura, risultano quelli di tipo wave resolving.

La presente nota descrive lo sviluppo e la validazione di un modello numerico bifase aria-acqua 2DV di tipo F-RANS caratterizzata da un nuovo modulo per il trattamento della comprimibilità dell'aria. Tale modello, chiamato COBRAS2, è stato sviluppato implementando il modello monofase COBRAS0 (Lin e Liu, 1998). Le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto per la miscela aria-acqua seguono la trattazione analitica formulata da Drew e Passman (1999) e sono state mediate secondo Favre-Reynolds mentre la comprimibilità dell'aria è stata sviluppata includendo nel set di equazioni costitutive del modello la legge adiabatica di un gas ideale, portando all'equazione di continuità nella forma:

$$\frac{\partial \varphi \cdot \bar{\rho}_w}{\partial t} + \varphi \cdot \bar{\rho}_w \frac{\partial \bar{u}_{m,i}}{\partial x_i} + \frac{\partial ((1-\varphi) \cdot \bar{\rho}_g)}{\partial t} + \frac{\partial ((1-\varphi) \bar{\rho}_g \cdot \bar{u}_{m,i})}{\partial x_i} = 0$$

con $\varphi(x,t)$ l'indicatore di fase, pari a 1 per l'acqua e a 0 per il gas, con $u_{m,i}$ l' i -esima componente della velocità media della miscela e ρ_w, ρ_g la densità dell'acqua e dell'aria rispettivamente.

L'aggiunta dell'effetto della comprimibilità dell'aria porta ad una modifica dell'equazione di pressione di Poisson (PPE):

$$\Delta t \nabla \cdot \left[\frac{1}{\rho_m^n} \nabla p^{n+1} \right] = - \left[\left(\nabla \cdot \mathbf{u}^{*n+1}_{m,i} \right) + \left[(1-\varphi^n) \cdot \frac{1}{\rho_m^n} \left(\frac{\rho_g^{n+1} - \rho_g^n}{\Delta t} + \mathbf{u}^{*n+1}_{m,i} \cdot \nabla \rho_a^n \right) \right] \right]$$

che, linearizzata, è risolta iterativamente usando il metodo del gradiente coniugato. Maggiori dettagli sulla modellazione della comprimibilità dell'aria e sulla risoluzione delle equazioni costitutive del modello possono essere trovati in Gaeta (2009).

Il modello è stato validato con la simulazione di un caso di laboratorio in cui sono state valutate le forze verticali generate da onde solitarie su un impalcato orizzontale (French, 1970). I risultati sperimentali sono stati confrontati con quelli numerici ottenuti usando il modello monofase COBRAS0 e i modelli bifase CO-

BRAS2 con e senza comprimibilità dell'aria. E' evidente da Figura 1 come la trattazione numerica dell'aria, con il proprio contributo inerziale, risulta essenziale per una riproduzione realistica delle forze di impatto, mentre quella della sua comprimibilità risulta in questo test non del tutto visibile.

Uno studio numerico sull'influenza della forma dei frangenti all'impatto su parete verticale ha inoltre evidenziato come il modello bifase ben riproduce l'evoluzione caratteristica, e ampiamente documentata in letteratura, delle forze di impatto.

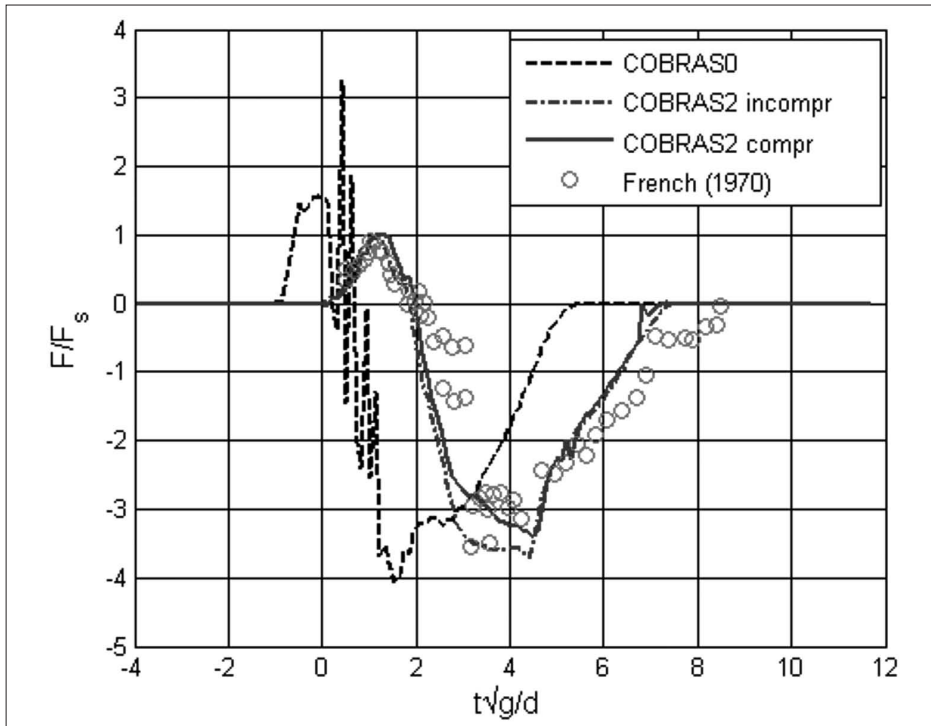


Figura 1 -Forza su impalcato orizzontale: confronto tra risultati numerici e dati di laboratorio di French (1970).

Si è anche verificato come la massima forza si osserva in presenza di un frangente di tipo plunging con aria intrappolata ed è proprio in queste simulazioni che la trattazione numerica dell'aria è risultata essenziale per evitare errori numerici del modello monofase. Infatti, l'implosione di una bolla di vuoto, anziché di aria, provoca un aumento notevole della pressione nell'acqua che non presenterebbe alcun significato fisico.

La modellazione numerica bifase è inoltre di supporto all'analisi sperimentale delle sollecitazioni ondose di tipo impulsivo applicate ai pontili, oggetto di un progetto Hydralab III (Martinelli et al., 2010) che ha posto particolare attenzione agli effetti scala dovuti alla comprimibilità dell'aria. Il modello bifase consente di ottenere una maggiore informazione sui processi idrodinamici che avvengono durante l'impatto dell'onda contro l'impalcato, evidenziando la formazione di vortici associati sia all'ingresso d'aria all'arrivo dell'onda che alla sua fuoriuscita per effetto dell'onda che passa sotto la struttura, il conseguente aumento di pressione nell'aria rimasta intrappolata per la presenza delle travature e il ruolo della comprimibilità nella valutazione quantitativa delle forze.

In conclusione, il contributo aggiuntivo della modellazione della comprimibilità dell'aria nella simulazione dell'impatto di onda è risultato in una più realistica rappresentazione dell'effetto cuscinetto dell'aria intrappolata e in una più accurata previsione numerica delle forze massime e quasi-statiche agenti sulle strutture e sarà oggetto di ulteriori considerazioni sugli effetti a grande scala della comprimibilità dell'aria.

Indagini sperimentali e numeriche per lo studio dell'interazione tra il moto ondoso e le condotte sottomarine

Matteo Mattioli

Dipartimento Idraulica Strade Ambiente e Chimica, Università Politecnica delle Marche
Via Breccie Bianche, 60131 Ancona, Italia, E-mail: matteomattioli13@hotmail.it.

