

Monitoraggio video di processi costieri in supporto alla gestione della costa: il progetto CoastView

di Carlo Albertazzi¹, Renata Archetti², Clara Armaroli³, Mauro Ceroni⁴, Paolo Ciavola³, Alberto Lamberti², Silvia Medri²

Introduzione

Il programma CoastView è un progetto di ricerca, finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del "V programma quadro delle azioni comunitarie di ricerca, di sviluppo tecnologico e di dimostrazione (1998-2002)" - "Ecosistemi marini sostenibili" che ha coinvolto 12 istituzioni internazionali, includendo partecipanti da Regno Unito, Spagna, Italia, Olanda, Danimarca e Stati Uniti.

Al progetto, coordinato dall'Università di Plymouth, hanno partecipato le Università: Utrecht University (NL),

University of Copenhagen (DK), Università di Bologna (I), Università di Ferrara (I), University of Cantabria (E) in collaborazione con Delft Hydraulics (NL) e quattro Enti che a scala nazionale si occupano di gestione della costa: la britannica Environment Agency, l'olandese Rijkswaterstaat, la spagnola Autorità portuale di Santander e la Regione Emilia-Romagna (I). I siti di studio, dove sono installate le stazioni video (stazioni ARGUS) sono El Puntal, (Spagna), Lido di Dante, (Italia), Egmond (Paesi Bassi) e Teignmouth (UK). Il sito web del progetto Coastview è www.thecoastviewproject.org. Una descrizione dettagliata del progetto è fornita in Albertazzi et al., (2003).

Il progetto rientra anche in un ampio programma per uno Sviluppo Sostenibile promosso dalla Regione Emilia-Romagna. Raccolgendo le indicazioni elaborate dall'Unione Europea, la Regione Emilia-Romagna ha promosso nel 2002 il progetto "Gestione integrata delle zone costiere (G.I.Z.C.)" per riconoscere, analizzare e rendere compatibili in un quadro integrato le diverse componenti della costa, indirizzando tutte le attività del sistema

costiero verso la sostenibilità ambientale, economica e sociale. L'approccio strategico che coordina ed integra un insieme di percorsi progettuali e di realizzazioni si è già concretizzato nella "Approvazione delle linee guida per la gestione integrata delle zone costiere (GIZC)" per la regione Emilia-Romagna" (delibera Consiglio Regionale N. 645 del 20.01.05).

Scopo dello studio

Generalmente le informazioni di cui dispongono i gestori delle aree costiere in merito alle condizioni in cui esse versano, derivano da onerose osservazioni dirette e da modelli numerici spesso di non facile utilizzazione e comprensione. Il progetto CoastView è nato con lo scopo di ridurre sia la complessità delle informazioni a disposizione, sia i costi ad esse relativi, tramite il conseguimento dei seguenti obiettivi primari:

1. Sviluppare Indicatori dello Stato della Costa (CSIs – Coastal State Indicators) collegati alle principali risorse, per descrivere le caratteristiche morfodinamiche delle coste, a supporto della Gestione Integrata della Zona Costiera

¹ Regione Emilia-Romagna - Assessorato Difesa del Suolo e della Costa. Protezione Civile – Dir. Gen. Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa, Via dei Mille 21, 40121 Bologna. calbertazzi@regione.emilia-romagna.it.

² Università di Bologna, Facoltà di Ingegneria, DISTART, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna. renata.archetti@mail.ing.unibo.it, alberto.lamberti@mail.ing.unibo.it, smedri@tiscali.it.

³ Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze Della Terra, Via Saragat 1, 44100, Ferrara, Italy; cvp@unife.it.

