

## **Sistema WEBGIS di monitoraggio satellitare delle coste della Provincia di Lecce - SIMONCOSTA**

Luisa STERPONI (\*), Cesar URRUTIA (\*), Silvia CIURLIA(\*), Stefania DE PASCALIS(\*),  
Antonio MOSCHETTINI(\*\*)

(\*) SPACEDAT SRL, Via Duca degli Abruzzi 57, Lecce, tel 0832308505, fax 0832308505, e-mail info@spacedat.com  
(\*\*)SIT Provincia di Lecce, via Umberto I, 13 Lecce – Tel. 0832 683805 e-mail [amoschettini@provincia.le.it](mailto:amoschettini@provincia.le.it)

### **Riassunto**

Il SIMONCOSTA è un sistema GIS di monitoraggio satellitare dell'erosione costiera e del processo di degrado delle risorse naturali. Rappresenta uno strumento operativo estremamente innovativo per la formulazione di proposte pratiche di intervento finalizzate a contrastare tali fenomeni. La componente innovativa risiede nelle tecnologie all'avanguardia utilizzate (GPS differenziale, Telerilevamento Satellitare, GIS, WEBGIS) e nella loro integrazione.

Il sistema è oggi operativo per le seguenti attività:

- Caratterizzazione delle dune costiere e generazione del DTM
- Analisi dell'Uso del suolo e dello stato delle risorse naturali in prossimità della costa
- Mappatura delle praterie di posidonia
- Individuazione degli incendi boschivi e perimetraggio delle aree incendiate
- Analisi dell'evoluzione della linea di costa dal 1972
- Valutazione dei trend evolutivi costieri, della suscettibilità e del rischio di erosione
- Indicazione di interventi di mitigazione dell'erosione e degrado delle risorse
- Integrazione e restituzione di tutte le cartografie ed informazioni mediante un WebGIS

### **Abstract**

SIMONCOSTA is a decision support system that allows environmental managers and policy makers with a tool to monitor their coastal resources and to associate to each coastal area the best type of intervention needed to solve a problem related to the erosion or degradation. The system integrates the latest technological instruments like Remote Sensing, G.I.S, WEBGIS and high precision G.P.S to monitor continuously a number of parameters like:

- coastal evolution trends, erosion susceptibility and risk
- dune health and dunes in 3D
- identifying forest fires and creating a perimeter of the burnt area
- vegetation index and land cover
- seagrass - posidonia beds map

### **Introduzione**

In Puglia la gran parte delle coste è soggetta ad erosione. Questo fenomeno sta modificando rapidamente le morfologie e le potenzialità di fruizione del patrimonio ambientale costiero (Caldara et al., 1998). Lo studio sulla situazione climatica ed ambientale appena concluso dall'Unione Europea ed effettuato utilizzando, tra l'altro, la tecnologia satellitare, sottolinea il forte impatto negativo che potrà avere il riscaldamento globale sulle coste italiane nei prossimi 70 anni, in particolare nelle regioni meridionali per la siccità, erosione costiera, innalzamento del livello del mare ed incendi. A livello europeo e mondiale il problema è stato affrontato avviando la creazione di banche dati strutturate con le metodologie GIS, contenenti variabili utili per la caratterizzazione ambientale finalizzata alla valutazione dei rischi associati all'area costiera.

Al fine di contribuire alla tutela di questi ambienti così preziosi e, nel contempo, così fragili, la Provincia di Lecce, nell'anno 2005, ha elaborato il bando per la Implementazione di un sistema

G.I.S. di monitoraggio continuo dell'evoluzione della linea di costa e di valutazione dello stato di conservazione delle aree costiere della Provincia di Lecce. Gli obiettivi principali che la Provincia ha inteso perseguire con le attività previste nel bando sono:

- il monitoraggio approfondito e continuo del fenomeno dell'erosione costiera e del processo di degrado delle risorse naturali (progressiva riduzione delle dune costiere, incendi e degrado nei boschi, nelle pinete e nelle zone a macchia mediterranea situate lungo la costa, ecc.);
- la ricerca delle principali cause che generano e/o favoriscono l'erosione costiera ed i processi di degrado delle risorse naturali;
- la formulazione di proposte pratiche di intervento finalizzate a contrastare i fenomeni suddetti al fine di garantire la fruizione eco-compatibile del patrimonio ambientale costiero.