Il costo associato ad una rottura o al collasso di una condotta sottomarina, se riferito alle riparazioni ad elevate profondità e alla perdita di produzione, è talmente elevato che è fondamentale valutare con attenzione tutte le possibili condizioni di carico e gli eventi incidentali che la condotta deve affrontare, durante il suo ciclo di vita. Quando una condotta viene installata sul fondale marino priva di protezione si genera: i) turbolenza, ii) una vorticità localizzata e, in funzione del tipo di forzante (onda e/o corrente), iii) un gradiente di pressione tra monte e valle. Questi effetti possono combinarsi tra loro, generando un'erosione localizzata (*scour*) sotto la struttura che, a sua volta, può svilupparsi lungo l'asse longitudinale generando una *free-span* (cioè la formazione di campate libere). Un evento di *free-span* anche per un certo periodo di tempo, può causare fenomeni di vibrazione e un accumulo di danno a fatica.

La leggi che descrivono il processo di *scour* risultano ancora ad oggi non complete. Una possibile ragione risiede nella complessa generazione di turbolenza tridimensionale attorno la condotta. Una via di analisi (oltre ai modelli fisici) ci viene fornita dalla modellistica numerica. Negli ultimi due decenni, due tipologie di modelli sono stati implementati, i primi riguardanti la teoria del moto potenziale, più recentemente si sono sviluppati modelli di tipo RANS e LES a cui vengono accoppiati dei modelli per il trasporto dei sedimenti.

Lo scopo di questa ricerca è quello di indagare la meccanica dello *scour* sia numericamente che sperimentalmente e promuove un'analisi di interazione condotta-suolo attraverso la dinamica locale dei sedimenti. Viene analizzata la turbolenza attraverso un'indagine sperimentale (presso il Laboratorio di Idraulica dell'Università Politecnica delle Marche), svolta con una tecnica non invasiva, la *Particle Tracking Velocimetry* (PTV). La tecnica di *tracking* è basata su una misura di correlazione tra finestre di interrogazione di immagini consecutive e viene eseguita con il software "YATS" (Miozzi, 2004). Undici differenti condizioni ondose vengono testate, sia in una configurazione a fondo rigido che a fondo mobile. Con la prima, realizzata con delle piastre in acciaio sopra a pedane di legno, vengono valutati il campo di moto, la vorticità, la turbolenza, e lo spessore del *boundary layer*; con la seconda configurazione, realizzata con sabbia ($D_{50} = 0.6$ mm), vengono monitorate le fasi di sviluppo dell'erosione e si studia la condizione di equilibrio in termini di profondità e ampiezza. Il numero di *Keulegan-Carpenter* KC, che esprime il rapporto tra l'ampiezza orbitale dell'onda ($2\pi a$) e le dimensioni della condotta (D), sotto l'ipotesi di teoria lineare, varia da 1 a 30.

È stato inoltre implementato un innovativo modello numerico, basato sulla tecnica del *Level-Set* per fluidi bifase. L'erosione attorno la condotta viene modellata accoppiando la soluzione della parte idrodinamica, con un modello semplificato per descrivere il moto dei sedimenti. Il dominio viene suddiviso in tre differenti sottodomini: i) una fase liquida, ii) una fase solida e iii) una fase mista solida-liquida funzione della concentrazione. Le equazioni di *Navier-Stokes* vengono scritte nell'intero dominio con differenti proprietà di densità e viscosità per le diverse fasi e sono risolte attraverso una *Direct Numerical Simulation*. La subroutine implementata per il trasporto dei sedimenti utilizza uno schema costituito da una componente di *drifting* e una di *lifting*. La prima opera sul sedimento in sospensione ed è funzione del campo di pressione, la seconda agisce all'interfaccia

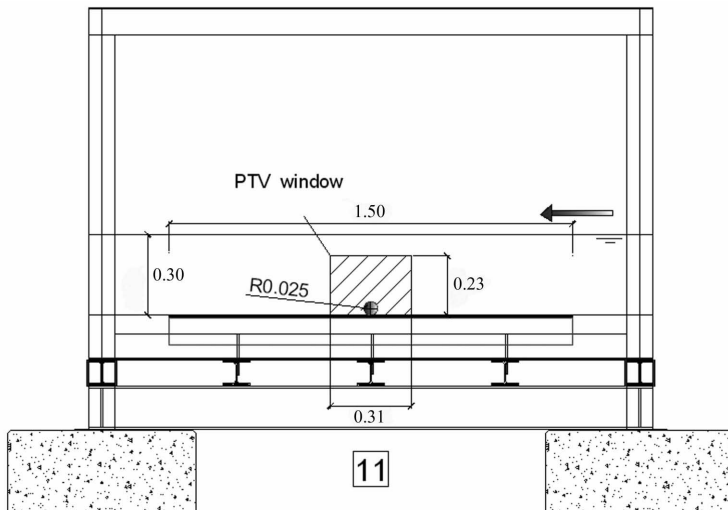


Figura 1 - Configurazione a fondo rigido.

tra la parte solida e quella liquida ed è funzione della tensione tangenziale esercitata al fondo (Mattioli, 2010). Il modello sperimentale si estende lungo l'asse del canale per onde per 1.5 m, la sua larghezza è di 1 m (Figura 1). Il diametro della condotta (realizzata con materiale PVC) è pari a $D=0.05$ m, viene installata con un rapporto $e/D=0$, sia nella configurazione a fondo rigido che a fondo mobile, essendo e la distanza di in-terramento della condotta. Si deve sottolineare che il valore del parametro di Shields critico ottenuto è pari a $\theta_{cr}=0.031$ e non tutte le onde testate

inducono le condizioni critiche per la movimentazione dei grani. La finestra di indagine per la PTV è pari a 31 cm (lungo x) x 23 cm (lungo y). L'inseminante usato (peperoncino macinato) ha una $\gamma_c=0.95$ g/cm³ e una dimensione dei grani $D_{50}=0.0003$ m e ha il vantaggio di comportarsi in maniera neutra nei confronti dell'acqua. Oltre alla tecnica ottica vengono utilizzate due sonde di livello all'ingresso e all'uscita del modello per rilevare la superficie libera e un *Acoustic Doppler Velocimetry* "ADV" per il campionamento puntuale della velocità. Per il modello a fondo rigido, la PTV ci consente di analizzare per le diverse fasi dell'onda, il campo di moto perturbato attorno la condotta, dal quale sono stati estratti la vorticità, la turbolenza e l'intensità del parametro di Okubo-Weiss, mediando una serie di 100 ripetizioni del singolo esperimento. L'analisi di convergenza mostra che l'errore, se riferito alla componente longitudinale del moto u , decade al 3 % , se riferito all'energia cinetica turbolenta k , si attesta al 5% dopo 50 ripetute. I risultati evidenziano che vorticità e turbolenza crescono con KC e l'estensione longitudinale dei vortici generati a valle della condotta aumenta linearmente con KC (Mattioli, 2010).

La dinamica dei sedimenti e quindi dell'erosione provocata dal moto ondoso sotto la condotta viene analizzata nella configurazione a fondo mobile. La durata delle prove è di 90 minuti anche se la condizioni di equilibrio viene raggiunta dopo circa 60 minuti. Vengono campionati sia la profondità di *scour* in diverse sezioni che l'estensione dell'area interessata dall'erosione. I risultati sperimentali vengono poi messi a confronto con le relazioni empiriche di letteratura. La relazione di Sumer and Fredsoe (2002) approssima bene i risultati sperimentali ai fini della profondità di *scour* sotto il tubo, ma sottostima la dimensione longitudinale dell'area interessata dall'erosione.

Il modello numerico è stato applicato per la sola configurazione ondosa OR8, che esprime le condizioni più gravose. La griglia di calcolo utilizzata ha un'estensione longitudinale $L=100D$ e trasversale $H=6D$ con il centro del cilindro posto a $0.3D$ dal contorno sinistro. Il dominio viene schematizzato con 500 nodi lungo x e 40 nodi in verticale. Vengono utilizzati ai fini del calcolo 5 differenti valori di β , che rappresenta un parametro di calibrazione per la capacità di trasporto dei sedimenti (Mattioli, 2010). Il valore di β entra nella formula che regola il sollevamento dei sedimenti, qualora si verificassero le condizioni di instabilità (la tensione tangenziale ottenuta per effetto della forzante, in questo caso ondosa, supera le condizioni critiche espresse dal parametro di Shields).

