

tati nel miglior modo possibile al contesto territoriale in esame. Nell'ambito del progetto Micore, sulla base dei dati a disposizione, del contesto morfo-batimetrico dell'Emilia-Romagna e della letteratura disponibile sull'argomento, è stato messo a punto un criterio di classificazione delle mareggiate definite come una successione temporale degli stati del mare caratterizzati da un'altezza significativa minima di 1.5 metri, che abbia una persistenza di almeno 6 ore. Gli stati del mare vengono separati in due mareggiate successive se l'altezza significativa rimane sotto la precedente soglia per almeno 3 ore consecutive. Le mareggiate così identificate vengono poi classificate attraverso l'integrazione del quadrato della altezza delle onde registrate nel periodo di durata della mareggiata, così da avere una precisa indicazione del contenuto energetico trasferito dal mare alla costa. La classe di intensità dell'evento varia tra 1 e 5. La metodologia utilizzata si basa su precedenti applicazioni in campo Mediterraneo (Mendoza e Jiménez, 2004) ed è stata ampiamente testata sulla costa emiliano-romagnola in studi precedenti (Armaroli et al., 2007).

I dati ondometrici rilevati dalla boa ondometrica Nausicaa durante l'inverno in corso, sono stati analizzati per identificare e classificare le mareggiate. Si noti che dal punto di vista strettamente meteorologico l'inverno è rappresentato dai mesi di dicembre, gennaio e febbraio, ma che in questo ambito, per consentire un'analisi più estesa e dato che febbraio non si è ancora concluso al momento della scrittura di questo articolo, il periodo di analisi è stato esteso anche al precedente autunno, ovvero dal 1 settembre 2009 fino al 31 gennaio 2010. Durante questo periodo il clima ondoso (figura 1) appare caratterizzato da una predominanza di onde direttamente incidenti sulla costa, con provenienza da est, mentre le onde con maggiore altezza significativa (e di conseguenza anche maggiormente energetiche)

Tab. 2 Mareggiate isolate nel periodo settembre 2009-gennaio 2010

ID Evento	Giorno	Mese	Anno	Ore	Minuti	Energia* (m ² h)	Classe	Durata (h)	Direzione Hs Max (°N)	Hs max (m)
1	18	10	2009	20	0	34.74	1	13.5	52	1.70
2	23	10	2009	21	0	72.63	2	14.0	56	2.86
3	3	11	2009	11	30	17.06	1	6.0	30	1.81
4	5	12	2009	1	30	27.45	1	7.0	48	2.18
5	12	12	2009	14	0	51.00	1	15.5	61	2.26
6	14	12	2009	2	30	42.99	1	14.5	70	2.00
7	15	12	2009	9	0	18.09	1	6.5	58	1.80

hanno direzioni est-nord-est e nord-est, come evidenziato in modo più preciso dalla tabella delle occorrenze in cui le onde sono state suddivise per classe di altezza e per direzione di provenienza (tabella 1).

L'analisi ha permesso di identificare, da settembre 2009 a gennaio 2010, sette mareggiate, tutte di modesta entità (classe energetica 1, a parte quella di ottobre 2009, come si evince dalla tabella 2), le caratteristiche complessive delle quali sono sintetizzate nella tabella 3, che riporta i valori minimi, massimi e medi delle grandezze maggiormente signifi-

Tab. 3 Sintesi dei valori medi, minimi e massimi degli eventi di mareggiata isolati nel periodo settembre 2009-gennaio 2010