### **Aree di Implementazione**

Il sistema di monitoraggio SIMON-costa è stato sviluppato per l'intera area costiera della Provincia di Lecce ed è stato implementato in tre aree costiere:

- "Baia di Gallipoli", 9 km – municipalità di Gallipoli
- "Torre dell'Orso – Torre S.Stefano" 15 km - municipalità di Melendugno e di Otranto
- "Casalabate -Torre Rinalda" 3,760 km - municipalità di Lecce.

La scelta di tali aree di indagine è stata determinata dalla necessità di investigare, in prima istanza, tratti costieri a rilevante valore naturalistico-ecologico ed anche turistico-economico appartenenti, però, a versanti opposti (jonico e adriatico) al fine di individuare, tra l'altro, l'influenza che la diversa esposizione alle correnti può avere sui fenomeni di degrado evidenziati.

Le aree indicate si sviluppano, verso il lato terra per un'estensione di 3 Km, verso il lato mare per un'estensione di circa 2 Km. In generale la morfologia di queste aree risulta alquanto compromessa a causa di una tendenza generale all'instabilità della linea di riva, tanto più grave quanto più il litorale è stato soggetto ad un utilizzo intensivo a scopi turistici. I morfotipi costieri presenti nelle aree monitorate sono: spiaggia, costa rocciosa digradante piana, rappresentata da un piano dolcemente digradante verso il mare o suborizzontale, generalmente intagliato in calcari e calcareniti, che si raccorda con il livello del mare senza sensibili dislivelli altimetrici (Mastronuzzi et al., 1987) e costa rocciosa a falesia, rappresentata da una ripida parete rocciosa, generalmente priva di vegetazione, corrispondente alla superficie di distacco di frane da crollo indotte dall'azione di scalzamento al piede da parte del moto ondoso ( Di Lorenzo et al., 2001).

### **Descrizione del sistema**

Il SIMONCOSTA è un innovativo sistema di monitoraggio satellitare delle coste interfacciato sul WEB e costituisce, per la Provincia di Lecce, uno strumento gestionale all'avanguardia, operativo e di grande applicabilità, che vuole fornire alle amministrazioni provinciale e comunali un supporto concreto per la pianificazione territoriale delle coste e per l'uso sostenibile delle risorse naturali costiere.

Il principale obiettivo del sistema è stato quello di sviluppare una metodologia innovativa, ad alto contenuto tecnologico, per il monitoraggio continuo del fenomeno dell'erosione costiera e del processo di degrado delle risorse naturali, che fosse replicabile nel tempo e sostenibile da un punto di vista tecnico-economico. La forte componente innovativa del sistema risiede nell'utilizzo e nell'integrazione delle tecnologie oggi all'avanguardia nel campo del monitoraggio ed analisi ambientale quali il Telerilevamento Satellitare, i sistemi G.I.S. interfacciati sul web (WebGIS), i sistemi differenziali di posizionamento geografico (D.G.P.S.).

