

Valutazione del rischio costiero mediante tecniche GIS del litorale di Pula (Sardegna Sud-occidentale)

Felice Di Gregorio (*), Marco Pusceddu (*), Andrea Serreli (*)

(*) Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Cagliari, Laboratorio di Geologia Ambientale e Termografia, Via Trentino n°51, 09127 Cagliari, tel. 070.6757778, digregof@unica.it.

Riassunto

Vengono presentati i risultati di una ricerca sul rischio costiero nel litorale di Pula (Sardegna Sud-occidentale) nel tratto compreso tra Pinus Village e Porto Columbu. Lo studio è stato condotto mediante l'applicazione di metodologie di indagine territoriale finalizzate alla identificazione ed alla valutazione del rischio geoambientale di origine naturale o influenzato dalle attività antropiche. Strumento fondamentale del lavoro svolto è stato il Sistema Informativo della Costa, realizzato al fine di poter operare, mediante software GIS e con operazioni di analisi spaziale, su dati inerenti i caratteri fisici, ambientali e antropici al fine di individuare la pericolosità naturale e la vulnerabilità del litorale studiato dalle quali desumere poi il livello di rischio. L'archiviazione e la gestione delle varie informazioni in un database geografico relazionale consente il continuo aggiornamento e adattamento dinamico dei modelli applicati alle variazioni spazio-temporali che caratterizzano l'area studio; inoltre consente lo sviluppo di applicazioni per la valutazione quantitativa previsionale del rischio costiero in relazione ad iniziative di pianificazione o anche a variazioni di destinazione d'uso del territorio.

Le diverse fasi operative del lavoro hanno visto la catalogazione in *datasets* di tutte le informazioni di base e di rappresentazione degli aspetti naturali e antropici del territorio analizzato; sono state inoltre individuate, attraverso rilievi sul campo, analisi di laboratorio e successive elaborazioni, le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, sedimentologiche, morfometriche, di uso del territorio nei diversi anni, nonché l'evoluzione della linea di riva negli ultimi quaranta anni.

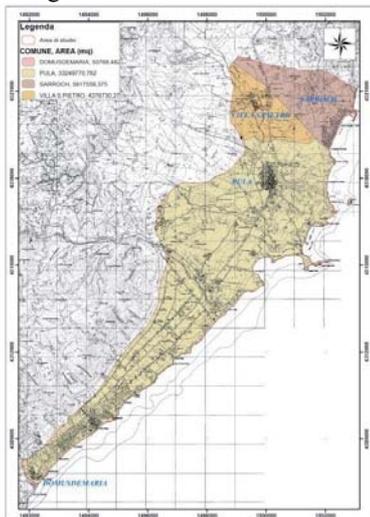
Abstract

This paper shows the results of a research project concerning environmental risk assessment in the coastal area of Santa Margherita di Pula (South-West Sardinia), between Pinus Village and Porto Columbu. The present study has been carried out using environmental investigation methodologies oriented to identify and evaluate coastal erosion risk caused both by natural phenomena and by man-induced causes. In order to organize and manage data dealing with physical, environmental and geological aspects, in a GIS environment, using spatial analysis techniques, and in order to assess environmental hazard, coastal vulnerability and consequently environmental risk, a GIS was realized. Record keeping and management of data in a geographical relational database allow a continuous upgrade process and the dynamic adaptation of environmental models to best fit to expected quantitative assessment of coastal risk with relation to both planning actions or land use transformation.

The different steps of the work have been carried out with the cataloguing, into various datasets, of all the bases and representation data for natural and human characteristics of the studied area; furthermore with direct investigation methodologies, laboratory analysis and subsequent data processing, all geologic, hydrogeologic, sedimentologic, morphometric, and of land use characteristics in several years, as well as the evolution of the shoreline in the last 40 years, have been studied.

