

# ALTIMETRIA E PERICOLOSITÀ ALL'INONDAZIONE MARINA

LA FRAGILITÀ DEL TERRITORIO COSTIERO DELL'EMILIA-ROMAGNA È EMERSA IN OCCASIONE DELL'ELABORAZIONE DELLE MAPPE DI PERICOLOSITÀ ALL'INONDAZIONE MARINA. UN ACCURATO MONITORAGGIO DELL'ALTIMETRIA È FONDAMENTALE PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ E PER LA GESTIONE DEI RISCHI COSTIERI.

I delta fluviali e le piane costiere di recente formazione (Olocene) sono territori a elevato rischio di perdita di ecosistemi e di terre emerse per effetto del riscaldamento globale e del conseguente innalzamento del livello del mare (Nicholls R.J. e Wong P.P., 2007). Gli scenari a oggi elaborati prevedono impatti legati soprattutto all'aumento dei fenomeni di inondazione marina in occasione di mareggiate e all'avanzata del cuneo salino nei fiumi e nelle falde. Ciò è confermato nell'ultimo report Ipcc 2019, in cui si segnala un possibile innalzamento medio del livello del mare da 0,26 a 0,77 metri, al 2100, in caso di riscaldamento globale di 1,5 °C, con valori superiori di 0,1 metri se l'aumento fosse pari a 2 °C. Precedenti studi avevano incluso tra i delta a elevato rischio anche il delta del Po (Syvitsky et al., 2009), dove la compattazione accelerata dei sedimenti poco consolidati legata ai prelievi di fluidi dal sottosuolo e, in misura minore, le estensive attività di bonifica hanno già causato una perdita di barene e paludi dell'85% negli ultimi 100 anni (Corbau et al., 2019). Oltre al delta attuale, tutto il settore centro settentrionale della piana costiera regionale è comunque caratterizzato da vaste aree depresse, residui di antiche lagune e paludi spesso bonificate e immediatamente retrostanti all'attuale ambiente litoraneo, in cui l'unico baluardo morfologico all'avanzamento del mare è rappresentato da dune attuali e cordoni litoranei molto frammentati e spianati dall'urbanizzazione degli ultimi decenni. Questa fragilità del territorio costiero è emersa in occasione dell'elaborazione delle mappe di pericolosità all'inondazione marina attuata nell'ambito del primo ciclo della direttiva alluvioni (Perini et al., 2012); i risultati mostrano infatti che alcuni settori della costa regionale sono particolarmente critici per il solo effetto combinato dell'assetto altimetrico e della discontinuità del sistema di protezione.

TAB. 1  
RILIEVI ALTIMETRICI

Dati altimetrici ad alta risoluzione acquisiti con sistema Lidar lungo la costa dell'Emilia-Romagna.

Anno rilievo	Ente attuatore	Tipologia di rilievo	Copertura	Risoluzione
2002	Eni Spa	Lidar terrestre	Da Volano a Cesenatico	1m×1m
2004	Regione Emilia-Romagna	Lidar terrestre	Da Gorino a Rimini	1m×1m
2006	Eni	Lidar subacqueo		
2008	Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare	Lidar terrestre	Costa nazionale	2m×2m
2009	Università di Ferrara	Lidar terrestre	Da Lido di Dante a Lido di Classe	1m×1m
2010	Protezione civile Regione Emilia-Romagna	Lidar terrestre	Tutta la costa della regione Emilia-Romagna	1m×1m
2012	Eni Spa	Lidar terrestre + subacqueo	Da Porto Garibaldi a Cattolica	1m×1m
2019	Autorità di bacino distrettuale del fiume Po	Lidar terrestre	Da Chioggia a Pesaro	1m×1m

FIG. 1  
DTM

Esempio di Dtm terrestre e marino di un tratto di costa regionale (anno 2012).



