

RAPPORTI TECNICI

DELL'AREA GEOLOGIA, SUOLI E SISMICA

2023



MAREGGIATE
E IMPATTI
SULLA COSTA

Obiettivo Operativo n. 12
Responsabile del progetto:

Luisa Perini

Area Geologia, Suoli e Sismica - Settore Difesa del Territorio – Regione Emilia-Romagna

luisa.perini@regione.emilia-romagna.it

collaboratori:

Lorenzo Calabrese, Jessica Lelli

Area Geologia, Suoli e Sismica - Settore Difesa del Territorio– Regione Emilia-Romagna

In copertina:

Foto Archivio Area Geologia, Suoli e Sismica

Immagine coordinata:

Simonetta Scappini

Area Geologia, Suoli e Sismica - Settore Difesa del Territorio – Regione Emilia-Romagna

Il presente documento è rilasciato secondo i termini della licenza Creative Commons 4.0 Attribution (Attribuzione). I contenuti (salvo marchi, segni distintivi o altro diversamente specificato) possono essere riprodotti, distribuiti, comunicati, esposti, rappresentati e modificati rispettando la seguente condizione: citazione della fonte (“Regione Emilia-Romagna”) e il titolo del documento.

Una sintesi della licenza si trova alla pagina <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.it>

Per eventuali aggregazioni o rielaborazioni dei contenuti finalizzate alla realizzazione di prodotti diversi dall'originale, pur permanendo l'obbligo di citazione della fonte, si declina ogni responsabilità



Direzione Generale cura del territorio e dell'ambiente
Area Geologia, Suoli e Sismica, Settore difesa del Suolo
Viale della Fiera 8, 40127 Bologna
telefono: 051 5274792
fax: 051 5274208
e-mail: segrgeol@regione.emilia-romagna.it
PEC: segrgeol@postacert.regione.emilia-romagna.it
Sito web: <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa>

Sommario

1. Premessa	2
2. Le mareggiate 2023	3
2.1. Dati in in_Storm	3
2.2. Caratteristiche degli eventi	5
2.3. Gli impatti	6
3. Analisi dati e aggiornamento del catalogo	8
3.4. Le mareggiate nel periodo 2007 - 2023.....	8
3.5. Le mareggiate nel periodo 2011 - 2023.....	11
3.6. Le mareggiate nel periodo 1946 - 2023.....	14
4. Conclusioni.....	16
5. Riferimenti bibliografici utili	18

1. Premessa

Il presente rapporto tecnico riguarda l'analisi delle mareggiate che hanno prodotto impatti sulle coste regionali nell'anno 2023.

Si forniscono inoltre gli aggiornamenti del catalogo eventi storici oggetto della pubblicazione '*Le Mareggiate e gli Impatti sulla Costa in Emilia-Romagna, 1946–2010*' (Perini et al 2011).

A partire dal 2011 l'Area Geologia, Suoli e Sismica - AGSS (ex Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - SGSS) della Regione Emilia - Romagna ha provveduto a strutturare un'apposita banca dati denominata "in_Storm" che raccoglie le informazioni sugli eventi meteomarini che affliggono le coste regionali, mantenendo il costante aggiornamento sui rischi costieri da mareggiata. Tali informazioni rappresentano la base dati indispensabile per lo svolgimento di diverse attività nelle quali l'AGSS è impegnata, ovvero:

- Il supporto al Centro Funzionale regionale per quanto concerne l'allertamento costiero. Sulla base dei dati archiviati nel DB in_Storm si elabora anche l'analisi delle allerte emesse, contribuendo così a migliorare l'affidabilità del sistema;
- L'analisi dell'evoluzione nel tempo degli impatti da mareggiata che contribuisce al monitoraggio dei fenomeni di interesse per l'osservatorio istituito a supporto della Strategia Regionale di Mitigazione e Adattamento per i Cambiamenti Climatici (SMACC);
- L'aggiornamento delle cartografie di pericolosità, elaborate ai sensi del d.lgs. 49/2010 e del relativo piano (PGRA);
- L'aggiornamento dei quadri conoscitivi a supporto della pianificazione territoriale.

Per le informazioni generali relative alla banca dati in_Storm e al clima meteo-marino si rimanda al rapporto "*Mareggiate e impatti sulla costa - aggiornamento dei dati al 2020, degli indicatori e analisi delle tendenze*" accessibile online all'indirizzo:

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/mareggiate-analisi-dati>

2. Le mareggiate 2023

Nel 2023 sono state emesse 28 allerte per criticità costiera (Tabella 1), riferibili ad un totale di 13 eventi.

