

NUOVI METODI PER LA CARTOGRAFIA DEL RISCHIO DA INONDAZIONE MARINA: L'ESPERIENZA IN EMILIA-ROMAGNA

Paolo CIAVOLA (*), Clara ARMAROLI (*), Marinella MASINA (*), Luisa PERINI (**),
Paolo Luciani (**)

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Ferrara, Via Saragat 1, 44100, Ferrara, e-mail cvp@unife.it

(**) Serv. Geol., Sism. e dei Suoli, RER., V.le Silvani, 4/3, 40122, Bologna, e-mail LPerini@regione.emilia-romagna.it

Riassunto

Nel presente contesto delle variazioni climatiche e dell'innalzamento del livello marino riveste una particolare importanza la cartografia delle zone costiere per quanto riguarda il rischio da inondazione marina. La Regione Emilia-Romagna ha recentemente completato una cartografia di dettaglio del rischio di inondazione in condizioni di mareggiata estrema ed acqua alta. Lo studio si è avvalso delle più moderne tecnologie *Lidar* per la definizione di un modello digitale del terreno con maglia metrica ed ha incluso un calcolo delle massime quote di risalita della lama d'acqua in condizioni di mareggiata. Sono stati considerati eventi con periodo di ritorno di 1, 10 e 100 anni ed è stata elaborata una legenda per l'identificazione del tipo di impatto previsto, discriminando zone protette da difese costiere, zone con insediamenti, fasce dunari, etc. Lo studio ha concluso che anche un evento combinato con un basso periodo di ritorno mette già a rischio buona parte della costa in questione. Si auspica che ora tali risultati vengano utilizzati nell'ambito della pianificazione territoriale e per scopi di mitigazione del rischio in protezione civile.

Abstract

Climate changes and the consequent sea level rise are main issues for many countries around the world. Risk maps for coastal areas are very important for coastal managers in order to define which are the areas that can be harmed and affected by marine storms. The Emilia Romagna Region has recently developed a cartography of coastal risk. In the present study two Lidar surveys were used to create a digital terrain model with 1 m resolution. Several profiles were extracted from Lidar data to evaluate wave run-up during storm events. Three scenarios were considered: 1, 10, 100 years return periods. The water elevation for each return period due to storm surge was added to maximum spring tidal elevation (+0.45 m above MSL) and to run-up to define the *worst-case scenario*. Different impact categories were described and the relative legend was defined and put inside a GIS (ArcView). The impact of storms was evaluated for natural areas with dunes, areas protected by coastal defences and urbanised zones. The results show that urbanised areas are especially, at risk even for the event with a 1 year return period. These results now are useful for coastal managers to define which are the priorities of intervention and to prevent irreversible storm damages.

Introduzione

L'analisi del rischio da inondazione delle aree costiere derivante da fenomeni meteomarinari energetici sta diventando sempre più importante nel mondo ai fini della pianificazione territoriale e per scopi di Protezione Civile. Nel quadro dei cambiamenti climatici infatti le Autorità di tutto il mondo si stanno sempre di più confrontando con spese insostenibili per ripristinare le aree colpite da fenomeni di carattere estremo, nonché con situazioni disastrose alcune delle quali hanno portato (ad es. l'uragano Katrina, New Orleans) a drammatiche conseguenze. Come risultato della crescente attenzione mondiale alle tematiche ambientali ed, in particolare, ai fenomeni di carattere estremo, un nuovo progetto europeo (MICORE, Morphological Impact and COastal Risks induced by Extreme storm events) è stato finanziato, nell'ambito del VII Programma Quadro (contratto 202798). Tale progetto intende valutare il rischio da erosione ed inondazione lungo le aree costiere di vari paesi europei e sviluppare dei sistemi di allerta in grado di prevenire effetti negativi irreversibili sulle cose e sulle persone (www.micore.eu).