I risultati numerici vengono confrontati con quelli sperimentali ottenuti in un tempo di prova pari a $60 T$, essendo T il periodo ondoso. Attualmente il calcolo numerico non viene spinto fino la condizione di equilibrio perché risulta essere troppo onerosa in termini computazionali. Il principale problema per questa tipologia di modelli è relativo alla differente scala temporale tra la soluzione idrodinamica e quella morfodinamica. I risultati sono comunque confortevoli e risultano migliori per $0 < \beta < 1$.

Sostenibilità turistica della spiaggia tra Porto Garibaldi e Lido di Volano (Provincia di Ferrara)

Ilaria Rodella

Dipartimento Scienze della Terra, Università degli Studi di Ferrara, via G. Saragat, 1 – 44122 Ferrara.

Lo studio delle dinamiche relative alla risorsa spiaggia sono di fondamentale importanza sia per quanto concerne le attività economico-turistiche legate ad essa sia per gli aspetti ambientali. Nei prossimi anni, considerando le previsioni elaborate nel rapporto dell'IPCC nel 2007, il principale problema da affrontare riguarderà l'arretramento della linea di costa e la perdita della spiaggia anche in termini di materiale sedimentario si aggraverà, esaltando le criticità già oggi esistenti. Diventa necessario, perciò, sviluppare dei metodi di difesa delle zone costiere che consentano di preservare la spiaggia sia per quanto riguarda gli aspetti naturali sia quelli turistici. In questo lavoro si è proposto un approccio metodologico per stabilire le dimensioni minime della spiaggia in modo che tutte le sue funzioni siano espletate, proiettando inoltre la situazione attuale in uno scenario a breve termine. Lo studio si è articolato nel seguente modo:

- indagine della percezione di utenti e operatori delle spiagge attraverso l'uso di questionari (1650) ed interviste dirette (22), come previsto dalle Linee Guida UNEP (1994), con elaborazione dei dati in database Access;
- calcolo della capacità di carico fisica delle spiagge condotta con il metodo di Williams e Micallef (2009), che considera come parametri principali l'ampiezza della spiaggia, la superficie utile per gli utenti e il numero di ombrelloni presenti, ricavati dall'utilizzo delle foto aeree del Volo Costa 2005 e da un rilievo della linea di riva effettuato nel 2009;
- analisi dei tassi di variazione della linea di riva (1944-2009), attraverso il confronto dei dati storici ricavati dall'utilizzo del software DSAS implementato in ArcGis 9.3;
- valutazione delle ampiezze sostenibili delle spiagge a breve termine (5 anni);
- individuazione di una linea di riva sostenibile per tutto il litorale.

Lo studio è stato svolto durante tutta la stagione estiva 2009 nel litorale dei lidi ferraresi nord da Porto Garibaldi a Lido di Volano (69 stabilimenti balneari) nella Provincia di Ferrara, tratto costiero interessato da un intenso fenomeno erosivo (Simeoni et al., 2004).

I risultati emersi dall'indagine evidenziano come la domanda turistica sia essenzialmente omogenea per tutto il litorale per quanto concerne abitudini e preferenze. Gli utenti hanno attribuito una grande importanza alla qualità ambientale in termini di pulizia della spiaggia e del mare. Un altro elemento degno di nota riguarda la promozione di attività alternative considerata poco efficace dalla maggior parte degli intervistati mentre dovrebbe essere considerata un obiettivo primario nelle strategie di sviluppo turistico sostenibile del territorio. Ciò suggerisce di attivare una promozione più integrata del turismo balneare con quella dell'entroterra. Inoltre è stato possibile stabilire che non c'è un buon livello di consapevolezza relativa alle pratiche di ripascimento (il 70% degli utenti non ne è a conoscenza) e alle diverse certificazioni di qualità ambientale (come Bandiera Blu e ISO 14001/EMAS).

I risultati ottenuti dalla analisi della capacità di carico fisica (rapporto tra la presenza di utenti e lo spazio disponibile) hanno messo in evidenza alcune criticità del litorale in esame, in particolare nei lidi di Pomposa e Nazioni, dove l'affollamento risulta presente in 13 stabilimenti balneari, mentre per Porto Garibaldi, Lido

degli Scacchi e Lido di Volano non sono risultati particolari fenomeni di affollamento.

Ipotizzando inoltre un incremento costante del turismo nei prossimi anni nel sito di studio del 2,1% (Istat, 2008), è possibile avere una stima degli utenti in eccesso per ogni stabilimento al 2015.

I tassi di variazione della linea di riva sono stati utilizzati per ottenere le ampiezze degli arenili a breve termine e verificando se sarà superata o meno la capacità di carico per ogni stabilimento balneare. In questo modo, si è ricavata una stima del numero di utenti che saranno in eccesso, sempre secondo il metodo di Williams e Micallef del 2009.

Per i bagni in cui è stata superata la capacità di carico, è stata calcolata la superficie necessaria per sostenere il carico turistico e ciò ha permesso di ricavare l'avanzamento della linea di riva necessario tra 5 anni e di individuare, quindi, una linea di riva sostenibile.

Al 2015 l'ampiezza della spiaggia non sarà sufficiente per contenere il carico turistico in gran parte dei lidi comacchiesi (in 25 stabilimenti balneari su 69). Anche se il sovraccarico dei turisti fosse ridistribuito verso le spiagge meno affollate nel prossimo futuro verrà intaccata sempre di più la soddisfazione dei turisti e questo graverà su tutte le attività economiche della costa.

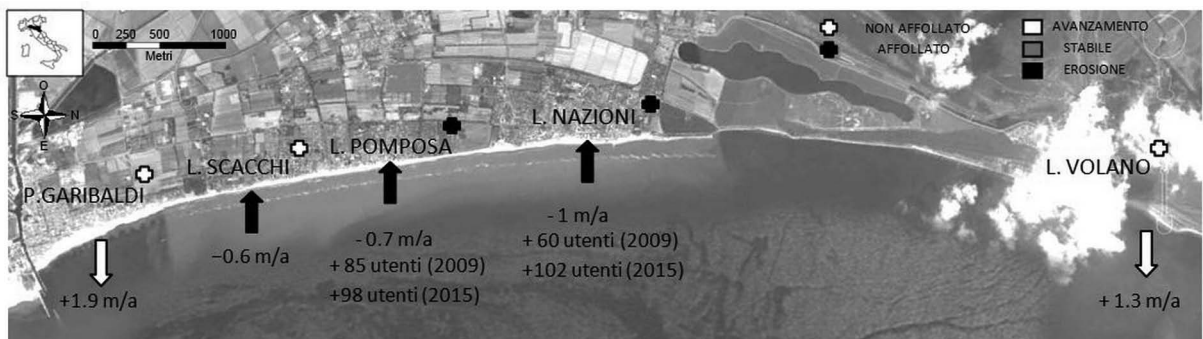


Figura 1 - Inquadramento della zona in esame con indicazione dei tassi di variazione della linea di riva e dell'affollamento al 2009 e al 2015.

Per affrontare queste criticità lo studio ha evidenziato la necessità, per il 2015, di mantenere stabili gli arenili di Porto Garibaldi, Lido di Scacchi e Lido di Volano ed aumentare le ampiezze degli arenili mediamente di 10 metri per Lido di Pomposa e di 7 metri per Lido di Nazioni.

Questo studio evidenzia la possibilità di affrontare le problematiche della costa con un diverso approccio logico che consente di coniugare esigenze pubbliche e private, individuare pratiche e elaborare metodologie per la predisposizione di azioni di salvaguardia e recupero delle aree costiere, stabilire uno spazio minimo indispensabile per la sostenibilità del territorio, anticipare le criticità e costruire un percorso virtuoso per la gestione degli arenili con risparmio di risorse, nel rispetto degli obiettivi ICZM.