Modello concettuale

Il tratto costiero oggetto di studio, ubicato a occidente del Golfo di Cagliari, si estende per una lunghezza di circa 27 km, tra Pinus Village e Porto Columbu (Fig1) e risulta orientato in prevalenza a Sud-Est. Il territorio complessivamente indagato si spinge nell'entroterra per una distanza media di 2 km dalla linea di costa comprendendo complessivamente una superficie di circa 40 kmq. L'organizzazione dello studio di ricerca è stato articolato in più fasi operative, durante le quali è



stato creato un database geografico, elaborando un modello concettuale di riferimento, appositamente orientato per lo sviluppo delle applicazioni GIS adoperate per la redazione delle informazioni di sintesi e riguardanti gli obiettivi della ricerca nel territorio preso in esame (Fig. 2). Parallelamente alla ricerca di dati da implementare nel SIT, è stata condotta una ricerca bibliografica e telematica utile a raccogliere le opere della letteratura scientifica nel settore della geologia ambientale, della geologia marina, della geomorfologia, della geomorfologia costiera e del paesaggio. Poiché l'obiettivo della ricerca stabilito è stato quello di costruire un Sistema Informativo Territoriale utile per la gestione di dati ambientali ed orientato verso le problematiche di rischio geoambientale, il modello concettuale è stato inizialmente progettato per raccogliere diversi sets di informazioni, necessari per la conoscenza delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio, per definirne lo stato di fatto oltre che per poter rappresentare queste informazioni su diversa scala e su diversi supporti. In quest'ottica è apparso importante raccogliere il

Figura 1 - Area oggetto di studio

maggior numero di informazioni disponibili ed organizzare tali informazioni, con lo scopo di renderle facilmente gestibili e reperibili all'interno del database geografico.

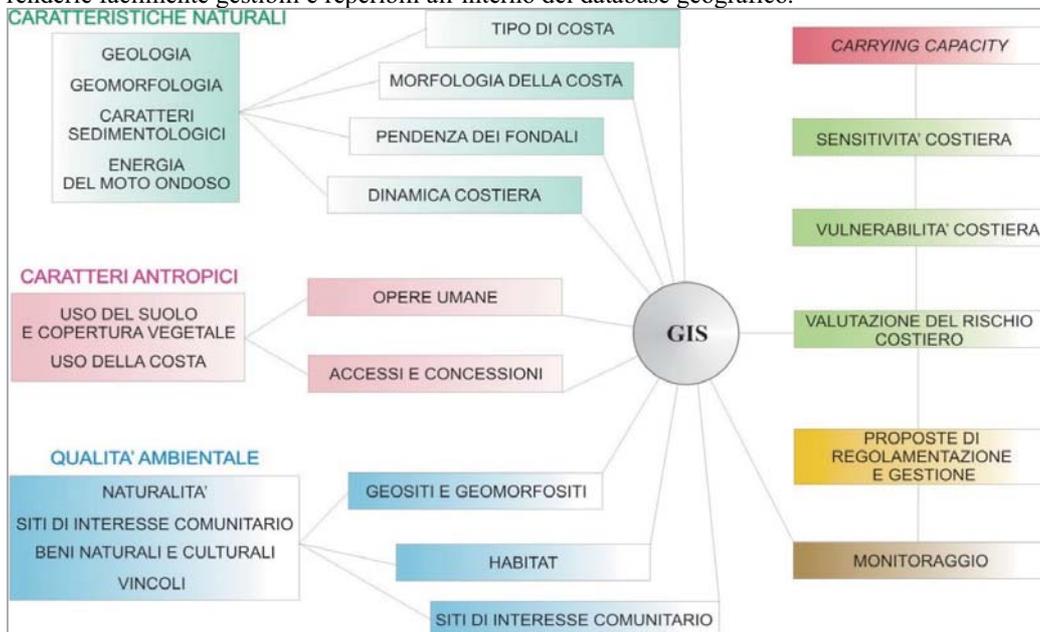


Figura 2 - Schema metodologico utilizzato per l'elaborazione dei dati di sintesi, per l'implementazione degli stessi in ambiente GIS al fine di valutare la e il rischio costiero a supporto delle azioni di gestione e monitoraggio.