Di tali eventi 8 sono entrati nel catalogo in_Storm, perché caratterizzati dal superamento di almeno uno dei valori meteo-marini di riferimento (soglie onda o livello del mare) utilizzati ai fini dell'allertamento, e/o per la presenza di impatti.

N° Doc.	Data Inizio alle 0	Data Fine alle 0	PREVISIONI				MAREGGIATE CON IMPATTI	RILEVAZIONI								
			Allerte		SOGLIE			INDICATORI PREVISI IN FASE	Marea max (m)	Giorno/Mese - Ora	Mareografo	Altezza Onda max (m)	Giorno/Mese - Ora	Ondametro	Direzione vento	Direzione onda
			Stato del Mare	Criticità Costiera	Altezza d'onda a largo (m)	Livello del mare (m)										
006/2023	17/01/2023	18/01/2023	VERDE	GIALLO	1.35	0.83	No	No	0.728	17/01 - 20:20	PG - Encoder	0.93	17/01 - 23:30	Nausicaa 2	N	E
008/2023	20/01/2023	21/01/2023	GIALLO	GIALLO	2.36	0.87	No		0.814	20/01 - 09:00	PG - Encoder	2.93	20/01 - 23:30	Nausicaa 2	N	E-NE
009/2023	21/01/2023	22/01/2023	GIALLO	GIALLO	2.37	0.88	No		1.012	21/01 - 09:30	PG - Encoder	2.8	21/01 - 23:30	Nausicaa 2	NE	NE
010/2023	22/01/2023	23/01/2023	ARANCIONE	ARANCIONE	2.95	0.87	SI	SI	0.999	22/01 - 09:30	PG - Encoder	3.91	22/01 - 03:30	Nausicaa 2	E-NE	E-NE
011/2023	23/01/2023	24/01/2023	ARANCIONE	ARANCIONE	3.77	1.16	SI		1.28	23/01 - 11:00	PC (PG non attiva)	3.79	23/01 - 11:30	Nausicaa 2	NE	E-NE
012/2023	24/01/2023	25/01/2023	VERDE	GIALLO	1.64	0.68	SI		0.56	24/01 - 11:10	PC (PG non attiva)	1.28	24/01 - 00:00	Nausicaa 2	NW	E
013/2023	25/01/2023	26/01/2023	VERDE	GIALLO	1.19	0.49	No		0.451	25/01 - 01:40	PG - Encoder	1.73	25/01 - 05:30	Nausicaa 2	E	E-NE
014/2023	26/01/2023	27/01/2023	VERDE	GIALLO	1.43	0.45	No		0.411	26/01 - 01:40	PG - Encoder (PC identico alle 01:10)	1.26	26/01 - 23:30	Nausicaa 2	NW	NE
015/2023	27/01/2023	28/01/2023	VERDE	GIALLO	1.85	0.48	No		0.504	27/01 - 03:00	PG - Encoder	1.7	27/01 - 08:00	Nausicaa 2	NW	NE
022/2023	26/02/2023	27/02/2023	ARANCIONE	GIALLO	3.01	0.45	No	No	0.455	26/02 - 03:00	PG - Encoder	3.38	26/02 - 13:00	Nausicaa 2	NE	E-NE
023/2023	27/02/2023	28/02/2023	GIALLO	GIALLO	2.34	0.54	SI		0.471	27/02 - 01:30	PG - Encoder	2.49	27/02 - 00:00	Nausicaa 2	NE	NE