Tendenze evolutive delle pocket beach dell'Isola d'Elba

Valentina Rosas

Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Borgo Albizi, 28 - 50122, Firenze.

Le pocket beach naturali sono piccole spiagge limitate in ampiezza da promontori che mostrano poca o nessuna connessione sedimentaria con i segmenti costieri adiacenti, risultando così unità fisiografiche a sé stanti. Anche se questo tipo di spiaggia è comune in tutto il mondo lungo le coste rocciose, la documentazione sulla loro idrodinamica, morfodinamica e i processi di trasporto dei sedimenti è tuttora modesta. L'alimentazione sedimentaria di queste spiagge proviene soprattutto da corsi d'acqua effimeri insistenti sui piccoli bacini idrografici che le delimitano, in quanto il tasso di erosione dei promontori adiacenti è estremamente basso. Le pocket beach sono quindi particolarmente sensibili anche alle variazioni modeste nell'uso del suolo.

Prima del diciannovesimo secolo, esse venivano prevalentemente sfruttate per le attività di pesca e l'ormeggio delle imbarcazioni. La recente crescita del turismo costiero, basato sulla presenza di queste spiagge, ha causato una riduzione delle attività agricole e un ampliamento delle aree residenziali, limitando le aree suscettibili di erosione e riducendo l'input sedimentario di queste spiagge, causando spesso la loro erosione. L'uomo ha alterato il bilancio sedimentario in questo modo per millenni. La letteratura disponibile sulle spiagge dell'Elba mostra che in due delle principali spiagge dell'isola, l'erosione delle spiagge è strettamente correlata con i cambiamenti nell'uso del suolo. Era stato precedentemente dimostrato che le alluvioni con lungo tempo di ritorno contribuiscono in modo significativo all'alimentazione di queste spiagge, che successivamente entrano in una fase erosiva.

Lo scopo di questo lavoro è stato quello di aggiornare le linee di riva delle pocket beach elbane con i rilievi più recenti confrontando i dati ottenuti con le precedenti indagini al fine di determinare l'evoluzione generale di queste spiagge. Si è cercato poi di capire le cause dell'erosione di queste spiagge, andando a cercare una possibile relazione con i cambiamenti nell'uso del suolo avvenuti nell'Isola negli ultimi sessant'anni.

L'area di studio è l'Elba, maggiore isola dell'arcipelago toscano, situata a 5 miglia nautiche dalla costa, con una superficie di 225 km² ed una linea costiera di 142 km.

L'isola era nell'antichità un importante centro di lavorazione dei metalli, il lato orientale era ben noto come la principale fonte di metalli, soprattutto ferro, per la civiltà etrusca e romana. Ciò ha provocato una massiccia distruzione delle foreste ed il successivo trasferimento delle attività minerarie sulla terraferma. Assente dalle cronache durante il Medioevo, l'isola è stata successivamente contestata dalle Repubbliche Marinare di Pisa e Genova. Cadde sotto il dominio spagnolo nel 16° secolo e fu venduta al Granducato di Toscana sotto Cosimo I de' Medici, ma fu poi conquistata dagli inglesi e dai francesi. La rinascita dell'isola consegue l'esilio di Napoleone, durante questo periodo rifiorirono agricoltura ed attività minerarie.

Le attività minerarie si sono protratte in alcune zone fino agli anni '60 e durante i 24 secoli di questa attività milioni di metri cubi di materiale di scarto sono stati scaricati sul sistema costiero ed hanno prodotto le spiagge attualmente utilizzate per la balneazione lungo la costa orientale. Sulle colline, i tagli boschivi effettuati per sostenere le attività minerarie e di fusione sono così cessati, lasciando il posto all'agricoltura, che è stata l'attività principale fino alla prima metà del 20° secolo.

Dopo la seconda guerra mondiale in Italia ha avuto inizio la corsa verso la costa. Le pocket beach sono state salvate dal primo boom turistico grazie alla loro marginalità, ma le loro caratteristiche naturali le hanno

successivamente rese di grande interesse. Gli anni '60 rappresentano il periodo finale di transizione dall'agricoltura al turismo.

Il turismo, che oggi supporta un settore molto remunerativo, con 3 milioni di visitatori all'anno (90% del reddito complessivo dell'isola), è basato su alcune pocket beach minacciate da erosione che, seppur modesta, riduce la superficie di spiaggia emersa. Il profilo di spiaggia, infatti, non è in grado di migrare nell'entroterra in quanto queste spiagge sono ampie solo pochi metri e delimitate da promontori, strade, edifici o altre strutture. L'espansione delle aree urbane ha causato ovunque una riduzione, se non la completa distruzione, delle dune costiere, che non possono quindi più compensare la perdita di sabbia. In aggiunta, la costruzione di una strada costiera che corre lungo tutta l'isola negli anni '50-'60 ha contribuito ad interrompere il rapporto tra zone di montagna e quelle costiere, facendo deviare o interrompere molti dei corsi d'acqua che alimentavano queste spiagge.

Lo studio dell'evoluzione delle linee di riva si è basato su un set di dati derivati dalla digitalizzazione della cartografia tecnica della Regione Toscana 1:25.000 (1954-1968), 1:10.000 e di foto aeree (1968-1981). I dati più recenti (1981-2008) sono stati ottenuti, invece, tramite rilievi topografici sul campo tramite stazione DGPS. I dati topografici sono stati georeferiti in Gauss-Boaga, datum Roma 1940. L'analisi dell'evoluzione delle linee di riva è stata effettuata utilizzando il software Autocad-2005.

Per questo lavoro abbiamo analizzato 17 pocket beach dell'Isola d'Elba, per una lunghezza totale di 8686 m. Considerando un periodo di circa 24 anni, 13 spiagge su 17 sono soggette ad erosione, con un range di spostamento lineare medio dai +3,85 m a Nisporto a -8.14 m a Procchio.

Delle quattro spiagge stabili o in accrescimento, due, Nisporto +3.85 m e Nisportino +1.54 m, sono state soggette a ripascimenti artificiali negli anni '90. Per quanto riguarda le rimanenti spiagge, solo in un caso, il Golfo di Marina di Campo, il processo di erosione è imputabile ad attività umane. Qui, la costruzione dei frangiflutti del porto ad una delle estremità della baia ha causato una rotazione permanente della spiaggia, determinando un accumulo di sedimenti nei settori meridionali, e un'erosione dei settori centrali. La costruzione di un pennello permeabile presso il punto di rotazione del Golfo ha solo parzialmente ridotto l'insabbiamento del porto, portando ad un moderato accumulo di sabbia immediatamente a nord di esso.

Per le restanti spiagge, una riduzione nell'input sedimento è da ritenersi il principale fattore responsabile dell'arretramento delle linee di riva.

Nel corso del 19° e inizio del 20° secolo la maggior parte dell'isola era intensamente coltivata, prevalentemente a vigna (25%) e sopra i 300 m di altitudine i terreni erano dedicati principalmente ad attività di pascolo. Con l'avvento del turismo, molti agricoltori decisero di abbandonare le loro attività per dedicarsi al settore terziario: gran parte dei campi coltivati furono abbandonati e successivamente invasi dalla vegetazione boschiva venendo così a ridursi notevolmente l'erosione del suolo, fonte di alimentazione di queste spiagge. Fino ad oggi, la relazione tra erosione e cambiamenti nell'uso del suolo era stata testata su due delle maggiori pocket beach dell'Elba, Procchio e Lacona. Nel bacino che alimenta la spiaggia di Procchio l'estensione della copertura boschiva dal 1940-2000 passa dal 41% al 74% e le aree artificiali dall'1% al 20%, conseguentemente la spiaggia arretra di circa 12 metri nello stesso periodo. Per quanto riguarda il bacino di Lacona, dal 1940-2000 la copertura forestale passa dal 17% al 77% e le aree artificiali, quasi assenti nel 1940 (meno dell'1%), rappresentano nel 2000 l'8%; la spiaggia si erode di 11 m dal 1940 al 1997. Al fine di verificare se questo modello è valido per il resto delle spiagge dell'Isola d'Elba, abbiamo digitalizzato la cartografia tecnica regionale per estrarre le linee di riva e le abbiamo confrontate con i rilievi diretti più recenti.