Nell'ambito degli studi finalizzati a supportare le attività di pianificazione territoriale regionale e subordinata e la Gestione Integrata della Fascia Costiera in Emilia Romagna, il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, in cooperazione con l'Università di Ferrara, ha voluto creare una cartografia del rischio da mareggiata a cui è soggetta la costa. Tale cartografia è utile come strumento di gestione del territorio e come quadro d'insieme delle possibili problematiche di protezione civile che si potrebbero generare in occasione di tempeste marine.

Il presente lavoro fornisce informazioni in merito alla metodologia usata e consente di conoscere le classi di rischio che interessano le coste romagnole.

I risultati finora ottenuti riguardano metà del litorale ed, in particolare, il tratto costiero compreso tra la Foce dei Fiumi Uniti (Ravenna) e Rimini (Figura 1). Tale area è stata suddivisa in tre tratti: CESA nord e sud (zone tra Lido di Dante e Savio, tra Savio e Cesenatico) e RICE (zona tra Cesenatico e Rimini).

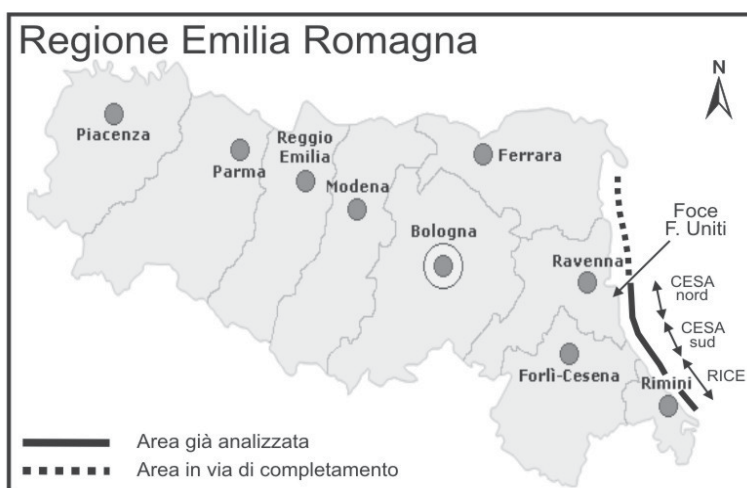


Figura 1 - Carta di localizzazione delle aree oggetto del presente studio in Emilia Romagna.

Tale area presenta al suo interno (CESA nord e sud) una delle poche zone naturali ancora rimaste sulle coste romagnole (provincia di Ravenna). Qui si trovano cordoni dunari continui, all'interno del Parco Naturale del Delta, associati a zone umide ed ad un'estesa pineta. L'importanza naturalistica di tale area implica la necessità di preservarla sia per il suo valore ambientale sia per la conservazione della biodiversità animale e vegetale.

La zona che si estende da Cesenatico fino a Rimini invece è totalmente antropizzata, con centinaia di strutture balneari sulla spiaggia e un continuum di strutture alberghiere e di ristoro per i visitatori. Il numero di presenze turistiche durante l'estate 2007 ammonta a quasi 5 milioni di persone (<http://www.osservatorioturismo.emr.it/index.htm>). Da ciò si evince quanto sia importante conoscere l'effetto delle tempeste sulla costa a causa soprattutto del suo elevatissimo valore economico.

Sviluppo del metodo

Lo studio dell'impatto delle mareggiate sulla morfologia costiera è stato condotto mettendo a confronto due rilievi topografici ad alta risoluzione, ottenuti con tecnologia *Lidar*, il primo dei quali eseguito dall'Ente Nazionale Idrocarburi nel Luglio del 2003 ed il secondo realizzato a fine Settembre 2004 dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna in collaborazione con l'Istituto Cartografico della Catalogna. Dettagli sulle caratteristiche strumentali, sui parametri di volo e sulle proprietà del DTM associato a quest'ultimo rilievo sono riportati da Ciavola et al. (2006). Nonostante un lungo intervallo di tempo separi i due rilievi, quello fornito da ENI è stato assunto come riferimento nella definizione dello stato della spiaggia emersa, potendo supporre che i profili che se ne estraggono riflettano la caratteristica forma di un profilo "normale" (*calm weather profile*) associata a condizioni di moto ondoso, disponibilità e tipologia di sedimenti tipiche del periodo estivo.