Un accurato monitoraggio dell'altimetria della piana costiera è pertanto fondamentale per la valutazione della vulnerabilità e per la gestione dei rischi costieri rispetto ai fenomeni di inondazione marina. L'elaborazione di scenari futuri implica, inoltre, l'introduzione di variabili dinamiche come i tassi di subsidenza e di innalzamento eustatico, che sono stati utilizzati nell'ambito del lavoro prodotto in collaborazione con l'Università di Urbino e Ingv, in cui è stata valutata l'espansione delle aree depresse e l'aumento delle aree costiere allagabili per due scenari contenuti in Ipcc AR5: Rcp 2.6 (scenario lieve) e Rcp 8.5 (scenario gravoso). Tale lavoro ha

evidenziato che l'estensione dei territori con quota inferiore al livello del mare della piana costiera regionale, che attualmente ammonta a circa 1.200 km<sup>2</sup>, aumenterebbe del 10%, all'anno 2100, per il solo contributo della subsidenza, e del 30% se si considerasse anche l'innalzamento del livello del mare nella condizione pessimistica di +55 cm (Perini et al., 2017). A fronte di questi risultati e per rispondere alle esigenze conoscitive declinate nelle misure del Piano di gestione del rischio alluvioni - ambito costiero, si è deciso di approfondire l'analisi morfologica della costa utilizzando i dati altimetrici e telerilevati più recenti, focalizzando l'attenzione

nella definizione di un set di indicatori numerici, significativi per evidenziare e monitorare le modificazioni del territorio. La metodologia di elaborazione e i risultati delle analisi condotte sono contenute in un rapporto tecnico elaborato dal Servizio Geologico, sismico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna nel 2019, dal titolo “Indicatori di suscettibilità costiera ai fenomeni di erosione e inondazione marina” e disponibile sul sito del servizio (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa>). Il dato chiave che supporta tale studio è il modello altimetrico ad alta risoluzione prodotto con sistema Lidar (*light detection and ranging*), il quale, oltre a fornire una accurata risoluzione in termini altimetrici e planimetrici, offre il vantaggio di produrre una densità spaziale di punti che permette un'osservazione areale e tridimensionale delle morfologie (Dtm-Lidar, *Digital Terrain Model*). I dataset Lidar attualmente disponibili nel Sistema informativo del mare e della costa regionale sono elencati in *tabella 1*.

I dati del settore emerso, in alcuni casi, sono stati integrati anche con i rilievi batimetrici a disposizione ottenendo modelli digitali morfologici continui terra-mare (*figura 1*), che permettono di elaborare analisi contestuali nel settore emerso e sommerso della piana costiera. Il dettaglio tecnico sulla elaborazione del Dtm 2012 così ottenuto è contenuto in un rapporto tecnico dedicato e accessibile al link <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa>.

Tra gli indicatori morfologici più rilevanti considerati nel succitato rapporto, si analizzano la “spiaggia emersa libera da infrastrutture” e il “dosso costiero”. La “spiaggia emersa libera da infrastrutture” rappresenta il primo elemento morfologico che favorisce la dissipazione dell'onda e contrasta la propagazione delle acque marine nei settori retrostanti, occupati da infrastrutture turistiche o da centri urbani. Le variabili fondamentali della spiaggia, da monitorare, sono l'ampiezza (A), la quota di chiusura verso terra, che insieme permettono di determinare la pendenza, e la quota media ( $Q_m$ ). Il “dosso costiero” rappresenta la sintesi di tutti gli elementi morfologici costieri, naturali e non, con una quota superiore ai 2 metri e include: il *beach ridge*, le dune e/o cordoni litorali o le difese artificiali immediatamente retrostanti la spiaggia. Tale elevazione può essere considerata di “sicurezza” per confinare gli effetti di