Rischio costiero

Attraverso i datasets ambientali di input sono stati selezionati e applicati moduli GIS orientati e modelli matematici per la creazione di dati geografici di sintesi con i quali sono state quantificate e localizzate nello spazio le informazioni derivate dall'analisi numerica e cartografica. Sono state pertanto analizzate e sintetizzate, in un database geografico derivato, le problematiche di rischio costiero secondo i seguenti obiettivi:

- studio e analisi della pericolosità costiera, connessa a fenomeni di natura ambientale, mettendo in evidenza il legame che esiste tra l'uso del suolo e i processi naturali che si rilevano nel territorio indagato;
- studio e analisi della vulnerabilità per mezzo di metodologie innovative e applicazioni informatiche.

La metodologia utilizzata per la quantificazione del rischio costiero nel territorio dell'area di studio si basa sull'elaborazione di indicatori utilizzati nell'ambito del progetto EUROSION.

Il progetto EUROSION è stato finanziato dalla Commissione Europea con la finalità di studiare e quantificare l'erosione costiera in Europa.

I risultati dello studio eseguito sono stati pubblicati nel 2004 e hanno permesso di ottenere, tra gli altri risultati, una valutazione cartografica della vulnerabilità al rischio di erosione costiera, basata su dati spaziali e analisi GIS (Commissione Europea, 2004).

La metodologia utilizzata nell'ambito del progetto EUROSION si basa sulla definizione di indicatori di stato e pressione e di indicatori di impatto da quantificare all'interno di un tratto di costa identificato dall'area che si ritiene soggetta all'erosione.

Il primo passo nell'applicazione della metodologia di valutazione del rischio consiste nella delimitazione di tale area, denominata RICE (*Radium of Influence of Coastal Erosion*) e intesa come l'area potenzialmente soggetta a fenomeni di erosione e di inondazione nei prossimi 100 anni. La delimitazione dell'area di RICE è stata determinata considerando la fascia di 500 metri parallela alla costa (Figura 3).

Nella valutazione del rischio ambientale dell'area esaminata in questo studio, si è cercato di operare in maniera organica, suddividendo tutta l'area di RICE in più sottoaree a caratteristiche omogenee, per cui indicatori utili per l'analisi del rischio sono stati valutati per i seguenti tratti costieri, oltre che per l'intera costa in studio (Figura 3):

- Area 1, compresa tra Pinus Village e Cala Bernardini;
- Area 2, compresa tra Cala Bernardini e Forte Village;
- Area 3, compresa tra Forte Village e il porticciolo di Cala Verde;
- Area 4, compresa tra il suddetto porticciolo e l'albergo Is Morus;
- Area 5, dall'albergo Is Morus fino alla Torre di Cala d'Ostia;

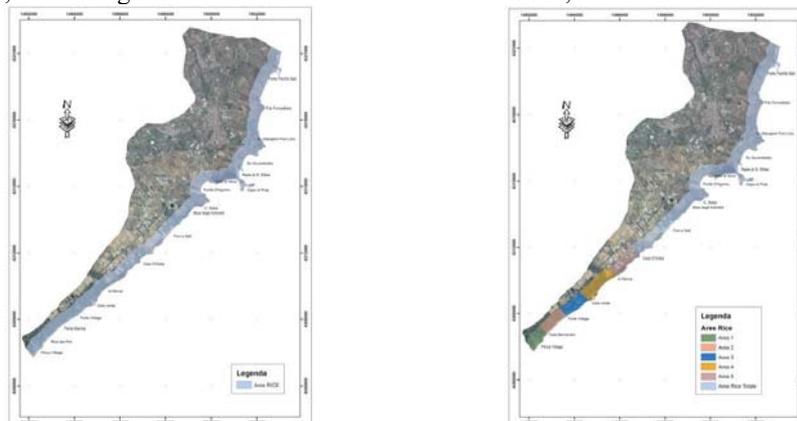


Figura 3 - Delimitazione dell'area RICE ed individuazione dei tratti costieri per la valutazione del rischio costiero.