Le principali componenti che occorre quantificare ed incrociare quando si effettuano analisi di previsione degli impatti riguardano, da un lato, le forzanti meteomarine e, dall'altro, le caratteristiche topografiche e morfologiche di dettaglio delle spiagge e dei cordoni dunari. È stato quindi adottato un approccio valutativo di tipo statistico-modellistico che, considerando le peggiori condizioni possibili (*worst-case scenario*), anche ai fini della configurazione di uno strumento utile alla gestione preventiva ed alla pianificazione strategica del territorio, tiene conto della quota di massima risalita del livello del medio mare (sopralzo) per effetto dell'occorrenza simultanea dei fenomeni di acqua alta (*storm surge*), marea eccezionale e *run-up*. Altezza d'onda e sovrizzo atmosferico sono stati parametrizzati prendendo in considerazione eventi di mareggiata con periodo di ritorno di 1, 10 e 100 anni e caratterizzati su base bibliografica. Le condizioni di moto ondoso al largo sono state derivate dalle analisi statistiche svolte sulle osservazioni effettuate presso la piattaforma Agip P.C.B. (situata 20 km al largo di Ravenna, su un fondale di 25 m) nel periodo 1971-1983 (Idroser, 1996). Altezza d'onda significativa e periodo sono stati quindi calcolati per ciascun tempo di ritorno eseguendo una media dei valori di H_s e T relativi ai settori direzionali più significativi per l'esposizione del tratto costiero oggetto di studio, ovvero per le direttrici che variano tra 30° e 120° (Tabella 1). I valori di sopralzo atmosferico (*storm surge*) utilizzati sono stati ricavati dalle analisi condotte da Yu et al. (1998) e sono il risultato di simulazioni numeriche bidimensionali che tengono in considerazione unicamente variazioni del fattore di intensità del vento.

Tabella 1 – Valori di H_s e T per eventi di mareggiata con periodo di ritorno di 1, 10 e 100 anni (Idroser, 1996) e valori di sopralzo atmosferico (m) per i periodi di ritorno di 1, 10 e 100 anni (Yu et al., 1998)

Moto ondoso	T1		T10		T100	
	H_s (m)	T (s)	H_s (m)	T (s)	H_s (m)	T (s)
30°	3.3	7.2	4.7	8.2	5.8	9.0
60°	3.6	7.4	4.9	8.3	6.2	9.2
90°	3.5	8.4	4.9	9.6	6.2	10.7
120°	2.8	7.8	4.2	9.4	5.5	10.8
Valori medi	3.3	7.7	4.7	8.9	5.9	9.9
Sopralzo (m)	0.85		1.039		1.28	

La valutazione dell'impatto sulla costa viene poi eseguita assumendo che l'evento estremo si verifichi in concomitanza di un'alta marea sizigiale, e cioè aggiungendo 0.45 m al livello statico del medio mare (riferito al mareografo di Porto Corsini). Si è provveduto quindi al calcolo del valore di massimo *run-up*, o risalita della lama d'acqua, per ciascun tempo di ritorno, utilizzando l'espressione di Komar (1998) basata sulla formulazione empirica proposta originariamente da Holman (1986). L'applicazione della metodologia ad aree protette da scogliere, più o meno

parallele alla linea di riva, ha comportato una stima dell'attenuazione dell'energia ondosa prodotta dalla presenza delle barriere stesse per i diversi periodi di ritorno. Per il calcolo del coefficiente di trasmissione dell'altezza d'onda al di là delle strutture è sembrato conveniente, dato che in condizioni di mareggiata estrema ed acqua alta le strutture comprese nel tratto oggetto di studio risultano sommerse, utilizzare la formula empirica proposta da Van der Meer (1990).