⁴ Regione Emilia-Romagna, Servizio Tecnico di Bacino Fiumi Romagnoli, P.zza Caduti per la Libertà 9, 48100 Ravenna. mceroni@regione.emilia-romagna.it

(GIZC); in tale contesto i CSIs possono essere definiti come “un gruppo di parametri minimi che possono descrivere quantitativamente lo stato dinamico di un sistema costiero”. I CSI sono stati individuati relativamente a diversi obiettivi strategici, per ciò che riguarda la gestione/difesa della costa, la salvaguardia del turismo, della navigazione e la tutela ambientale, riassunte in figura 1.

2. Sviluppare e verificare metodi di controllo e monitoraggio basati sulle immagini e sulle relative tecniche di analisi, per stimare ed interpretare i suddetti indicatori.

Il progetto ha portato allo sviluppo di nuovi sistemi video, teorie e software per la raccolta dei dati e la valutazione degli indicatori capaci di fornire informazioni utili relative, ad esempio, all’erosione costiera ed i tassi di regressione ad essa associati, alla localizzazione di canali di navigazione e di barre di sabbia, alla funzionalità delle strutture di difesa costiera e al monitoraggio della frequentazione turistica delle spiagge, intesa come densità di persone per unità di area di spiaggia disponibile, facilitando così il compito dei gestori, a costi contenuti rispetto alle tecniche tradizionali di indagine.

Oggetto dello studio

Le innovazioni date dal progetto CoastView sono riassunte nello schema di figura 2. Contemporaneamente alle misure mediante le tecniche video, sono stati eseguiti monitoraggi tradizionali di maree, onde e condizioni meteorologiche. Inoltre si sono svolte campagne topografiche, batimetriche e idrodinamiche allo scopo di veri-

Materie di gestione	Contenuti
Difesa della costa e mantenimento del profilo di spiaggia	STABILITA' DELLA COSTA 1. Stabilità della costa a lungo termine 2. Stabilità a breve termine degli edifici, della spiaggia e delle dune 3. Stabilità delle opere di difesa costiere
Ricreazione e Turismo	USO TURISTICO DELLA SPIAGGIA 1. Spazio per il turismo di spiaggia 2. Sicurezza fisica della balneazione
Navigazione	SICUREZZA DELLA NAVIGAZIONE 1. Soluzione dei pericoli per windsurf e piccole imbarcazioni a vela
Valori naturali	QUALITA' DELLA SPIAGGIA 1. Inquinamento della spiaggia 2. Densità di utenti fruitori 3. Ecosistema dunoso

Fig 1. Materie di studio del progetto CoastView relative al caso di Lido di Dante