All'interno dell'area di RICE, il rischio costiero è stato definito dalla seguente relazione:

$$RC=ISC * IVC$$

dove **RC** è il rischio costiero, **ISC** l'indice di sensitività costiera e **IVC** l'indice di vulnerabilità costiera. I valori di ISC e IVC sono stati ottenuti grazie alle elaborazioni geografiche e alle funzionalità di analisi spaziale che hanno permesso di processare i dati di input e di adattare i diversi datasets al modello fisico dei dati progettato per lo sviluppo dell'applicazione.

A seguito dell'analisi spaziale e dell'estrazione di dati numerici, l'applicazione è proceduta attraverso elaborazioni di calcolo su fogli elettronici per la valutazione quantitativa dei datasets ambientali di input, successivamente, per mezzo della compilazione di tabelle di attributi, si è proceduto con l'associazione dei parametri ottenuti alle entità spaziali dei datasets di input stessi ed infine alla rappresentazione dei risultati su mappe di sintesi, con le quali viene rappresentato il rischio di erosione in funzione della sensitività e vulnerabilità considerate.

Indice di sensitività costiera ISC

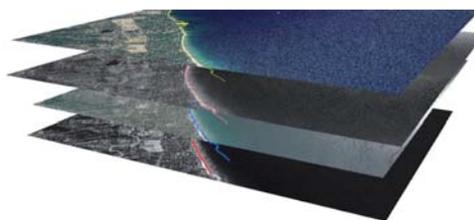
L'indice ISC misura la predisposizione delle coste ad essere sede di erosione e/o di inondazione ed è stato calcolato sommando i punteggi attribuiti a diversi indicatori definiti come segue:

$$ISC=SLR + TEV + HWL + GEC + ARICE + ODC$$

Dove:

SLR è la velocità media di innalzamento del livello del mare, misurata in mm/anno, per la cui determinazione si è fatto riferimento al database messo a punto nel progetto EUROSION, che comprende il rilievo dell'indicatore in 237 punti complessivi, posti tra i 50 ed i 100 km dalla costa, che forniscono i valori dell'ampiezza del regime di marea ed i parametri del vento (direzione ed intensità). Per l'Italia i punti di misura sono 46 e si è rilevato per tutti i punti un innalzamento compreso tra 0 e 4 mm/anno.

TEV, il trend evolutivo della linea di costa, è stato determinato per ogni tratto costiero considerato attraverso un'analisi storica degli ultimi quaranta anni del litorale studiato attraverso tecniche di *overlay mapping*.



Evoluzione della linea di costa	Lunghezza (m)	Percentuale
Arretramento	9084	34,46%
Avanzamento	1414	5,36%
Costruzione opera portuale	2118	8,04%
Stabile	13743	52,14%

Figura 4 - Evoluzione della linea di riva negli ultimi 40 anni stimata mediante la procedura di *overlay mapping* delle diverse linee di riva estrapolate dalle foto aeree storiche

HWL, il livello massimo dell'acqua, per la cui valutazione si è fatto riferimento ai dati disponibili dal progetto EUROSION, che fornisce per l'area in esame valori inferiori a 1,5 m s.l.m.

GEC è funzione del potenziale d'erosività della fascia costiera ed è stato calcolato in base al tipo di litologia presente a ridosso della fascia costiera con la rielaborazione del dataset geologico.