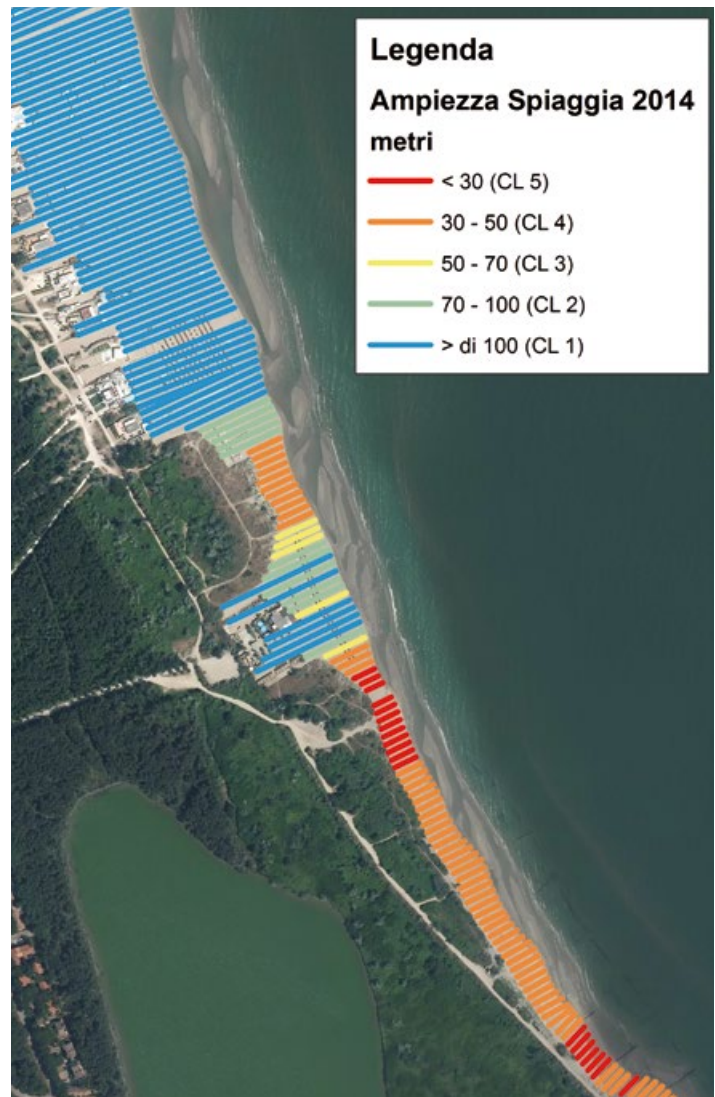


FIG. 2  
AMPIEZZA SPIAGGIA

Esempio di classificazione del parametro “ampiezza spiaggia”

Classe	Ampiezza spiaggia	% spiaggia al 2005	% spiaggia al 2014
Classe 5	<30m	20,1	19,7
Classe 4	30-50 m	15,3	19,7
Classe 3	50-70 m	19,7	19,5
Classe 2	70-100 m	22,9	20,3
Classe 1	>100 m	22,0	20,8

TAB. 2  
AMPIEZZA SPIAGGIA

Confronto tra le classi di ampiezza spiaggia al 2005 e 2014.

Classe	Dosso costiero							
	Ferrara		Ravenna		Forli-Cesena		Rimini	
	lunghezza (km)	%	lunghezza (km)	%	lunghezza (km)	%	lunghezza (km)	%
Classe 5	3,3	14,8	14,1	31,5	6,7	77,6	1,2	3,7
Classe 4	1,5	6,6	7,6	17,0	1,0	11,5	0	0
Classe 3	9,5	42,0	14,8	33,3	1,0	11,0	16,8	51,4
Classe 2	6,7	29,6	7,4	16,6	0	0	14,1	43,3
Classe 1	1,6	7,1	0,7	1,6	0	0	0,5	1,7
Tot.	22,5	100	44,6	100	8,7	100	32,6	100

TAB. 3 DOSSO COSTIERO EMILIA-ROMAGNA  
lunghezza e percentuale delle diverse classi che caratterizzano il “dosso costiero” in Emilia-Romagna.

mareggiate con tempo di ritorno di 100 anni, che nell'ambito del lavoro, ai sensi del Dlgs 49/2010, sono state associate a un sopralzo del mare di 1,8 metri.

I due indicatori sono stati mappati e analizzati attraverso una procedura che ha incluso:

- la mappatura dell'elemento morfologico (spiaggia, duna ecc.) con la fotointerpretazione del volo aereo più recente disponibile (2014) e il controllo tramite Dtm
- la costruzione di set di transetti ortogonali alla linea di riva, paralleli tra loro ed equidistanti 10 metri, lungo i quali sono state effettuate le misure dello sviluppo lineare (figura 2)
- l'estrazione di punti quotati tramite Dtm-Lidar 2012 lungo i transetti, per il computo dell'altimetria di ciascun elemento morfologico.