Il sistema garantisce oggi un efficace e preciso controllo dell'erosione e del degrado costiero mediante le seguenti attività:

- Analisi delle dune costiere e generazione del DTM
- Analisi dell'Uso del suolo e dello stato delle altre risorse naturali in prossimità della costa
- Analisi dell'ambiente marino costiero tramite la mappatura delle praterie di posidonia;
- Individuazione tramite satellite, degli incendi boschivi nelle zone a macchia mediterranea;

- Analisi dell'evoluzione della linea di costa e valutazione del rischio di erosione e degrado delle risorse naturali;
- Generazione di carte tematiche di sintesi, a scala 1:10.000, rappresentative dei diversi parametri analizzati;
- Indicazione su una mappa degli interventi di mitigazione del rischio di erosione e degradazione delle risorse naturali consigliati
- Organizzazione di tutte le informazioni in databases geografici aggiornabili ed relazionabili
- Restituzione di tutte le cartografie ed informazioni prodotte mediante un sistema WebGIS aggiornabile e predisposto alla gestione di altri fenomeni o rischi ambientali

### **Materiali e metodi**

I dati telerilevati da piattaforme satellitari, per le loro caratteristiche di sinotticità e multitemporalità, risultano essere lo strumento più idoneo per l'acquisizione di informazioni sul territorio, per il loro aggiornamento e per lo studio ed il controllo continuativo di fenomeni ambientali dinamici come l'erosione costiera. La disponibilità di sistemi di posizionamento satellitare ad altissima precisione (GPS differenziali) permette di acquisire dati in situ in grado di validare i risultati delle analisi eseguite da remoto, di supportare lo sviluppo di algoritmi di estrazione di dati dalle immagini satellitari e di generare modelli digitali di elevazione del terreno (DTM) di grande dettaglio.

I sistemi GIS integrano in maniera ottimale le possibilità offerte dalla tecnologia satellitare in quanto forniscono uno spazio su cui visualizzare, interrogare ed elaborare simultaneamente le diverse informazioni raccolte sul territorio. La possibilità di interfacciare e di integrare le cartografie prodotte nei sistemi informativi delle Pubbliche Amministrazioni e di consentirne l'accesso attraverso un semplice computer collegato ad internet, contribuisce infine a generare uno strumento di facile utilizzo, grande fruibilità e forte impatto.

Per la generazione delle banche dati sono state utilizzate un totale di 20 immagini telerilevate (aeree e satellitari Ikonos e Quickbird) dall'anno 1972 al 2006 e sono state effettuate dieci campagne di rilievi in situ mediante dispositivo GPS differenziale.

### **Analisi delle dune costiere e generazione del DTM**

Nell'ambito del progetto sono state effettuate delle campagne di rilievi in situ con l'ausilio del sistema satellitare G.P.S. differenziale. I dati puntuali e lineari raccolti sono stati elaborati per la generazione dei TIN (Triangulated Irregular Network) e per ottenere, grazie all'unione dei modelli digitali del terreno (5m di risoluzione) e delle immagini satellitari ad alta risoluzione, una rappresentazione reale in 3D della morfologia dunale.

Durante i rilievi in situ sono state anche raccolte le informazioni per la creazione della banca dati delle dune e sono state descritte le loro principali caratteristiche (stato di conservazione, tipo di limite interno; tipo di vegetazione presente sulla duna; l'ampiezza della duna; la distanza dal piede della duna alla linea di costa attuale etc.)

### **Analisi dell'Uso del suolo e dello stato delle altre risorse naturali in prossimità della costa**

Un importante aspetto analizzato dal sistema è l'uso del suolo e dei suoi cambiamenti nel tempo, di cui è necessario il monitoraggio per valutare l'antropizzazione della fascia costiera ed il suo impatto sull'estensione delle aree naturali.

La generazione di mappe di uso del suolo, restituite a scala 1:10.000, è avvenuta mediante vettorializzazione supportata dalla classificazione *supervised* (algoritmo *Maximum Likelihood*) dei dati satellitari, dalla loro fotointerpretazione e dai risultati dei rilievi in situ. Per la classificazione è stato utilizzato, come standard di riferimento, il progetto europeo "*Corine Land Cover*"; in particolare sono state restituite mappe relative alle classi del livello 3.