ARICE, la percentuale di area suscettibile all'inondazione marina all'interno dell'area di RICE è stata calcolata per ogni tratto di costa considerato utilizzando i dati derivati dal DEM, precedentemente realizzato sulla base della CTR, e il dato del parametro HWL.

ODC, riferito alla percentuale di costa antropizzata, è stato calcolato in base al dataset uso della costa.

Tratto costiero	SLR	SLR I	TEV	TEV I	HWL	HWLI	GEC	GEC I	Arice	AriceI	ODC	ODC I	ISC
	mm/a	punti	%	punti	m s.l.m.	punti	%	punti	%	punti	%	punti	punti
Area di studio	0,5	1	48	1	1,5	1	32	2	9	1	65	2	8
Area 1	0,5	1	40	1	1,5	1	72	0	2,5	0	3	0	3
Area 2	0,5	1	22	1	1,5	1	16	2	7	1	32	1	7
Area 3	0,5	1	83	2	1,5	1	15	2	7	1	82	2	9
Area 4	0,5	1	47	1	1,5	1	27	2	2	0	58	2	7
Area 5	0,5	1	67	2	1,5	1	3	2	4	0	5	1	7

Figura 5 - Tabella degli indicatori di sensitività per i tratti di costa analizzati

Indice di vulnerabilità costiera IVC

L'indice IVC misura il potenziale impatto dell'erosione e dei fenomeni di inondazione marina nell'area costiera e si calcola sommando i punteggi attribuiti ai diversi indicatori definiti come segue:

$$IVC = PRICE + URICE + ERICE + U10km$$

Dove:

PRICE, la popolazione residente all'interno dell'area RICE, è stata calcolata considerando i dati ISTAT dei residenti (2001) e dei fluttuanti (1998), da cui si sono determinate le densità abitative che moltiplicate, per le superfici della RICE, si è determinato il numero di abitanti di ogni singola RICE.

URICE, la percentuale di area urbanizzata nel periodo 1997-2006 nell'area RICE, è stata calcolata in riferimento ai dataset derivati dall'analisi storica della variazione dell'uso del suolo.

ERICE, la percentuale di area ad alto valore ecologico nell'area RICE, è stata stimata in base ai dataset relativi alla definizione dei Paesaggi vegetali e agli Habitat di particolare interesse ai sensi della Direttiva Habitat.

U10km, la percentuale di incremento di area urbanizzata nella fascia costiera di 10 km nel periodo 1997 - 2006, è stato calcolato mediante la cartografia storica utilizzata per la realizzazione dei dataset dell'uso del suolo storico.

Tratto costiero	Price ab	Price-I punti	Urice %	Urice-I punti	Erice %	Erice-I punti	U10km %	U10km-I punti	IVC
Area di studio	28000	1	34	1	20	1	10	1	4
Area 1	800	1	28	1	52	2	10	1	5
Area 2	5963	2	88	2	11	1	2	0	5
Area 3	7162	2	93	2	1	0	5	1	5
Area 4	9287	2	81	2	3	0	10	1	5
Area 5	200	0	7	0	5	1	3	0	1

Figura 6 - Tabella degli indicatori di vulnerabilità per i tratti di costa analizzati

Tratto costiero	IRC	Esposizione al rischio
Area di studio	32	Media
Area 1	15	Bassa
Area 2	35	Media
Area 3	45	Alta
Area 4	35	Media
Area 5	7	Bassa

Figura 7 - Tabella del rischio costiero calcolato secondo la metodologia del progetto EUROSION

L'erosione costiera è spesso il risultato dell'impatto cumulato di fattori naturali e antropici, che singolarmente non possono essere considerati la causa del verificarsi del fenomeno erosivo. La

quantificazione del rischio effettuata in tale studio non esprime pertanto una stima meramente numerica del danno atteso, ma rappresenta una valutazione quantitativa della presenza di fattori causa-effetto relativi ad eventi potenzialmente a rischio per la costa.