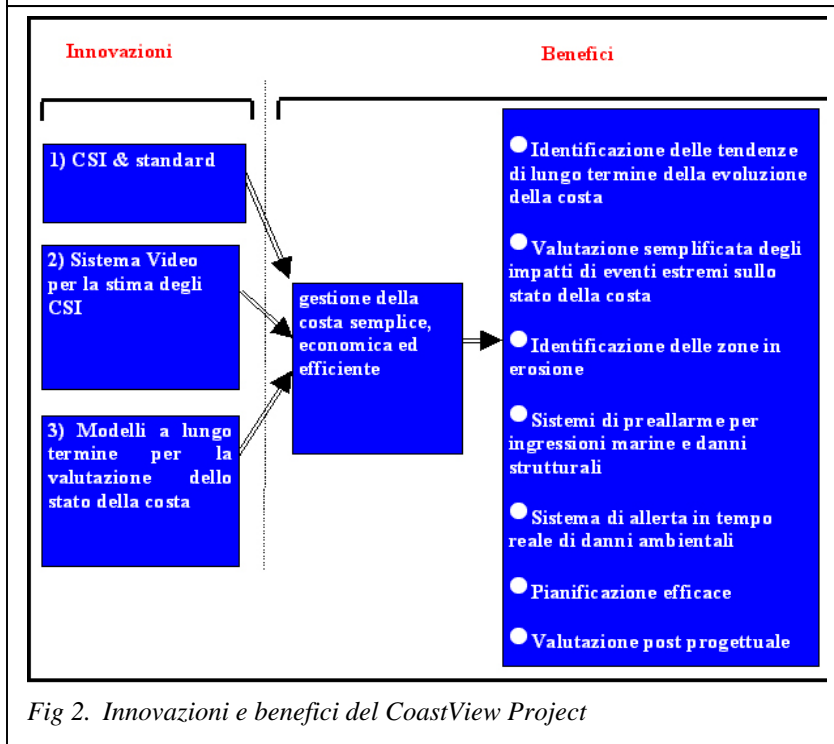


Fig 2. Innovazioni e benefici del CoastView Project

ficare l’efficacia del sistema video nell’individuare gli indicatori, oltre a definirne le variazioni spazio temporali e a dare indicazioni sul comportamento morfodinamico delle aree di studio.

Questo è stato fatto in quattro aree in Europa, ciascuna con ben definite problematiche di gestione tipiche delle coste europee; uno di questi siti è Lido di Dante.

Descrizione del sito del Lido di Dante

Lido di Dante è una piccola località turistica dell’Emilia-Romagna, a 7 km dalla città di Ravenna, delimitata dalle foci dei fiumi Fiumi Uniti a Nord e Bevano a Sud. L’uso della spiaggia a scopo turistico ed i suoi grossi problemi di erosione, cominciati negli anni ‘70, ne hanno fatto un sito di notevole interesse scientifico per la ricerca in materia di

ingegneria costiera e gestione delle zone costiere. Il sito e le sue caratteristiche ambientali sono ampiamente descritte in letteratura. (Archetti et al., 2003, Lambertini et al., 2004, Armaroli et al., 2004).

La tendenza erosiva nella zona è dovuta al limitato apporto di sedimenti fluviali sulla costa e probabilmente anche alla forte subsidenza causata dall'emungimento di acqua di falda e dalla estrazione di gas metano proprio al largo del litorale stesso.

La parte settentrionale dell'area di studio (fig. 3) è protetta da tre pennelli perpendicolari alla costa e da una barriera semi-sommersa parallela, mentre la parte meridionale non è protetta da opere antropiche. Il sito risulta pertanto di particolare interesse, in quanto fornisce l'opportunità di studiare contemporaneamente e dallo stesso punto di osservazione la dinamica delle spiagge protette e di quelle non protette.

Presso Lido di Dante gli obiettivi strategici identificati riguardano:

1. La protezione dell'area di Lido di Dante dalle inondazioni, sia del centro urbano che della pineta retrostante la fascia dunare.
2. Il mantenimento della sicurezza alla balneazione e della qualità dell'acqua per la balneazione.
3. Il mantenimento della dimensione della spiaggia con lo scopo di soddisfare la domanda turistica.
4. La possibilità di controllare la presenza dei turisti.

Sistema Video a Lido di Dante: stazione ARGUS

Allo scopo di effettuare questo studio è stata installata in situ, in



Fig. 3. L'area di studio a Lido di Dante

un'area protetta dal punto di vista ambientale, una Stazione ARGUS: un sistema di 4 videocamere, localizzate su una torre di legno alta 18 m (fig. 4).

La videocamera orientata più a Sud riprende la spiaggia non protetta e le altre 3 osservano l'area protetta più vicina (fig. 5).

La configurazione ottimale dell'intero sistema video-computer permette di rettificare e fondere insieme le immagini provenienti dalle quattro videocamere, per creare un'unica vista della costa a 180° (fig. 6 e 7).

L'elemento chiave di una stazione ARGUS è costituito da una o più videocamere puntate obliquamente rispetto alla spiaggia connesse a un processore di immagini basato su un piccolo personal computer. Diversamente da



Fig. 4. Torre di monitoraggio del sistema ARGUS

un satellite orbitante, una stazione ARGUS ha bisogno di una “casa” che la protegga dalle intemperie, che sia fornita di elettricità e di una linea telefonica per comunicare con i computers di laboratorio.