Analizzando i dati ISTAT relativi al censimento dell'agricoltura degli anni 1970, 1982, 1990 e 2000, abbiamo scoperto che nell'Isola la superficie dedicata all'agricoltura, alla pastorizia e arboricoltura è passato da 14.401 ettari nel 1.970 a 3914 ettari nel 2000. In particolare, le aree agricole hanno subito in questo periodo una riduzione di circa 3200 ettari, corrispondente al 72,10% della superficie totale. Osservazioni della copertura vegetale attuale e documentazioni fotografiche, indicano inoltre che le aree destinate ad uso agricolo nell'immediato dopoguerra erano anche più ampie di quelle registrate nel 1970.

Noi crediamo che il modello evolutivo verificato per Procchio e Lacona possa essere esteso a tutte le spiagge dell'Isola d'Elba. Possiamo quindi affermare che l'erosione di queste pocket beach è dovuta principalmente alle modifiche nell'uso del suolo che hanno avuto luogo negli ultimi sessant'anni.

Il comportamento della linea di riva nel breve termine

Viviana Russo

PhD, MecMat, Università 'Mediterranea' di Reggio Calabria, Italia, E-mail: viviana.russo@unirc.it.

L'evoluzione della posizione della linea di riva è causata dall'effetto combinato di onde e maree. La risposta immediata della linea di riva alle suddette forzanti, definita "risposta a breve termine", è in larga misura imputabile al trasporto di sedimenti in direzione cross-shore. Il moto ondoso e le oscillazioni di marea che si verificano tipicamente durante le mareggiate causano fenomeni di erosione dei litorali, e talvolta minacciano le infrastrutture presenti in prossimità di essi. Essere in grado di prevedere, in maniera semplice e rapida, la risposta di una qualunque spiaggia ad una qualunque forzante potrebbe essere di aiuto agli addetti alla gestione ed alla salvaguardia della fascia costiera. Numerosi modelli numerici presenti in letteratura forniscono la risposta della spiaggia nel breve termine, ma la maggior parte di essi contiene all'interno complessi calcoli di trasporto solido. Il modello di Miller e Dean (2004a, 2004b, 2006) (chiamato "M&D" nel seguito) risulta invece uno dei pochi modelli in grado di fornire la risposta della spiaggia nel breve termine, senza tuttavia ricorrere a complessi calcoli di trasporto solido. Tale modello è stato però originariamente calibrato su dati temporalmente distanti non meno di 1 giorno. Si è pertanto fatto ricorso alla modellazione fisica di una spiaggia, all'interno del laboratorio di HR Wallingford, con l'obiettivo di raccogliere dati, temporalmente distanti in scala reale anche solo 15 minuti, necessari alla calibrazione di tale modello nel breve termine.

Il modello di spiaggia è stato costruito, in scala 1:30, all'interno di uno dei canali di HR Wallingford, avente dimensioni 40 m x 1,2 m e profondità operativa fino a 1,4 m. Sono state eseguite quattro serie di test, su una spiaggia realizzata con un campione di sabbia opportunamente scelto per riprodurre correttamente il comportamento di un litorale realmente esistente (Russo, 2010). La *Test Series 1*, durante la quale sono stati effettuati 40 test, è stata eseguita con l'intento di raccogliere una consistente quantità di dati ($y(t)$ posizioni della linea di riva, con t variabile temporale) ottenuti con diverse condizioni ondamiche su spiaggia con pendenza 1:7. Il livello del mare è stato mantenuto costantemente pari a + 4,32 mODN (metri rispetto all' "Ordnance Datum NewLyn" - attuale piano di riferimento in Gran Bretagna). Il modello di spiaggia è stato invece realizzato con una pendenza 1:15 durante la *Test Series 2*, composta complessivamente da 18 test. I primi due test di tale serie sono stati eseguiti con livello del mare pari a + 4,32 mODN, mentre i successivi sedici con livello del mare pari a + 5,77 mODN, in modo tale da far ricadere la posizione della linea di riva all'interno del sistema di riferimento adottato per le misurazioni. Il modello di spiaggia è stato rimodellato fino alla ricostruzione del profilo iniziale (pendenza 1:15) durante i primi otto test di tale serie, al fine di poter osservare anche il comportamento della linea di riva dovuto ad ogni singolo test. La *Test Series 3* è stata svolta su una spiaggia con pendenza 1:7 e con livello del mare pari a + 4,32 mODN, con lo scopo di quantificare il numero di onde necessarie al modello di spiaggia per raggiungere l'equilibrio. Sono stati svolti 24 test durante tale serie, suddivisi in due gruppi. I primi quattordici test sono stati effettuati con $H_s = 5,1$ m, $T_p = 10,6$ s e con una durata di 100 onde per ogni test. Dopo 900 ore è stata ricavata la posizione di equilibrio $y_{eq} = - 3,0$ m. I dieci test del secondo gruppo sono stati eseguiti con $H_s = 3,4$ m, $T_p = 15,8$ s, e nuovamente con durata di ogni test pari a 100 onde. Dopo 700 ore è stata raggiunta la posizione di equilibrio $y_{eq} = + 3,0$ m. Un'intera mareggiata è stata invece simulata durante la *Test Series 4*, con lo scopo di analizzare il compor-

tamento della linea di riva durante le varie fasi della mareggiata. La Test Series 4 è stata condotta con livello del mare pari a + 4,32 mODN, direttamente sul profilo di spiaggia ottenuto al termine della Test Series 3. Ogni test ha avuto una durata totale di 1000 onde, ma è stato ulteriormente interrotto dopo 500 onde, in modo da poter quantificare l'arretramento avvenuto tra 500 e 1000 onde, dal momento che la Test Series 3 aveva mostrato che l'equilibrio veniva raggiunto prima delle 1000 onde, sia con onde lunghe ($T_p = 15,8$ s) che con onde corte ($T_p = 10,6$ s) (Russo et al., 2010).

I test di laboratorio appena descritti sono stati utilizzati per calibrare il modello di M&D (2004a, 2004b, 2006) nel breve termine, utilizzando dati aventi anche intervallo tra le registrazioni pari a 15 minuti, in scala reale. Un esempio del confronto tra i risultati ottenuti con il modello di M&D (2004a, 2004b, 2006) calibrato nel breve termine, i valori misurati durante una delle serie di laboratorio ed i valori ottenuti con il modello originale di M&D (2004a, 2004b, 2006) è riportato in Figura 1. E' immediato osservare che il trend generale ottenuto con il modello di M&D (2004a, 2004b, 2006) calibrato nel breve termine tende ad adattarsi meglio all'andamento dei valori misurati, sebbene persistano ancora alcuni punti in cui i due andamenti risultano in disaccordo.