036/2023	03/04/2023	04/04/2023	GIALLO	GIALLO				No	0.542	03/04 - 21:10	PG - Encoder	2.7	03/04 - 19:30	Nausicaa 2		
061/2023	16/05/2023	17/05/2023	GIALLO	GIALLO	2	0.83	No	SI	0.887	16/05 - 18:40	PG - Encoder	3.23	16/05 - 07:30	Nausicaa 2	NE	E-NE
062/2023	17/05/2023	18/05/2023	GIALLO	GIALLO	1.42	0.6	SI		0.898	17/05 - 08:10	PG - Encoder	2.13	17/05 - 01:00	Nausicaa 2	NE	E-NE
093/2023	18/05/2023	19/05/2023	GIALLO	GIALLO	1.27	0.55	No		0.48	18/05 - 09:00	PG	1.29	18/05 - 01:30	Nausicaa 2	E	E-NE
121/2023	28/08/2023	29/08/2023	VERDE	GIALLO				No	0.74	28/08 - 19:00	PG	1.04	28/08 - 17:00	Nausicaa 2	SW	E
122/2023	29/08/2023	30/08/2023	VERDE	GIALLO				No	0.668	29/08 - 11:10	PG	0.79	29/08 - 11:10	Nausicaa 2	NW	E-SE
131/2023	15/10/2023	16/10/2023	GIALLO	GIALLO	2.45	0.57	SI	No	0.604	15/10 - 09:40	PG	1.89	15/10 - 21:00	Nausicaa 2	E	E-NE
133/2023	19/10/2023	20/10/2023	VERDE	GIALLO	1.3	0.81	No	No	0.81	19/10 - 09:50	PG	1.2	19/10 - 21:30	Nausicaa 2	W	E-NE
134/2023	20/10/2023	21/10/2023	VERDE	GIALLO	1.71	0.89	SI		0.95	20/10 - 11:20	PC	1.14	20/10 - 20:00	Nausicaa 2	S	E-NE
136/2023	25/10/2023	26/10/2023	VERDE	GIALLO	1.13	0.79	No	No	0.713	25/10 - 07:50	PG	0.82	25/10 - 00:00	Nausicaa 2	SW	E-NE
138/2023	27/10/2023	28/10/2023	VERDE	GIALLO	1.34	1	SI		1.137	27/10 - 09:00	PG	0.75	27/10 - 11:00	Nausicaa 2	W	W
141/2023	30/10/2023	31/10/2023	GIALLO	GIALLO	1.8	0.88	No	No	0.98	30/10 - 23:10	PC	1.68	30/10 - 22:00	Nausicaa 2	SSE	E-NE
144/2023	02/11/2023	03/11/2023	GIALLO	GIALLO	2.06	0.73	No		0.762	02/11 - 12:00	PG	1.18	02/11 - 20:00	Nausicaa 2	S	E-SE
145/2023	03/11/2023	04/11/2023	GIALLO	GIALLO	1.8	0.81	No	No	0.891	03/11 - 02:30	PG	1.34	03/11 - 08:30	Nausicaa 2	SW	E
147/2023	05/11/2023	06/11/2023	VERDE	GIALLO	1.86	1.07	No		1.01	05/11 - 06:40	PC	0.88	05/11 - 12:30	Nausicaa 2	W	E
165/2023	22/11/2023	23/11/2023	GIALLO	GIALLO	2.57	0.62	No	No	0.783	22/11 - 07:40	PG	2.75	22/11 - 18:30	Nausicaa 2	E-NE	E-NE
161/2023	02/12/2023	03/12/2023	GIALLO	GIALLO	2.21	0.8	No	No	0.833	02/12 - 12:00	PG	0.98	02/12 - 02:00	Nausicaa 2	W-SW	E