L'ampiezza spiaggia ( $A$ ) è la variabile che è oggetto di monitoraggio da parecchi anni. Infatti è stata mappata a partire dal rilievo aereo Agea 1998 e sui successivi voli Agea 2005, 2008 e 2014. Se si esamina la sua evoluzione nell'intervallo 2005-2014 (tabella 2), notiamo un trend in lieve peggioramento: un aumento abbastanza significativo (+4,4%) della classe 4 ( $30 < A < 50$  m), e una diminuzione rispettivamente del -2,6% della classe 2 ( $70 < A < 100$  m) e del -1,6% della classe 1 ( $A > 100$  m). Le altre due classi risultano quasi invariate.

I settori più critici della costa sono quelli dove l'ampiezza molto ridotta ( $A < 50$  m) è associata a una  $Q_m < 1,5$  m, che coincide con il valore di riferimento del sopralzo del livello del mare utilizzato per identificare le mareggiate con tempo di ritorno di 10 anni (frequenti ai sensi del Dlgs 49/2010). La lunghezza totale delle spiagge regionali con queste caratteristiche altimetriche è di 11,5 km sui 108,4 km analizzati, ovvero circa il 10% del totale. L'analisi ha inoltre evidenziato che oltre la metà delle

spiagge regionali ha una pendenza inferiore al 2,5% e oltre il 72% ha una pendenza inferiore al 5%. Si tratta quindi di zone ove il fattore ampiezza diventa fondamentale per garantire la sicurezza dei territori retrostanti.

Per quanto riguarda il dosso costiero, la sua perimetrazione è stata prodotta proprio a partire dai dati altimetrici (Dtm 2012), sulla base dei quali è stato ritagliato il poligono in corrispondenza dell'isolinea +2 m s.l.m., successivamente analizzato attraverso un'attenta fotointerpretazione dell'elemento. I transetti consentono di valutare l'ampiezza, la quota media e la quota massima del dosso. L'analisi combinata dei 3 parametri ha permesso infine di attuare una classificazione di "qualità" del dosso in una scala da 1 a 4, dove la classe 1 rappresenta il dosso in condizioni di

massima sicurezza e la classe 4 quello più critico. La classe 5 rappresenta i tratti di costa dove il dosso è totalmente assente. Come si evince dalla tabella 3, la situazione più critica a livello regionale è quella del settore centrale, in particolare il tratto di costa afferente alla provincia di Forlì-Cesena, dove il 77,6% di costa è privo di tale elemento morfologico. Anche la provincia di Ravenna presenta gravi criticità, infatti circa il 30% dei suoi 44,6 km è priva di dosso.

**Luisa Perini, Lorenzo Calabrese, Paolo Luciani**

Servizio Geologico, sismico e dei suoli, Regione Emilia-Romagna

## BIBLIOGRAFIA

Corbau C. Simeoni U., Zoccarato C., Mantovani G., Teatini P., 2019, "Coupling land use evolution and subsidence in the Po Delta, Italy: Revising the past occurrence and prospecting the future management challenges", *Science of the Total Environment*, 654 (2019), 1196-1208.

Ippc, 2019, *Global warming of 1.5 °C. Summary for policymakers*, ISBN 978-92-9169-151-7.

Nicholls R.J., Wong P.P., Burkett V., Codignotto J., Hay J., McLean R., Ragoonaden S., Woodroffe C.D., Abuodha P.A.O., Arblaster J., Brown B., Forbes D., Hall J., Kovats S., Lowe J., McInnes K., Moser S., Rupp-Armstrong S., Saito Y., 2007, "Coastal systems and low-lying areas", in Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E. (eds.), *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, UK, Cambridge University Press, <http://ro.uow.edu.au/scipapers/164>

Perini L., Calabrese L., Luciani P., Olivieri M., Galassi G., Spada G., 2017, "Sea-level rise along the Emilia-Romagna coast (Northern Italy) in 2100: scenarios and impacts", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17, 2271-2287, <https://doi.org/10.5194/nhess-17-2271-2017>.

Perini L., Calabrese L., Salerno G., Luciani P., "Sea-floodhazard mapping in Emilia-Romagna", in *Atti della 7th Euregeo Conference*, 12-15 June 2012, Bologna, Italy, vol. 1, 334-335, 2012.

Syvitski J.P.M., Kettner A.J., Overeem I., Hutton E.W.H., Hannon M.T., Brakenridge G.R., Day J., Vörösmarty C., Saito Y., Giosan L., Nicholls R., 2009, "Sinking deltas due to human activities", *Nat. Geosci.*, 2, 681-686.