Per l'analisi dei cambiamenti nell'uso del suolo è stata applicata la tecnica del "*change detection*" [2]. Le immagini satellitari ottenute mediante l'applicazione del *change detection* su dati ad alta

risoluzione Quickbird e Ikonos (Gallipoli dall'anno 2003 al 2005, Torre dell'Orso-Torre S.Stefano dal 2005 al 2006) sono state importate nel GIS ed utilizzate per la vettorializzazione dei poligoni relativi ai cambiamenti avvenuti.

Per quanto riguarda la valutazione dello stato e dell'evoluzione delle risorse naturali associate all'ecosistema costiero (pinete, boschi, zone a macchia etc.) è stato selezionato un algoritmo di elaborazione delle immagini satellitari per la valutazione dello stato della vegetazione denominato *Normalized Difference Vegetation Index*

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R) [1]$$

NIR = l'intensità della radiazione riflessa alle lunghezze d'onda del vicino infrarosso

R = intensità della radiazione riflessa alle lunghezze d'onda del rosso

L'applicazione dell'NDVI genera immagini rappresentative della presenza e dello stato della vegetazione, è infatti un indice correlato all'attività fotosintetica della vegetazione stessa.

### **Analisi dell'ambiente marino costiero tramite la mappatura delle praterie di posidonia;**

La vegetazione sommersa e le praterie di posidonia in particolare, costituiscono una insostituibile protezione contro l'erosione delle coste. La loro presenza costituisce una barriera naturale contro le correnti ed un efficace ammortizzatore delle forze delle onde.

Il SIMONCOSTA offre la possibilità di mappare le praterie di posidonia e di monitorare la loro evoluzione nel tempo grazie allo sviluppo di una metodologia innovativa di classificazione mediante immagini satellitari e rilievi in situ. La metodologia prevede l'utilizzo di dati satellitari ad alta risoluzione (Quickbird ed Ikonos) elaborati attraverso l'analisi spettrale dei dati e l'applicazione di un classificatore "*unsupervised*". Per la messa a punto della metodologia sono state effettuate delle campagne di raccolta dati in situ mediante GPS e di analisi dei fondali marini attraverso immersione. La procedura sviluppata permette ad oggi una analisi della vegetazione sommersa fino a 10m di profondità. I dati di verità a terra hanno rivelato una ottima capacità di mappare la vegetazione sommersa all'interno di questo *range*. Nelle aree con fondale roccioso, come quello di Casalabate, è stata riscontrata maggiore difficoltà nella distinzione tra le aree dove è presente la vegetazione sommersa e quelle a fondale roccioso.

### **Individuazione e perimetraggio, tramite satellite, degli incendi boschivi nelle zone a macchia mediterranea situate lungo la costa;**

Il SIMONCOSTA è stato sviluppato per monitorare anche l'effetto degli incendi sulla conservazione delle risorse costiere. Il sistema è in grado di:

- Individuare gli incendi tramite sensori satellitari termici
- Perimetrare le aree incendiate mediante l'elaborazione di immagini satellitari ad alta risoluzione.
- Integrare i dati del Corpo Forestale dello Stato relativi al catasto delle aree percorse dal fuoco

La procedura utilizzata per identificare gli incendi si basa sull'elaborazione di immagini satellitari del sensore MODIS per l'individuazione degli HotSpots. Il SIMONCOSTA, in risposta alla normativa nazionale e sfruttando le proprietà chimico fisiche della vegetazione permette poi il censimento delle aree incendiate mediante immagini satellitari ad alta risoluzione. A questo scopo vengono utilizzati degli appositi indici di vegetazione (NDVI[1]). Dopo aver analizzato le immagini ottenute dall'applicazione degli indici di vegetazione, si procede al calcolo della differenza tra gli indici in immagini acquisite in periodi diversi sulla stessa area. La formula matematica da applicare è conosciuta come Change Detection

$$DX_{ijk} = BV_{ijk} (1) - BV_{ijk} [2]$$

DX<sub>ijk</sub> = matrice dei valori di differenza

BV<sub>ijk</sub> (1) = NDVI o altro indice di vegetazione dell'immagine al tempo1

BV<sub>ijk</sub> (2) = NDVI o altro indice di vegetazione dell'immagine al tempo2

### **Analisi approfondita dell'evoluzione della linea di costa e valutazione del rischio di erosione**

Un aspetto fondamentale da analizzare per valutare e monitorare lo stato delle aree costiere è la loro tendenza evolutiva, basata sul cambiamento nella posizione della linea di costa.