Una volta installata, la stazione è programmata per acquisire in continuo immagini che possono essere di tre tipi: snapshot, ovvero un’istantanea, time-exposure, ossia la media delle istantanee su 10 minuti e variance, la varianza delle istantanee su 10 minuti (fig. 8).

Elaborazione dei dati Video

Le immagini oblique ricavate dalle stazioni ARGUS necessitano di ulteriori elaborazioni prima di fornire informazioni quantitative utili al gestore della costa. La *snapshot* fornisce una semplice visione delle caratteristiche della spiaggia in un preciso momento. Fra i tre tipi di immagini, la *time-exposure*, è quella con le maggio-



Fig. 5. Sistema video a Lido di Dante



Fig. 6. Vista panoramica di Lido di Dante

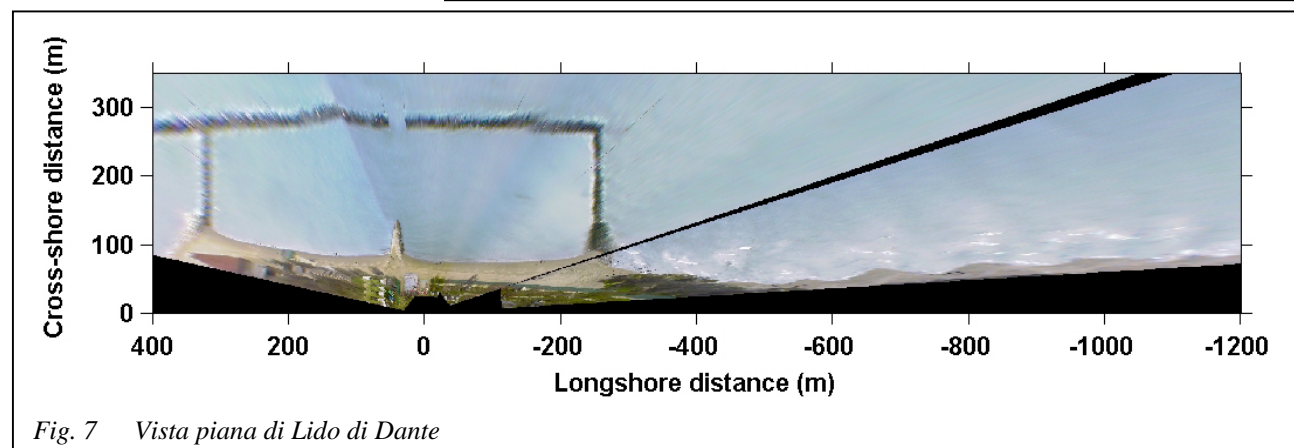


Fig. 7. Vista piana di Lido di Dante

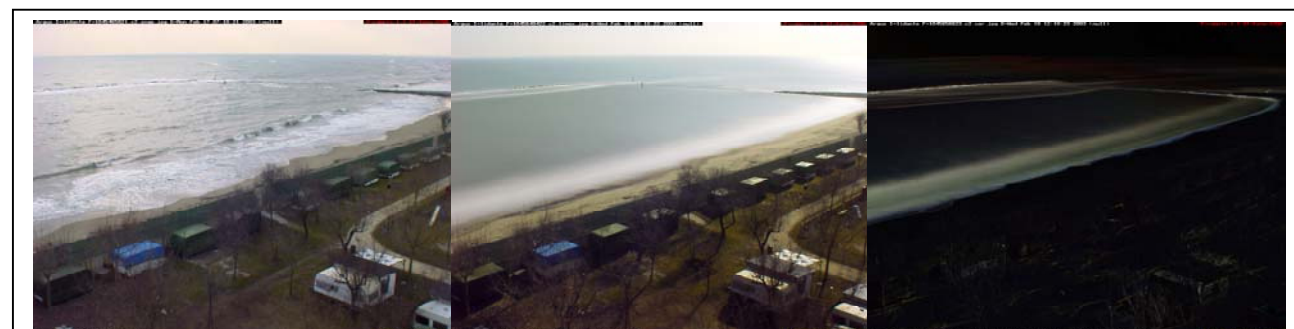


Fig. 8. Tipi di immagini standard (da sinistra a destra: snapshot, time exposure, variance)