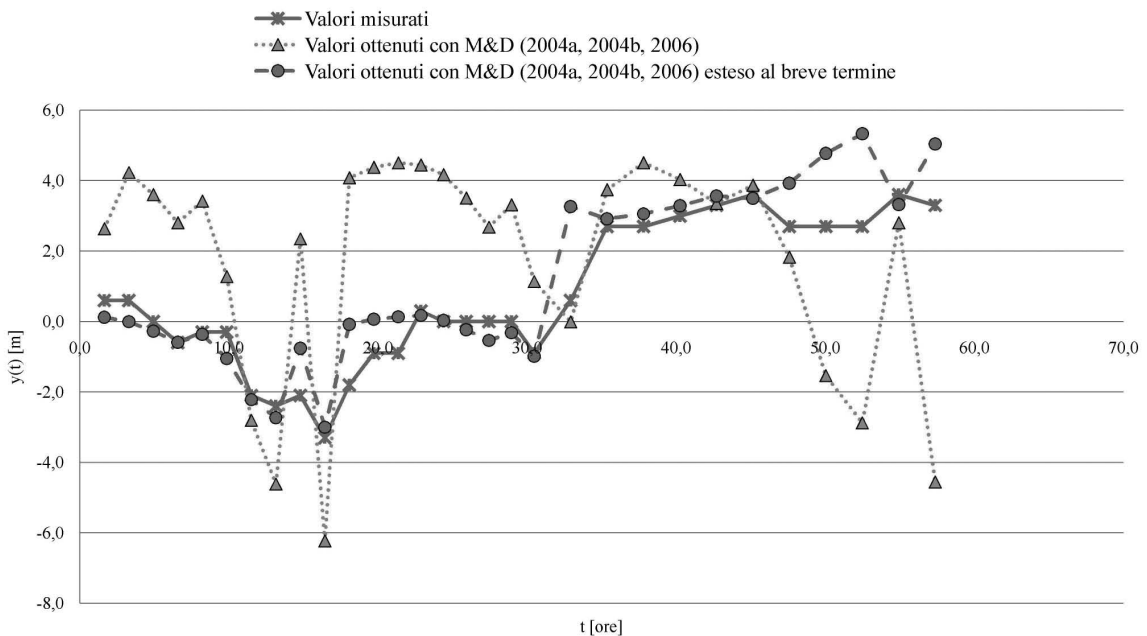


Figura 1 - Valori misurati e valori calcolati sia mediante M&D (2004a, 2004b, 2006) che con la sua “estensione” al breve termine.

La modellazione fisica di una spiaggia è stata effettuata sia con lo scopo di analizzare il comportamento dei litorali nel breve termine, che per raccogliere quante più possibili posizioni della linea di riva, temporalmente distanti tra loro anche solo quindici minuti, necessarie per la calibrazione del modello di M&D (2004a, 2004b, 2006) nel breve termine.

Valutazione dell'attuale livello di rischio costiero attraverso lo studio geomorfologico di eventi catastrofici passati

Matteo Vacchi

Dipartimento per lo studio del territorio e delle sue Risorse, Università degli studi di Genova.

Lo studio di eventi ondosi catastrofici passati può rappresentare uno strumento importante per la valutazione di rischio, pericolosità e vulnerabilità attuali nelle aree costiere. In particolare la disposizione e l'origine dei depositi di grossi blocchi e massi, accumulati in prossimità della costa, sono state spesso analizzate per valutare l'entità di onde estreme o di eventi di tsunami lungo il Mediterraneo (Mastronuzzi et al., 2006; Scheffers e Kellettat, 2003).

Il presente studio è stato effettuato sulla costa meridionale dell'isola di Lesvos (Grecia, Mar Egeo Nord-Orientale) dove, lungo il litorale sud-est dell'isola, diversi accumuli di grossi massi (fino a 15 tonnellate) sono stati misurati e mappati ed è stata analizzata la loro formazione. Questa zona dell'Egeo è caratterizzata da un'intensa attività tettonica di tipo transtensivo (Roumelioti et al., 2009) che ha portato ad una serie di terremoti distruttivi spesso seguiti da eventi di tsunami come riportato da testimonianze storiche, specialmente di epoca ellenistica (Soloviev et al., 2000). Le morfologie costiere dell'area di studio mostrano coste alte intervallate da spiagge sabbioso-ghiaiose spesso caratterizzate da affioramenti di beachrocks. Indagini subacquee hanno permesso di mappare il fondale fino a circa 15 m di profondità.

Gli accumuli di blocchi sono prevalentemente formati da grossi pezzi di beachrocks spesso ricoperti da materiale biologico (serpulidi, vermetidi) ad una distanza massima di 50 m dalla linea di riva ed ad un'altezza massima di circa + 1,5 m sul livello del mare.

Mediante lo studio dei parametri geometrici dei blocchi e delle morfologie del fondale si sono potuti ricostruire la posizione di pre-trasporto dei blocchi ed il successivo meccanismo di accumulo (Mastronuzzi et al., 2006). L'analisi della disposizione degli assi allungati dei blocchi ha permesso di individuare le direzioni di provenienza degli eventi ondosi eccezionali (mareggiate o tsunami) responsabili degli accumuli. Le equazioni idrodinamiche proposte da Nott (2003), Pignatelli et al., (2009) e Benner et al., (2010) hanno permesso di calcolare le altezze d'onda di tempesta (H_s) e di tsunami (H_t) necessarie per il trasporto e l'accumulo dei blocchi. Tale approccio, già utilizzato su altri accumuli di blocchi in altre aree del Mediterraneo (Mastronuzzi et al., 2006; Scheffers e Scheffers, 2007), ha evidenziato, per i blocchi di maggiore dimensione, valori di H_t compresi tra 2,2 e 2,6 m ed invece di H_s compresi tra 10,2 ed 14 m. Al fine di valutare se le altezze d'onda di tempesta calcolate fossero compatibili con eventi estremi, è stato effettuato uno studio del clima meteo-marino della zona compresa tra le isole di Lesvos e di Chios. Analisi statistiche effettuate nell'ambito della ricerca Wind and Wave Atlas of the Hellenic Seas (Soukissian et al., 2007) hanno evidenziato come, nella zona in studio, le altezze significative dell'onda al largo con tempi di ritorno molto lunghi (50 e 100 anni) non superino i 6 m. Questi valori, insieme ai profili del fondale (ricavati sia dalle carte batimetriche sia dalle indagini subacquee) hanno permesso di calcolare, in corrispondenza della posizione indagata, un'altezza d'onda massima con tempo di ritorno 100 anni non superiore a 7 m al limite del frangimento. Tali valori, confrontati con quelli calcolati con i risultati delle equazioni di Nott hanno escluso di poter considerare l'evento eccezionale di tempesta come causa dei depositi suggerendo invece come alternativa un'onda di tsunami.

Al fine di controllare l'attendibilità dell'ipotesi tsunami derivata dai calcoli idrodinamici, sono state effettuate ulteriori indagini sia morfologiche sia legate alle sorgenti sismo-tettoniche ed agli eventi storici. Diverse caratteristiche dei blocchi sembrano confermare un tipo di accumulo legato ad un singolo impulso piuttosto che alla continua azione delle onde. In particolare la presenza delle fragili incrostazioni biologiche è stata spesso messa in relazione con un rapido dislocamento (tipicamente ad opera di onda di tsunami) (Mastro-nuzzi et al., 2006).

Sulla base delle sorgenti tsunamogeniche e dei dati storici, molti autori (Soloviev et al., 2000; Papadopoulos e Foakefs, 2005) hanno inserito la costa sud-est di Lesvos tra le zone a rischio tsunami. Le datazioni radiometriche, effettuate sul materiale biologico campionato sui blocchi di dimensione maggiore, sono risultate decisamente recenti (< 100 anni). Successive indagini, effettuate in collaborazione con l'associazione culturale "to polion" di Plomari hanno confermato tali datazioni in quanto, in una foto storica datata 1896, i blocchi non sono presenti sulla linea di riva. Lo studio della storicità degli eventi di tsunami ha quindi evidenziato come l'accumulo di blocchi nell'area di Plomari possa essere collegato al disastroso terremoto di Chios (6,7 M) avvenuto nel 1949 con epicentro a meno di 50 km dall'area di studio. Questo evento provocò un'onda di tsunami alta circa 2 m abbattutasi sia sulla stessa Chios che sulla prospiciente costa turca. Come evidenziato sia dall'approccio idrodinamico che da quello morfologico e dalla compatibilità dell'orientazione degli assi allungati, il terremoto del 1949 potrebbe quindi essere responsabile del dislocamento e del relativo accumulo di blocchi nella costa sud di Lesvos.