Sulla base dei parametri d'onda menzionati è stata quindi costruita la matrice di calcolo che ha consentito di ricavare l'elevazione massima della risalita del medio mare durante gli eventi di mareggiata con tempo di ritorno di 1, 10 e 100 anni, in condizioni di sovrалzo ed alta marea, per ciascuno dei profili estratti dai modelli altimetrici. Questi sono stati tracciati seguendo le tracce della rete di monitoraggio regionale ARPA (2002), con spaziatura di 500 m. Per la zona tra Lido di Dante e Lido di Classe è stato effettuato un raffittimento delle sezioni, che ne ha ridotto la spaziatura a 250 m, per poter meglio caratterizzare le dinamiche in questa zona che è occupata da uno dei pochi sistemi dunari ancora presenti in regione. La posizione dei profili è indicata nella mappa di vulnerabilità riportata in Figura 2.

Per la valutazione dell'impatto di eventi estremi sulle fasce dunari si è fatto riferimento allo schema concettuale del Progetto *Eurosion* (<http://www.eurosion.org>), che individua nella dimensione del serbatoio frontale della duna (*frontal dune reservoir*) il parametro di controllo della probabilità di una sua rimozione o sopravvivenza (Armaroli et al., 2007). Sono state quindi definite 3 classi, per ciascun possibile effetto: “**intersezione profilo**”, “**erosione frontale della duna**”, “**scavalco e rimozione della duna**” (Armaroli et al., 2007). Qualora la quota di massima risalita del livello del mare durante la mareggiata non arrivi a toccare la base della duna, ma si limiti ad inondare la spiaggia, il criterio seguito prevede di esprimere tale condizione come “**intersezione profilo**”.

Per la valutazione dell'impatto di eventi estremi in aree protette da scogliere emerse e soffolte o altamente antropizzate, si è confrontato il livello massimo raggiunto dal mare in base al *worst scenario* con l'elevazione di ogni singolo profilo e delle strutture antropiche presenti sulla spiaggia o nell'immediato retro spiaggia. Sono state quindi generate 3 classi di “**danneggiamento**” e/o “**scavalco**” delle strutture antropiche e 1 classe di “**intersezione profilo**”, che si ha quando la quota raggiunta dalla lama d'acqua non supera la quota massima del profilo, ma si interseca con esso. Resta chiaro comunque che un evento estremo, per quanto rimanga confinato alla spiaggia, genera sempre fenomeni di erosione associati a trasporto di sabbia *offshore* e/o *longshore*. Non si è provveduto nell'ambito di quest'analisi ad una quantificazione della perdita dei volumi di arenile, che avrebbero richiesto l'utilizzo di un modello numerico di evoluzione trasversale, in quanto si è semplicemente voluto fornire un metodo per la sola rappresentazione della vulnerabilità della fascia costiera a fenomeni di inondazione marina, senza includere una valutazione dei rischi connessi ad altri processi o pericoli costieri, fattori episodici isolati o di carattere strutturale.

La cartografia e le sue applicazioni

La cartografia che rappresenta le aree a rischio è di notevole importanza al fine di una corretta pianificazione territoriale e a scopi di Protezione Civile. Le suddette classi di rischio sono state infatti rappresentate in ambiente GIS (shape file) per ciascun scenario combinato (onde+sovrалzo) per ciascun tempo di ritorno. La simbologia adottata è rappresentata in Figura 2. A ciascun simbolo sono associati un insieme di attributi che consentono di interrogare rapidamente le principali caratteristiche del sito (nome della sezione, quota max raggiunta dal mare, effetto prodotto, ecc) e di visualizzare la quota di risalita del mare, per ciascun tempo di ritorno, nel caso in cui si verificasse il *worst-case scenario*.

I risultati ottenuti per le aree finora analizzate sono indicati in Tabella 2. Nella tabella sono inserite le percentuali totali calcolate rispetto al numero di profili analizzati per ciascun tratto costiero, per ciascun tempo di ritorno, distinguendo punti “**intersezione profilo**” e di “**danneggiamento**” (per ciascuna classe indicata in precedenza) che si identificano nelle aree naturali (con dune) ed in quelle antropizzate.

Tabella 2 - Percentuale di apparizione di ciascuna classe di "effetto" del worst scenario per ciascuna area analizzata.