ri potenzialità, nel fornire infor-

mazioni di tipo morfologico e idrodinamico. Questa immagine è in grado, infatti, di rilevare la posizione di elementi costieri, come la linea di battigia e le barre sommerse per la presenza di bande bianche che si formano, in conseguenza al processo di media temporale, in corrispondenza delle zone di maggior frangimento, vale a dire sopra le barre ed in prossimità della battigia. (Holman et. al. 1991 e Plant e Holman, 1997).

L'analisi della varianza delle immagini, invece, permette di distinguere le regioni in cui ci sono cambiamenti dinamici nel tempo, evidenziando le aree statiche come regioni scure e le aree non statiche come regioni luminose. La sabbia della spiaggia emersa, ad esempio, apparirà luminosa sia sulla *snapshot* che sulla *time-exposure*, ma scura nell'immagine di varianza, dove invece la zona dei frangenti (dinamica) appare luminosa. L'immagine di varianza, perciò, è

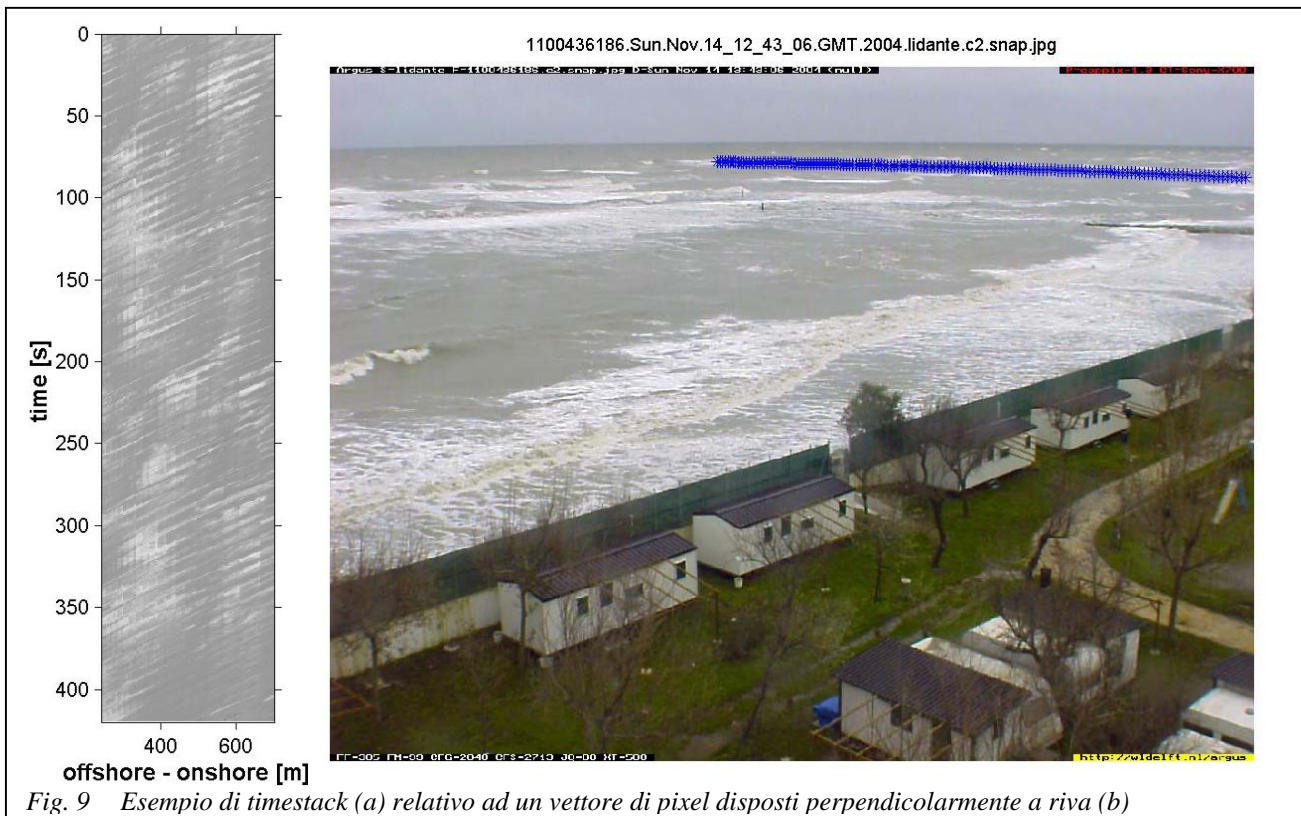
utile nel riconoscimento della posizione della linea di costa, identificata come separazione fra superficie luminosa e quella scura.