Questo studio ha dunque rilevato evidenze morfologiche di impatto di onde catastrofiche in un'area classificata come a possibile rischio tsunami fornendo nuovi ed importanti dati sull'attuale livello di vulnerabilità costiera in quest'area del Mar Egeo.

Valutazione cromatica della sabbia: casi studio nell'ambito dei litorali toscani

Giovanni Vitale

Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra. Borgo Albizi, 28 - 50122, Firenze.

La variabilità cromatica della sabbia è un fattore rilevante per quanto riguarda l'aspetto paesaggistico dei litorali, essendo il colore uno degli elementi che maggiormente vengono ricordati ed apprezzati dal fruitore della spiaggia. La cromaticità influenza però talvolta anche alcuni fenomeni ecologici: il mimetismo di alcuni organismi, che impiegano diverse generazioni per adattarsi al substrato del loro habitat, può essere completamente sconvolto nel caso in cui quest'ultimo venga modificato, ad esempio attraverso un ripascimento effettuato con materiale cromaticamente diverso da quello nativo. Altro fattore sul quale il colore della sabbia può influire è la temperatura: sabbie scure tendono a scaldarsi molto velocemente generando una conseguenza negativa per chi teme di scottarsi camminandoci sopra, o positiva per chi è solito utilizzarle per delle sabbiate. Bisognerebbe poi considerare, laddove ciò avviene, che la temperatura della sabbia è un fattore fondamentale per l'incubazione delle uova di alcuni animali, come le tartarughe.

Il sistema maggiormente utilizzato nel corso degli ultimi decenni per la valutazione cromatica della sabbia, e dei suoli in generale, è denominato Munsell Soil Chart, dal nome dell'ideatore, formulato nel primo decennio del '900 ed adottato dall'USDA (United States Department of Agriculture) negli anni '30 come sistema ufficiale per la misurazione del colore dei suoli. Questo sistema definisce il colore attraverso tre coordinate denominate Hue (Tonalità), Value (Luminosità) e Chroma (Cromaticità). Lo spazio cromatico è cilindrico, con l'asse verticale corrispondente alla sensazione di Luminosità fornita da un colore, con in alto il Bianco (Value 10), al centro il Grigio (Value 5) e in basso il Nero (Value 0). La Tinta (Hue) è ciò che genericamente definiamo Colore e viene ad assumere una coordinata polare con le 5 Hue principali Porpora (P), Blu (B), Verde (G), Giallo (Y), Rosso (R), poste ad intervalli regolari, suddivisi ulteriormente a generare 5 combinazioni (PB, BG, GY, YR, RP) divise poi in 10 sottoclassi. Procedendo verso il centro del cerchio si va verso l'asse della luminosità (Value) ed i colori saturi diventano progressivamente grigi; questa coordinata è definita Chroma o Saturazione. Su una serie di tavolette, ciascuna delle quali identifica un valore di Tonalità, sono rappresentati dei tasselli il cui colore è definito da varie coppie di valori di Luminosità e Cromaticità. Fori di circa un centimetro, posizionati fra i tasselli permettono la valutazione, da parte dell'osservatore, del colore del campione da analizzare tramite sovrapposizione della tavoletta al campione stesso. Anche in caso di posizionamento ed illuminazione adeguati, la soggettività che caratterizza questo metodo ne rende inadeguato l'utilizzo in protocolli ufficiali.

Nel 1931 la Commissione Internazionale de l'Éclairage (CIE) definì il sistema RGB basato sulle combinazione dei tre stimoli primari corrispondenti alle lunghezze d'onda di 700 (R), 546.1 (G) e 435.8 nm (B). Tale sistema è attualmente utilizzato in tutte le apparecchiature che producono immagini a colori (schermi televisivi, fotocamere digitali, ecc.), ma il range di colori che l'occhio umano è in grado di percepire è molto più ampio di quello dello spazio RGB. Inoltre, differenze costanti nei valori delle 3 coordinate non producono nell'osservatore differenze costanti di percezione cromatica; ciò rende questo metodo descrivibile come "non percettivamente uniforme".

La valutazione cromatica attraverso il sistema RGB può essere effettuata tramite diversi colorimetri prodotti per il campo industriale e merceologico, ma su di essa non possono definirsi norme o prescrizioni, perché spes-

so le coordinate RGB che vengono misurate dipendono da numerose variabili non codificate (Pranzini, 2008). Dalla necessità di generare uno spazio-colore quanto più percettivamente uniforme, e dall'osservazione che non esistono verdi con carattere rossastro, né blu di carattere giallastro, nacque la definizione, nel 1976, del sistema CIEL*a*b*. L, a* e b* rappresentano le tre coordinate di uno spazio sferico, ed indicano rispettivamente:

L* = Chiarezza, con valore da 0 a 100. Mantenendo pari a zero le altre coordinate si otterrebbe un asse corrispondente alla scala di grigi, con nero in corrispondenza del valore 0 e bianco sul valore 100

a* = Cromaticità nel verde (valori negativi, fino a -120) e nel rosso (valori positivi, fino a 120)

b* = Cromaticità nel blu (valori negativi, fino a -120) e nel giallo (valori positivi, fino a 120)

La caratteristica che rende questo sistema perfettamente utilizzabile in protocolli ufficiali, oltre alla definizione di una sorgente luminosa (Illuminante) e di un Osservatore standard, è la facilità del calcolo della differenza cromatica fra due campioni, definita come distanza euclidea fra le loro coordinate:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Un test sul gradimento del colore delle sabbie, effettuato mostrando in varie spiagge italiane scatolette contenenti sabbie della stessa granulometria ma cromaticamente diverse, ha dimostrato una evidente correlazione ($R^2=0,84$) fra Chiarezza e Gradimento del campione per quanto riguarda i fruitori di spiagge "naturali", cioè che non hanno subito ripascimenti. Interviste effettuate sulla spiaggia del Poetto (Cagliari), dove un intervento negli anni passati ha portato il versamento di sabbia grigio scura su un materiale nativo biancastro, hanno registrato una correlazione ancora più forte ($R^2=0,87$), sintomo della forte "affezione" dei bagnanti alla loro spiaggia originaria. Per lo stesso motivo, ma con risultato opposto, le persone intervistate a Ladispoli (nel Lazio), dove su un materiale nativo quasi nero è stata versata sabbia grigiastrea, hanno fatto emergere una correlazione Chiarezza – Gradimento molto minore ($R^2=0,44$), con il campione più scuro, prelevato proprio a Ladispoli, che ha fatto registrare una media voto fra le più alte (Pranzini et al., 2008).

Lo spazio CIEL*a*b* è stato utilizzato recentemente per la valutazione della compatibilità cromatica di sabbie utilizzate o solamente proposte ai fini di ripascimento; nel caso di Marina di Carrara, che si riferisce al 2006, il materiale versato è risultato essere leggermente più chiaro e più giallo di quello nativo, e la differenza in termini di ΔE^*_{ab} conseguente era pari a 7,6 unità. In base alla comparazione di vari casi precedenti è stata valutata accettabile una differenza inferiore alle 9 unità, ed infatti per Marina di Carrara la modifica del paesaggio non è stata giudicata evidente, a detta degli stessi abitanti di tale località.

Nell'ambito di una gara per la scelta del materiale da utilizzare per il ripascimento di Marina dei Ronchi è stato definito un range di accettabilità attorno ai valori misurati su campioni nativi, stabilendo dei limiti sia per le singole coordinate che per il valore di ΔE^*_{ab} . Per i risultati del test appena discusso, una differenza di Chiarezza positiva è stata considerata maggiormente tollerabile rispetto ad una differenza negativa o ad una qualsiasi variazione di cromaticità. Un campione che fosse risultato all'interno del range di tolleranza ΔE^*_{ab} , ma che avesse denunciato comunque una differenza eccessiva per qualsiasi singola coordinata, sarebbe stato scartato dal gruppo dei materiali proponibili, e così è stato per alcuni campioni presi in esame.