Il SIMONCOSTA prevede in questo senso:

- analisi della posizione della linea di costa
- valutazione dei trend evolutivi
- calcolo della suscettibilità all'erosione e dell'indice di resilienza
- valutazione del rischio di erosione e degrado delle risorse naturali

Per l'estrazione e vettorializzazione della linea di costa sono state utilizzate immagini aeree (1972 - 2001) ed immagini satellitari (2003 – 2006). Le linee di costa sono state estratte dalle immagini mediante l'applicazione di filtri direzionali, combinazione di bande spettrali, fotointerpretazione e successiva vettorializzazione. I vettori ottenuti sono stati processati per la stima dei trend evolutivi tenendo conto dei limiti di accuratezza posizionale e della qualità dei dati di origine. Per l'elaborazione è stato utilizzato il software DSAS, sviluppato dall'USGS, che ha consentito, lungo transetti posizionati ogni 10 m lungo la linea di riva, la stima degli spostamenti, dell'entità di arenile progradato o eroso e l'individuazione puntuale dei *trends* evolutivi.

Per la valutazione della suscettibilità all'erosione, della resilienza e del rischio di erosione, sono state utilizzate le metodologie sviluppate nell'ambito del progetto SELSY.

$$IS = Ar (Tiniz - Tfin) / Am (Tfin) [3]$$

IS = Indice Suscettibilità all'erosione

Ar = Entità di arretramento

Am = Ampiezza attuale della spiaggia

Tiniz = Anno iniziale

Tfin = Anno finale (attuale)

$$IR = Ar / (Am * RI) [4]$$

IR = Indice di resilienza

Ar = l'entità dell'arretramento

Am = l'ampiezza della spiaggia attuale

RI = indicatore semiquantitativo definito in base alla presenza e stato delle dune costiere

RI = DAm \* R#

Dam = ampiezza della spiaggia antistante la duna

R = fattore che corrisponde alla classificazione dello stato delle dune

R1- R4 = 4 -1 (dune ben conservate e integre nella loro morfologia - dune profondamente dissecate senza continuità laterale)

$$RISCHIO = IS \times IR \times N [5]$$

IS = Indice di Suscettibilità

IR = Indice di Resilienza

N = Valore associato al Limite Interno delle Dune

### **Indicazione su una mappa degli interventi di mitigazione del rischio di erosione e degradazione delle risorse naturali consigliati**

In base ai parametri osservati e monitorati nell'ambito del sistema sono state elaborate misure di intervento atte a risanare il precario stato delle risorse naturali coinvolte o a modificare le pertinenze e le indicazioni riportate negli strumenti della pianificazione dell'assetto territoriale. La metodologia utilizzata nel sistema per le indagini e le elaborazioni può essere descritta dal seguente schema metodologico:

1. rilievo fitosociologico e dei parametri ambientali sul campo;
2. rilievo della flora, di eventuali specie delle liste rosse e di interesse fitogeografico;
3. dinamica della vegetazione e. vegetazione potenziale;
5. rilievo degli habitat di interesse comunitario;
6. rilievo dei fattori limitanti e di minaccia degli habitat e delle specie;
7. idoneità al recupero ambientale e definizione degli interventi;

8. eventuali progetti già attuati o in fase di attuazione;

9. rappresentazione cartografica dei dati

Sono stati tracciati complessivamente 15 transetti di campionamento, di cui 4 nell'area Jonica (Gallipoli) e 11 nell'area Adriatica, 5 nel Comune di Melendugno - T.re dell'Orso e 6 a Otranto.