In generale, è possibile risalire al comportamento del sistema-spiaggia come risposta all'azione delle onde. I risultati ottenuti dalle varie stazioni sono poi immagazzinati in un database contenente la serie storica di tutte le informazioni di interesse per lo studio morfologico e idrodinamico della zona costiera, che successivamente possono essere usate per testare modelli riproducenti la dinamica dell'ambiente litoraneo.

Infine, la stazione ARGUS può essere programmata per acquisire, in rapida successione (alla frequenza di 2 Hz) la serie temporale dell'intensità dei *pixels* appartenenti ad un determinato vettore tracciato su un'immagine base, chiamata *timestack*. Ogni pixel dell'immagine, rappresenta così uno strumento virtuale. Possono essere inseriti negli stack

molti più pixel di quanti strumenti si possano installare in campo: tuttavia rispetto agli strumenti tradizionali (ADCP, correntometri), mirati a fornire una corrispondenza quantitativa precisa con le variabili fisiche del reale, l'immagine richiede una interpretazione del segnale di luminescenza non sempre immediata.

Questo tipo di elaborazione è utile soprattutto per risalire ad informazioni di tipo idrodinamico, come la celerità delle onde, le velocità delle correnti (Chickadel et al., 2003), l'intensità della risalita dell'onda sulla spiaggia (*run-up*). Un esempio di timestack, relativo ad un vettore di pixel disposto perpendicolarmente alla linea di riva, è riportato in figura 9. Nell'immagine timestack si ha sull'asse verticale il tempo e su quello orizzontale lo spazio. Le striature bianche indicano l'andamento dei frangenti delle onde.



Risultati

L'Università di Bologna, oltre ad avere coordinato e gestito la stazione di Lido di Dante, ha lavorato sia sull'analisi morfologica sia su quella idrodinamica della spiaggia protetta a Lido di Dante.

Per effettuare lo studio morfologico della spiaggia tramite il sistema video si è innanzitutto verificata l'accuratezza dei dati ricavati dalle immagini attraverso il confronto con misure tradizionali su un campione significativo di linee di riva. L'esito del confronto dei dati ARGUS con i dati delle misure dirette ha fornito la stima della dispersione dei primi rispetto ai secondi, che risulta assolutamente accettabile, considerando la dinamicità intrinseca dell'elemento linea di riva.

In seguito, lo studio delle variazioni della posizione della linea di riva effettuato sulle immagini medie giornaliere della spiaggia (*daytimex*) per l'intero anno 2004 ha permesso di evidenziare le dinamiche evolutive della spiaggia stessa ed anche di effettuare un'analisi preliminare di previsione del suo comportamento nel vicino futuro.