Analizzando gli interventi di ripascimento previsti nel Piano Regionale di Gestione integrata della costa ai fini del riassetto idrogeologico, tra quelli in via di esecuzione e quelli non ancora avviati si osservano delle situazioni molto differenti dal punto di vista granulometrico e cromatico delle spiagge su cui si andranno a realizzare questi lavori. Da ciò nasce la necessità di stabilire, anche a livello nazionale, un metodo di misura standard, quale può essere lo spazio CIEL*a*b*, e un sistema di valutazione della compatibilità cromatica, a partire dall'identificazione di valori per i quali una sabbia è percepita effettivamente come diversa rispetto a quella con la quale viene confrontata. Inoltre, alcune variazioni possono essere comunque giudicate positivamente, se all'interno di certi limiti da definire ancora in maniera accurata.

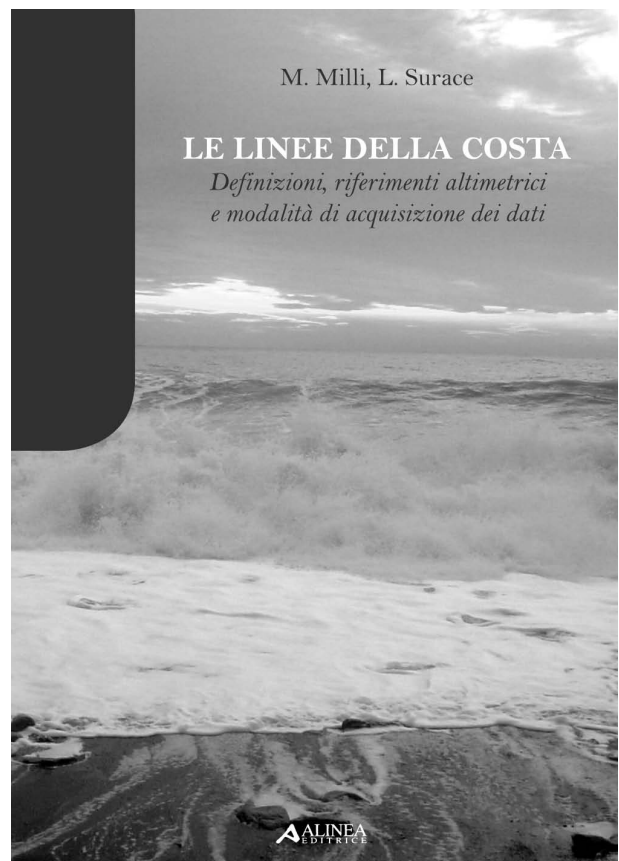
Le linee della costa **Definizioni, riferimenti altimetrici e modalità di acquisizione dei dati**

di M. Milli e L. Surace

Edito da ALINEA Editrice, Firenze, 2011

“Le linee della costa - Definizioni, riferimenti altimetrici e modalità di acquisizione dei dati” di M. Milli e L. Surace, è il titolo di un testo originale nel panorama scientifico degli studi costieri, di prossima pubblicazione per la casa editrice Alinea di Firenze. Si tratta di un’opera che sottolinea l’attenzione che il delicato ambiente costiero merita, oggi più che mai, da parte di tecnici, ricercatori ed amministratori, in un’ottica interdisciplinare e multidisciplinare. Gli ambiti in cui è necessario un approccio rigoroso all’argomento “linee della costa” sono infatti vari, dal settore cartografico a quello idro-oceanografico, dal settore ingegneristico-idraulico a quello di prospezione geologica, dal settore economico a quelli giuridico e politico. Sottoporre a misure il limite generico in cui “... la terra finisce e il mare comincia ...” è certamente compito assai arduo: si tratta di un limite in continuo spostamento, perché legato al livello del mare e l’assenza di un riferimento verticale stabile rende difficoltosa la valutazione delle variazioni. Il testo si rivolge, con un approccio divulgativo ma rigoroso, a coloro che operano in tutti i settori correlati all’ambiente costiero, come contributo verso una sistematizzazione dei problemi di gestione dei dati territoriali: è un invito a superare la tradizionale dicotomia di competenze, di responsabilità e di metodologie tra l’ambiente marino e quello terre-

stre, partendo dall’analisi dei fenomeni che investono la fascia costiera. Gli Autori portano un bagaglio di esperienze scientifiche e professionali che inusualmente li colloca a metà strada fra chi, con la curiosità e l’entusiasmo del naturalista, osserva i fenomeni della natura e chi, con il rigore e l’accuratezza del geodeta, si dedica con passione alle misure e alla valutazione della loro attendibilità. Ecco perché nella lettura di questo testo, se non vogliamo dire nel suo studio, si viene accompagnati verso un argomento apparentemente difficile e freddo, per scoprirlo poi comprensibile e affascinante. Ciò anche perché l’argomento centrale obbliga



a continue digressioni, che ci portano a conoscere quali termini vengono usati in altre lingue per elementi simili, ma non necessariamente uguali o quali e quanti siano i livelli del mare con i quali dobbiamo confrontarci, e come questi vengano misurati. Dopo un'analisi delle problematiche legate all'individuazione della linea di costa, il lavoro analizza le relazioni tra differenti sistemi di riferimento verticali, dal livello medio del mare agli altri Tidal Datums e al Chart Datum, ponendo l'accento sul fatto che le tecniche di posizionamento satellitare offrono oggi la possibilità di rivedere il ruolo dei TDs, la cui determinazione è legata a tempi e luoghi, e di adottare una superficie di riferimento senza soluzione di continuità e "stabile", quale una realizzazione in mare del datum WGS84. Uno dei problemi principali per chi opera in questo settore è certamente la scelta degli strumenti e delle procedure più idonee per rilevare la posizione della linea richiesta, e per questo gli Autori passano in rassegna ciò che la tecnologia mette oggi a disposizione, confrontando metodi tradizionali, ancorché attuali ed efficaci come il GPS, e tecniche innovative, quali il LiDAR batimetrico, la fotogrammetria digitale e il telerilevamento da satellite, ma fanno ciò non in modo asettico, bensì sempre con riferimento alle problematiche generali, tanto che l'analisi di uno strumento torna ad essere occasione per una verifica della correttezza formale e dell'applicabilità dei principi generali. Non ci troviamo quindi davanti ad un manuale di topografia, anche se di topografia il volume è pieno, bensì ad opera tipologicamente nuova in questo settore, pur se per classificarla dovremmo forse ricorrere ad un titolo "antico", quale potrebbe essere "Discorso sul metodo". Al termine del libro, dopo una vasta e approfondita bibliografia, un'interessante appendice propone un esempio concreto di utilizzazione delle moderne tecniche di rilievo per l'acquisizione e l'elaborazione della geometria della linea di riva, attraverso confronti e analisi dei dati in aree campione.

Nicola Corradi

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 CD 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.

Keywords - 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, carattere Garamond. 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 (corpo 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 10. 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 in 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 a 300 DPI alla dimensione di stampa) e salvate con il nome del primo Autore seguito da Fig n (es. Rossi Fig 1.tif). Figure costituite da più parti devono essere montate dagli Autori in un file unico.

Per evitare errori di importazione, è preferibile ricevere le formule, singolarmente e numerate, in formato immagine .tif o .jpg a 300 DPI.

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. Nel caso di utilizzazione di figure tratte da altra pubblicazione gli Autori dovranno inviare l'autorizzazione alla stampa dell'Editore proprietario dei diritti. Analogamente deve essere fatto per riprese aeree e per la cartografia.

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 in bianco e nero 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 alla **Redazione di Studi costieri**
c/o Dipartimento di Scienze della Terra
Borgo Albizi, 28 - 50122 Firenze
Tel. 055 2479241 - Fax 055 2001618
E-mail: serena.ferri@unifi.it