Effetto	CESA NORD (%)			CESA SUD (%)			RICE (%)		
	T1	T10	T100	T1	T10	T100	T1	T10	T100
Intersezione profilo	12.5	0	0	26.09	4.35	0	0	0	0
Arretramento fronte dunare	37.5	9.38	6.25	0	0	4.35	0	0	0
Intersezione fronte dunare	0	0	0	0	4.35	0	0	0	0
Intersezione/danneggiamento	0	0	0	13.04	4.35	0	11.43	0	0
Rimozione della duna	25	59.38	62.5	0	0	0	0	0	0
Danneggiamento strutture antropiche	15.63	15.63	12.5	56.52	82.61	91.3	77.14	85.71	82.86
Danneggiamento e possibile scavalciamento	0	0	3.13	0	0	0	0	2.86	5.71
Inondazione retrospiaggia	9.38	15.63	15.63	4.35	4.35	4.35	11.43	11.43	11.43

Dalla Tabella 2 si evince che, solo nell'area CESA sud (si veda Figura 1) si trovano dei profili in sicurezza, sia per sezioni con duna sia per sezioni senza duna, anche con tempo di ritorno dell'evento di 10 anni. Inoltre, si può notare una discreta percentuale di profili nella zona CESA nord e sud lungo i quali, per il periodo di ritorno di 100 anni, la duna viene erosa frontalmente ma non viene scavalcata o rimossa. Ciò implica che, dove le dune presentano una quota elevata rispetto al medio mare ed una notevole estensione trasversale, si verificano condizioni di solo danneggiamento delle dune. Queste ultime sono ancora in grado di fungere da protezione per le aree retrostanti.

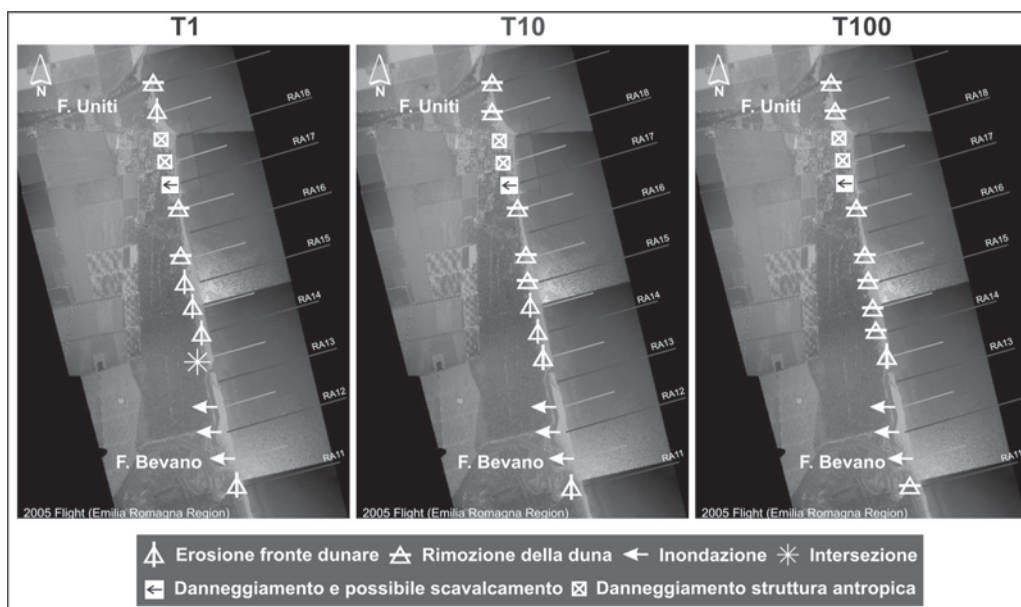


Figura 2 - Esempio di cartografia di rischio per la zona di Lido di Dante (Ravenna) compresa tra la foce dei F. Uniti e il F. Bevano.

La zona antropizzata del tratto RICE (Figura 1) è a rischio di danneggiamento anche con eventi con tempo di ritorno di un anno, denotando una situazione critica. Naturalmente le percentuali di condizioni di danneggiamento aumentano progressivamente tra i tre tempi di ritorno.