La ricostruzione della batimetria della spiaggia intermareale (Aarninkhof et al., 2003) effettuata sulle immagini *timex*, sempre relativamente all'anno 2004, ha portato poi alla valutazione quantitativa delle variazioni tridimensionali della spiaggia stessa, ed in particolare degli effetti causati su di essa dalle principali mareggiate. Per quanto riguarda lo studio dell'idrodinamica, attraverso gli *stack* temporali, cioè serie temporali di luminosità in alcuni punti prescelti sulla immagine, è stato possibile determinare il periodo d'onda, il numero d'onda, la dire-

zione di propagazione delle onde e le correnti longitudinali presso l'opera, e con qualche difficoltà (le tecniche sotto attualmente in sviluppo) l'altezza delle onde. Per ogni grandezza sono stati definiti appositi *timestacks* (Archetti e Lamberti, 2004).

Tramite il sistema video l'Università di Ferrara ha potuto studiare le variazioni topografiche della spiaggia intermareale a Sud delle opere di difesa e la morfodinamica delle barre che si sviluppano sul fondale adiacente. Il tratto di spiaggia qui preso in esame si estende dal pennello Sud dell'area protetta da difese costiere, sino alla foce del Bevano, un piccolo corso d'acqua a regime torrentizio.

Prima di svolgere lo studio in questione, come già fatto per la spiaggia protetta, sono stati svolti rilievi topografici ad alta risoluzione (DGPS RTK) per valutare l'errore relativo sulla posizione planimetrica ed altimetrica della linea di riva identificata tramite le immagini Argus (Armaroli et al., 2004).

Gli scopi dello studio delle variazioni morfologiche della fascia intertidale sono stati:

- Studiare l'impatto di mareggiate sulla posizione della linea di riva
- Valutare, lungo delle sezioni topografiche, le variazioni morfologiche della fascia intertidale, usando ARGUS come uno strumento topografico.
- Definire un "comportamento" dell'area in esame, distinguendo l'impatto di eventi ad alta energia da trend stagionali.

L'importanza dello studio delle variazioni morfologiche della spiaggia sommersa, ed, in particolare, della dinamica dei sistemi

di barre (antistanti il tratto di spiaggia naturale a Lido di Dante, monitorate tramite il sistema video ARGUS) risiede nella loro capacità naturale di difesa della spiaggia retrostante. Lo studio delle variazioni morfologiche della spiaggia sommersa nel corso dei primi due anni di monitoraggio indica una notevole capacità di recupero della spiaggia con sistemi di barre ben formate, che in seguito ad eventi di mareggiate "recuperano" la morfologia pre-evento nello spazio di pochi giorni (Armaroli et al., 2005).

La Regione Emilia-Romagna ha partecipato quale utente finale a questo programma di ricerca, per facilitare il trasferimento dei risultati e della tecnologia sul territorio. Nella prima parte del progetto ha definito, insieme alle altre due unità, gli indicatori di stato della costa (CSIs) relativi ai diversi obiettivi strategici, individuati nei settori di applicazione: difesa della costa, salvaguardia del turismo e della navigazione, tutela ambientale.

Le problematiche relative ai diversi campi sono state inquadrare in un unico schema di **procedura di riferimento**, che per ogni **obiettivo strategico** prevede il confronto della situazione reale con quella critica, rappresentata dai valori di soglia dei parametri definiti (CSIs); il superamento di tale soglia indica la necessità di avviare un opportuno processo d'intervento, alla fine del quale si effettua nuovamente una valutazione dello stato, chiudendo così il ciclo della procedura.

Un Esempio: valutazione delle necessità di un ripascimento artificiale. Stabilita la tendenza evolutiva media della linea di riva tramite la rilevazione continua e prolungata della sua posizione, e

fissato un valore di soglia per tale posizione, sulla base della situazione di massimo arretramento ammissibile, si riesce a stimare con sufficiente approssimazione se e quando si arriverà al livello di guardia, con la possibilità di far partire col dovuto anticipo la procedura d'intervento di manutenzione del ripascimento stesso.