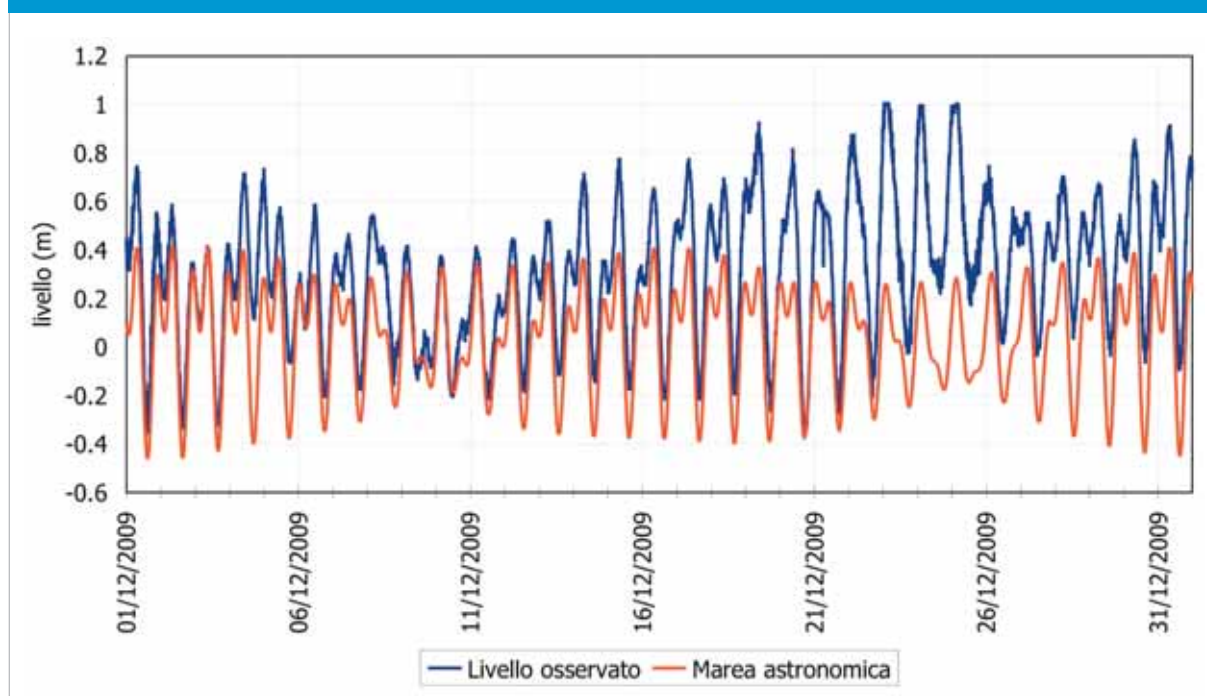
	Energia* (m ² h)	Classe	Durata (h)	Direzione Max E* (°N)	Hs max (m)
Media	37.71	1.14	11.0	53.4	2.09
Minimo	17.06	1	6.0	29.5	1.70
Massimo	72.63	2	15.5	70.3	2.86

cative per la caratterizzazione di un evento di mareggiata.

Per comprendere meglio l'azione delle mareggiate sulla costa è necessario considerare, oltre all'altezza delle onde anche il sovrizzo del livello del mare dovuto alle condizioni meteorologiche (*storm surge*). Come si è infatti detto pre-

cedentemente, mareggiate con direzione incidente sulla costa (provenienza dai quadranti orientali e sud orientali) associate ad acque alte portano le onde a invadere più facilmente il litorale e a sovrastare le opere di difesa, intensificando i fenomeni erosivi e di allagamento. Il modo più accu-

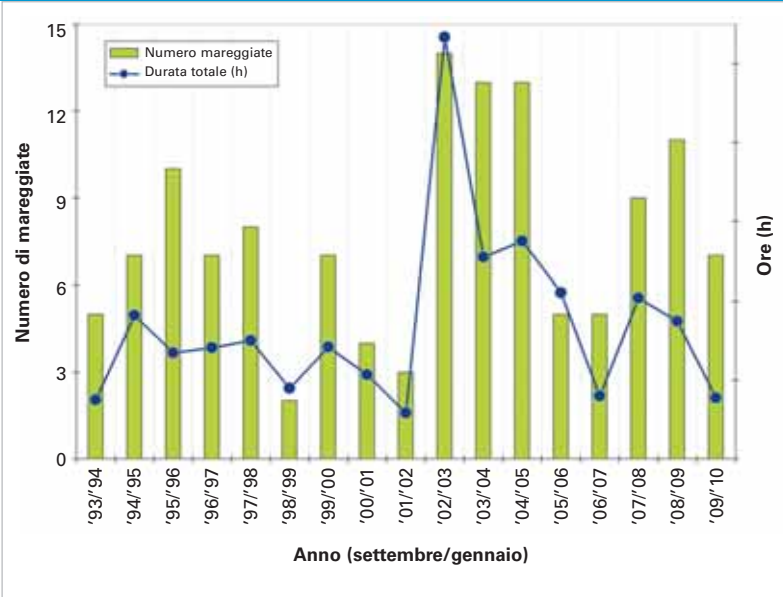
Fig. 2 Dati del livello del mare (m) rilevati dal mareografo di Porto Corsini (Ra), rete mareografica nazionale (linea blu), dicembre 2009



In rosso la previsione di marea astronomica; da notare lo scostamento dalle previsioni a cavallo del 23-25 dicembre dovuto al fenomeno delle acque alte



Fig. 3 Andamento delle mareggiate nel periodo autunno-inverno (dal 1 settembre al 31 gennaio), anni 1993-2010