La quantificazione degli indicatori necessari al calcolo del rischio costiero è stata effettuata sia per l'intero tratto di costa in esame, sia per alcune porzioni di essa, al fine di confrontare i valori ottenuti per l'intera area di studio con i valori di rischio ottenuti per singoli tratti scelti con riferimento a caratteristiche territoriali ed ambientali omogenee.

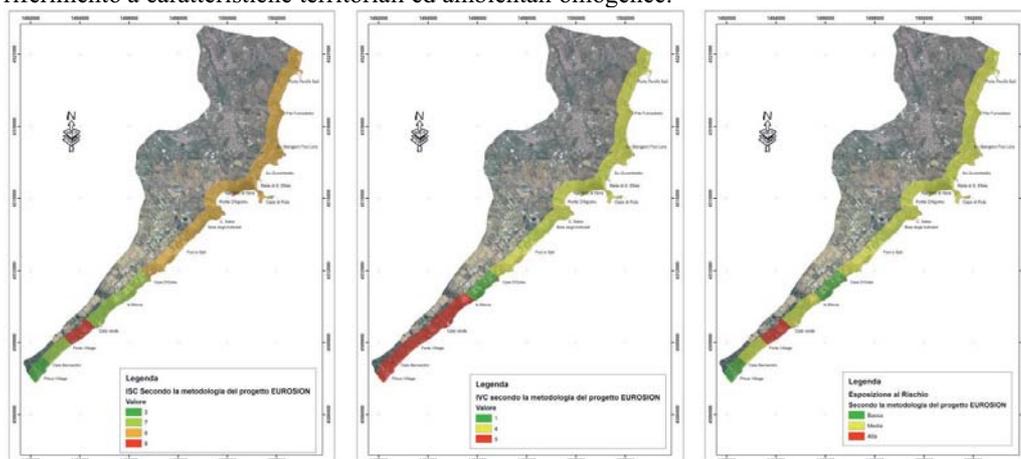


Figura 8 – Carte della sensibilità costiera, della vulnerabilità costiera e del rischio costiero valutati secondo la metodologia del progetto EUROSION

Il calcolo del rischio per l'intero tratto costiero fornisce un valore medio rispetto ai valori ottenuti per i singoli tratti, dimostrando la validità della metodologia per applicazioni a diverse scale di analisi.

Il valore di rischio definito per l'intero territorio regionale dal Progetto EUROSION è quantificabile come medio ed è simile al valore ottenuto per l'intera area in esame.

In conclusione, si può ritenere che il valore di rischio costiero per il territorio dell'area studio è generalmente medio, mentre nel dettaglio si ottiene un rischio alto esclusivamente per il settore 3 e un rischio basso per i settori 1 e 5.

Considerato il livello di rischio e tenuto conto che il litorale è interessato da una forte pressione turistico-residenziale è necessario predisporre da subito un rigoroso piano di monitoraggio della fascia costiera, anche con l'uso di web-cam, ondametri e correntometri che costituisca un riferimento essenziale per la progettazione degli interventi di riqualificazione ambientale e di gestione sostenibile della fascia costiera.

Riferimenti bibliografici

CE (2007) *Vivere con l'erosione costiera in Europa: Sedimenti e spazi per la sostenibilità. Risultati dello studio EUROSION.*

CE (2004) *EUROSION - Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability.*

De Bonis P., et alii. (2001) *La Dinamica Costiera - Modellistica fisico matematica, analisi del territorio, il supporto GIS e la strumentazione in uso;* ENEA; CAT.

Di Gregorio F., Pusceddu M., Serreli A. (2006) *Modello per la valutazione della pericolosità geomorfologica nel bacino del Riu Pula;* Atti della X Conferenza Nazionale ASITA.

Pusceddu M. (2008) *Database geografico e applicazioni gis per l'analisi geoambientale della fascia costiera di Pula (Sardegna SO);* Tesi di dottorato di ricerca in "Difesa del suolo".