Nella seconda parte del progetto, a partire dalle grandezze (CSIs) che è stato possibile stimare con la stazione ARGUS sono state individuate le principali aree di applicazione:

- sorveglianza e monitoraggio di zone critiche con forti dinamiche evolutive, o ad alto rischio di erosione o ingressione marina in presenza di infrastrutture o fragilità di sistema, e controllo dello spostamento delle barre di fondo della spiaggia sommersa;
- supporto ai tecnici prima, durante e dopo gli interventi di difesa della costa, ad es. per la sorveglianza di ripascimenti e di zone con difese rigide (scogliere e pennelli) o attigue a moli portuali o foci fluviali;
- controllo in continuo di situazioni complesse, non facilmente sintetizzabili con misurazioni a posteriori, come ad es. l'evoluzione del comportamento di opere di difesa durante eventi estremi di tempesta e nell'arco di più eventi in una stagione;
- controllo ambientale delle dune, del complesso vegetazionale o utilizzo a scopo antincendio;
- studi sulla frequentazione delle spiagge per il turismo, inerenti la *carring capacity*, il controllo delle presenze, la sicurezza della balneazione, senza dimenticare il sempre possibile uso promozionale

via web delle immagini della spiaggia;

- controllo dei porti turistici e dell'insabbiamento dei canali di accesso per la navigazione e la sicurezza del piccolo cabotaggio connesso con l'uso balneare dei litorali.

Le attività di analisi sono ancora in corso; sino ad ora possiamo confermare che le potenzialità del sistema di videomonitoraggio sono molto rilevanti e promettenti.

Bibliografia

- Albertazzi C., R. Archetti, C. Armaroli, M. Ceroni, P. Ciavola, A. Lamberti, S. Medri (2003). The Coastview Project. Proc. of the VI MEDCOAST International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, 7 – 10 October 2003. Ravenna. Italy. Ed E. Ozhan (Ed.) pp 235 – 246. 2003.
- Aarninkhof S., Turner I. L., Dronkers T.D.T., Caljouw M. and Leann Nipius. (2003). A video-based technique for mapping intertidal beach bathymetry. *Coastal Engineering*, Volume 49, Issue 4, October 2003, Pages 275-289.
- Archetti R. e Lamberti A. (2004). Monitoraggio idrodinamico di una spiaggia protetta. Confronto tra misure ed elaborazioni di immagini. (2004). Proc. XXIX Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Trento, 7-10 settembre 2004. pp. 663 - 670.
- Archetti R., Tirindelli M., Lamberti A. (2003). Field measurements of hydrodynamics around a beach defense system. Proc. Coastal Structures ASCE. 2003.
- Armaroli C., Ciavola P., Balouin Y. e Gatti M. (2004). An integrated study of shoreline variability using GIS and ARGUS techniques. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 39, in stampa.
- Armaroli, C., Balouin, Y., Ciavola, P. e Gardelli, M. (2005). Bar changes due to storm events using Argus: Lido di Dante, Italy. Proceedings of Coastal Dynamics 2005, Barcelona, Spain, American Society of Civil Engineers, in press.
- Chickadel, C. C., R. A. Holman, and M. H. Freilich. (2003). An optical technique for the measurement of longshore currents, *J. Geophys. Res.*, 108(C11), 3364, doi:10.1029/2003JC001774.
- Holman R.A., Lippmann T. C., O'Neill P. V., Hathaway K. (1991). Video estimation of buarial beach profiles. *Marine Geology* 97, 225-231
- Lamberti A., R. Archetti, M. Kramer; D. Paphitis; C. Mosso, M. Di Risio. Prototype experience regarding low crested structures. Under review *Coastal Engineering* Special Issue. Elsevier Ed.
- Plant N. and Holman R.A.. Intertidal beach profile estimation using video images. (1997). *Marine Geology* 140, 1-24, 1997.