La cartografia del rischio associata ai risultati elencati qui sopra, restituita in ambiente GIS (shape file), consente di avere delle informazioni adeguate e rapide dello stato della costa. Un esempio di

mappa di rischio è rappresentato in Figura 2 per la zona CESA nord, nel tratto di Lido di Dante (Ravenna).

Si noti come, lungo il profilo in prossimità della foce del F. Bevano, ci sia un sistema in grado di “resistere” ad un evento estremo con periodo di ritorno di 100 anni. Le dune in questa zona hanno infatti una quota maggiore di 4 m e sono ben vegetate. Inoltre si estendono per circa 25 m in direzione trasversale (perpendicolarmente alla costa, Armaroli et al., 2005).

Conclusioni

Il presente lavoro ha proposto una metodologia semplice ed efficace per valutare il rischio di inondazione e danneggiamento di un litorale, fornendo informazioni di fondamentale importanza nell'ambito della gestione delle aree costiere. La qualità dei dati ottenuti consente di poter pianificare eventuali interventi e scegliere soluzioni che siano efficaci per sviluppare politiche di abbattimento del rischio. La costa dell'Emilia Romagna riveste una notevole importanza per l'economia regionale, perciò eventi di inondazione marina comporterebbero gravi perdite a livello socio-economico. Inoltre, la salvaguardia dei beni e delle persone, che si trovano nelle vicinanze del mare, è una priorità che comporta costi elevati per la costruzione di opere rigide non sempre efficaci. La cartografia del rischio permette di identificare le zone che possono essere fortemente danneggiate da un evento estremo, anche nel breve periodo, e di pianificare soluzioni efficienti, come ripascimenti. Questi ultimi necessitano di una pianificazione accurata delle risorse sedimentarie, che può essere sviluppata solo identificando preventivamente le zone ad alta priorità.

Riferimenti bibliografici

- Armaroli C., Balouin Y., Ciavola P., Capatti D. (2005). “Nearshore Bars as a Natural Protection of Beaches, Field Evidence from Lido di Dante Beach, Adriatic Sea”. Atti di: *ICCM'05 Conference*, Tavira, Algarve, Portogallo, pp. 295-303.
- Armaroli C., Ciavola P., Perini L., Luciani L. (2007), “Morfologia delle spiagge ravennati e vulnerabilità per fenomeni di inondazione”, *Terzo Forum Nazionale, Pianificazione e tutela del territorio costiero; questioni, metodi, esperienze a confronto*, vol. 127, pp. 363-389.
- ARPA (2002), *Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2000*, I quaderni di Arpa. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Ciavola P., Perini L., Luciani P., Armaroli C. (2006), “Il rilievo Lidar della costa dell'Emilia-Romagna: uno strumento per la valutazione dell'impatto delle mareggiate sulle zone costiere e per la caratterizzazione della morfodinamica della spiaggia”, *Hydrogeo*, vol. Febbraio 2006: 18-25.
- Ciavola P., Armaroli C., Chiggiato J., Valentini A., Deserti M., Perini L., Luciani P. (2007), “Impact of storms along the coastline of Emilia-Romagna: the morphological signature on the Ravenna coastline (Italy)”, *Journal of Coastal Research*, SI50: 540-544.
- Idroser (1996), *Progetto di piano di difesa del mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna, relazione generale*, Regione Emilia-Romagna, Bologna, 16-43.
- Holman R.A. (1986), “Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach”, *Coastal Engineering*, 9: 527-544.
- Komar P.D. (1988), *Beach Processes and Sedimentation*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ
- Van Der Meer J.W. (1990), *Low crested and reef breakwaters*, Technical Report n.H986 II, Delft Hydraulics Publications.
- Yu C.S., Decouttere C., Berlamont J. (1998), *Storm surge simulations in the Adriatic Sea*. In CENAS, Kluwer Academic (ed.), Dordrecht, The Netherlands: 207-232.