18

rato per considerare l'effetto atmosferico sulle acque alte è quello di calcolare lo scostamento del livello del mare misurato dalla previsione teorica del fenomeno della marea. Tramite l'utilizzo di un modello di previsione di marea appositamente testato per le nostre coste dall'Università di Ferrara, si sono analizzati i dati mareografici del mese di dicembre 2009, durante il quale si è verificato il maggior numero di mareggiate, che però in base all'analisi svolta da Arpa-Simc risultavano di bassa energia. I dati di marea provengono dalle misure del livello del mare effettuate dal mareografo di Porto Corsini (Ra), facente parte della Rete mareografica nazionale gestita da Ispra. Dall'analisi della figura 2 si può notare che nel periodo dal 19 al 26 dicembre, pur se non interessato da altezze dell'onda particolarmente elevate, si registrano 6 superamenti della soglia di 0.8 metri, con una permanenza totale (sommando quindi i vari intervalli), al di sopra di tale soglia, superiore alle 25 ore. Calcolando il contributo meteorologico (bassa pressione atmosferica, vento e onde) a questo fenomeno dell'acqua alta, risulta che durante le notti nel periodo 22-25 dicembre, la marea aveva un sovrizzo che superava i 65 cm.

È proprio tra il 15 e il 24 dicembre che i Servizi tecnici di bacino competenti per la difesa della costa

hanno segnalato numerosi impatti lungo tutto il litorale regionale. La tipologia di danno prevalente è stata l'erosione della spiaggia emersa che ha prodotto abbassamenti di quota (in particolare a Lido di Volano) nei settori più prossimi alla linea di riva. L'erosione ha interessato ampi tratti della "duna artificiale invernale" e localmente anche quella naturale. Dove la duna artificiale è stata demolita dalle onde si sono verificati allagamenti dei settori retrostanti e in particolare delle infrastrutture balneari permanenti (Lido Adriano, Ponente Zadina, e il settore di Cesenatico). La duna invernale ha quindi svolto un ruolo importante di protezione dall'acqua alta, e i danni maggiori, in presenza di questo sistema di difesa, si sono verificati lì dove la struttura è stata eretta con criteri diversi da quelli indicati dai servizi tecnici regionali. La buona pratica di questi sistemi di protezione, insieme ai recenti ripascimenti hanno limitato considerevolmente l'impatto lungo il litorale ferrarese, normalmente colpito in maniera seria dal fenomeno di allagamento. Risulta evidente dal "Catalogo degli impatti delle mareggiate storiche" prodotto nell'ambito del progetto Micore, all'interno del Wp1 (*Historical storm*), il cui scopo è stato proprio quello di fissare lo "stato dell'arte" per la costa, attraverso un'analisi storica delle mareggiate e della



FOTO ARCH. ARPARIVISTA

storminess. Tale analisi si è resa necessaria per quantificare e valutare i cambiamenti morfologici costieri e l'impatto socio-economico, punto di partenza per un esame dell'efficienza degli schemi di intervento di protezione civile. Il confronto del periodo autunno-inverno 2009-2010 con i precedenti periodi degli ultimi sedici anni è mostrato in figura 3. Si nota come il numero di mareggiate risulta mediamente pari a 8, con una variabilità interannuale compresa tra un massimo di 13-14 eventi tra il 2002 e il 2004 e un minimo di 2 eventi nel 1998-1999. Nell'autunno-inverno in corso, tuttavia, il numero di ore di mareggiata risulta ridotto, uguagliando quelle del 2001-2002, che rappresenta il minimo della serie.

In conclusione il periodo dal 1 settembre 2009 al 31 gennaio 2010 non ha presentato eccezionali criticità per quanto riguarda gli eventi di mareggiata, che

risultano nella media degli ultimi 16 anni per quanto riguarda il numero di eventi. Ai livelli minimi risulta invece la durata delle mareggiate e quindi della relativa energia associata. L'analisi svolta ha evidenziato bene l'importanza del contributo delle acque alte per i fenomeni erosivi sulla costa regionale, e quindi la necessità di un'analisi congiunta di queste con le onde per una corretta previsione degli impatti costieri dovuti a mareggiate intense.

Andrea Valentini
Marco Deserti
 Servizio Idro-Meteo-Clima
 Arpa Emilia-Romagna
Paolo Ciavola
Clara Armaroli
Marinella Masina
 Università degli studi di Ferrara
Luisa Perini
Lorenzo Calabrese
 Servizio geologico sismico e dei suoli
 Regione Emilia-Romagna

RIFERIMENTI

Armaroli C., Ciavola P., Caleffi S., Gardelli M., 2007, *Morphodynamics of nearshore rhythmic forms: an energy-based classification*, Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering, San Diego, CA, USA, vol. 4, pp. 4009-4021.
 Mendoza E.T., Jimenez J.A., 2004, *Factors controlling vulnerability to storm impacts along the Catalanian coast*, Proceedings of the International Conference of Coastal Engineering, Lisbon, pp. 3087-3099.
 Valentini A., Delli Passeri L., Paccagnella T., Patruno P., Marsigli C., Deserti M., Chiggiato J., Tibaldi S., 2007, *The Sea State forecast system of Arpa-Sim*, in *Boll. Geof. Teor. Appl.*, Vol. 48, n. 3, pp. 333-349.