### **Restituzione di tutte le cartografie ed informazioni prodotte mediante un sistema WebGIS**

Tutti i dati raccolti durante lo sviluppo del sistema, tutte le informazioni generate e le immagini acquisite sono state integrate, rappresentate su carte tematiche scala 1:10.000 ed inserite in un sistema informativo geografico interfacciato sul web (WEBGIS).

Il sistema è stato realizzato secondo una architettura a tre livelli: il primo livello è rappresentato dall'utente che accede al sistema tramite una serie di interfacce Web; il secondo livello è costituito da pagine dinamiche prodotte dal WebGIS che, prendendo in input le richieste dell'utente, seleziona i layer interrogando il Map Server (ovvero il terzo livello dell'architettura) e restituisce l'immagine composta dai diversi layers. Sono stati definiti due profili di utenti: il profilo generico e quello con accesso privilegiato, riservato agli amministratori del sistema. Il modulo Web GIS è stato implementato con tecnologia PHP. In particolare è stato utilizzato il software GIS "opensource" MapServer a cui si accede tramite MapScript PHP

### **Risultati**

L'applicazione del SIMONCOSTA sulle aree pilota, ha dimostrato l'efficacia delle tecnologie utilizzate nel fornire informazioni sintetiche ma puntuali sullo stato di salute delle risorse costiere, sulla loro evoluzione e nel definire gli interventi migliori per il recupero o la conservazione.

Le analisi eseguite hanno confermato la presenza di una situazione critica in molti dei tratti costieri esaminati ed hanno evidenziato un generale degrado delle risorse, in particolare delle dune. Dai dati riportati si può notare che in tutte le aree pilota più del 40% dei tratti sabbiosi è in erosione con valori massimi di trend erosivo pari a -1,5 m/anno.

I campionamenti effettuati in situ hanno fornito un quadro dettagliato sullo stato degli habitat dunali, rivelando una generale erosione dei cordoni e la mancanza, in molti casi, di una tipica successione vegetazionale ad indicare l'effettivo degrado degli habitat stessi. In particolare nelle aree di Gallipoli e Casalabate le dune sono risultate esser in uno stato che rende necessari urgenti interventi di recupero.

Le informazioni riguardanti lo stato del litorale ed i relativi interventi più idonei per il recupero, sono state sintetizzate e rappresentate nel GIS mediante la ripartizione della costa in tipologie di tratto omogenee ad ognuna delle quali è stata associata estensione, tipologia di intervento e costo in metri lineari.

L'analisi delle correlazioni ha evidenziato un legame tra lo stato delle dune e l'entità dell'arretramento. L'incidenza maggiore dell'erosione è stata infatti misurata in corrispondenza dei tratti privi di dune o dove le dune sono particolarmente degradate, a conferma delle teorie che indicano le dune come importanti elementi di contrasto ai fenomeni erosivi. Il SIMONCOSTA ha permesso di mettere in luce anche l'importante azione che esercitano le praterie di posidonia per la difesa delle coste dall'erosione. Nell'area di Gallipoli infatti il tratto maggiormente soggetto all'erosione coincide con l'area priva vegetazione sommersa o dove la sua presenza è nettamente minore.

### **Riferimenti bibliografici**

Caldara M. et al. (1998), "Features and present evolution of Apulian coast (southern Italy)", *J.Coastal Res.*, SI (26), 55-64.

Mastronuzzi G. et al. (1987), "Osservazioni sulle caratteristiche fisiografiche dei litorali del Salento", *Quad.Ric.Centro Studi Geot. e di Ing.*, 11, pp. 223-237

Dilorenzo G., et al. (2001) "Banca dati geografici in rete: le spiagge del salento leccese. (spiaggosalento.unile.it)" *Riv. Geogr. Ital.* 108, pp. 631 – 645.