Tabella 1: Allerte emesse al 2023, comprensivo di dati previsti e osservati.

2.1. Dati in in_Storm

La tabella seguente contiene la sintesi delle informazioni relative alle singole mareggiate catalogate nel DB in_Storm, con particolare riferimento a:

- previsione/allertamento dell'evento;
- superamento dei valori di riferimento (soglie) dei parametri meteo-marini onda e livello del mare (in previsione e in registrazione);
- impatti e relativa registrazione.

Progr.	Codice	Data Inizio	Data Fine	PREVISIONI					IMPATTI	RILEVAZIONI							SEGNALAZIONE DANNI		
				Allerte		SOGLIE				Marea max (m)	Giorno/Mese - Ora	Mareografo	Altezza onda max (m)	Giorno/Mese - Ora	Ondametro	Direzione vento	Direzione onda	Ubicazione	Note
				Stato del Mare	Criticità Costiera	Altezza d'onda la largo (m)	Livello del mare (m)	Combinato											
1	2023_01_I	20/01/2023	21/01/2023	GIALLO	GIALLO	2.36	0.87	No	SI	0.814	20/01 - 09:00	Porto Garibaldi	2.03	20/01 - 23:30	Nausicaa 2	N	E-NE	Tutto litorale	Dal 25/01 al 27/01 giallo precauzionale visto lo stato di vulnerabilità della costa
2		21/01/2023	22/01/2023	GIALLO	GIALLO	2.37	0.88	No		1.012	21/01 - 09:30	Porto Garibaldi	2.6	21/01 - 23:30	Nausicaa 2	NE	NE		
3		22/01/2023	23/01/2023	ARANCIONE	ARANCIONE	2.95	0.87	SI		0.999	22/01 - 09:30	Porto Garibaldi	3.91	22/01 - 03:30	Nausicaa 2	E-NE	E-NE		
4		23/01/2023	24/01/2023	ARANCIONE	ARANCIONE	3.77	1.16	SI		1.28	23/01 - 11:00	Porto Corsini (PG non attiva)	3.79	23/01 - 11:30	Nausicaa 2	NE	E-NE		
5	2023_02_I	26/02/2023	27/02/2023	ARANCIONE	GIALLO	3.01	0.45	No	No	0.455	26/02 - 03:00	Porto Garibaldi	3.38	26/02 - 13:00	Nausicaa 2	NE	E-NE		
6	2023_05_I	16/05/2023	17/05/2023	GIALLO	GIALLO	2	0.83	No	SI	0.867	16/05 - 18:40	Porto Garibaldi	3.23	16/05 - 07:30	Nausicaa 2	NE	E-NE	Riminese e cesenate, danni stabilimenti e allagamenti/ erosione spiaggia. Allagamenti degli stabilimenti in tutta la zona di Rimini marina centro e Bellaria. Enormi quantità di materiale vegetale spiaggiato in prossimità delle foci fluviali. Erosione delle spiagge nei punti di apertura degli sbocchi a mare degli scoli consortili e del drenaggio urbano. Erosione delle spiagge di scarsa entità ma diffusa, limitati arretramento linea di riva e abbassamento del piano spiaggia, solo localmente più significativo, (Bellaria e Misano zona pennelli). Allagamento via Carducci a Valverde (FC).	
7		17/05/2023	18/05/2023	GIALLO	GIALLO	1.42	0.6	SI		0.698	17/05 - 09:10	Porto Garibaldi	2.13	17/05 - 01:00	Nausicaa 2	NE	E-NE		
8		18/05/2023	19/05/2023	GIALLO	GIALLO	1.27	0.56	No		0.48	18/05 - 09:00	Porto Corsini	1.29	18/05 - 01:30	Nausicaa 2	E	E-NE		
9	2023_10_I	19/10/2023	20/10/2023	VERDE	GIALLO	1.3	0.81	No	No	0.81	19/10 - 09:50	Porto Garibaldi	1.2	19/10 - 21:30	Nausicaa 2	W	E-NE		
10		20/10/2023	21/10/2023	VERDE	GIALLO	1.71	0.89	SI	No	0.95	20/10 - 11:20	Porto Corsini	1.14	20/10 - 20:00	Nausicaa 2	S	E-NE		
11	2023_10_II	27/10/2023	28/10/2023	VERDE	GIALLO	1.34	1	SI	No	1.137	27/10 - 09:00	Porto Garibaldi	0.75	27/10 - 11:00	Nausicaa 2	W	W		
12		30/10/2023	31/10/2023	GIALLO	GIALLO	1.8	0.88	No	No	0.98	30/10 - 23:10	Porto Corsini	1.68	30/10 - 22:00	Nausicaa 2	SSE	E-NE		
13	2023_11_I	03/11/2023	04/11/2023	GIALLO	GIALLO	1.8	0.81	No	No	0.881	03/11 - 02:30	Porto Garibaldi	1.34	03/11 - 08:30	Nausicaa 2	SW	E		
14		05/11/2023	06/11/2023	VERDE	GIALLO	1.86	1.07	No	No	1.01	05/11 - 06:40	Porto Corsini	0.88	05/11 - 12:30	Nausicaa 2	W	E		
15	2023_11_II	22/11/2023	23/11/2023	GIALLO	GIALLO	2.57	0.62	No	No	0.783	22/11 - 07:40	Porto Garibaldi	2.75	22/11 - 18:30	Nausicaa 2	E-NE	E-NE		
16	2023_12_I	02/12/2023	03/12/2023	GIALLO	GIALLO	2.21	0.8	No	No	0.833	02/12 - 12:00	Porto Garibaldi	0.98	02/12 - 02:00	Nausicaa 2	W-SW	E		

Tabella 2: Prospetto mareggiate 2023 caratterizzate da superamento di soglia e/o impatto sul territorio. Allerte emesse, superamenti dei valori di riferimento (soglie) e impatti.

Nel 2023 sono state 12 le allerte per criticità costiera gialla per le quali si è riscontrato un superamento dei valori di riferimento di onda o di livello del mare (soglie) o il verificarsi di impatti sulla costa; 2 ulteriori sono state emesse con codice colore arancione e nessun codice rosso. Degli 8 eventi inseriti nel data base in_Storm, uno ha avuto durata di quattro giorni, uno di tre giorni e tre di due giorni.

Nella Tabella 3, sono riassunti i dati salienti che descrivono la risposta del sistema di allertamento costiero.

Eventi In_Storm	
Mareggiate con impatto	2
Superamento valori di riferimento per onda	1
Superamento valori di riferimento del livello del mare	4
Superamento valori di riferimento combinati	3
Superamento valori di riferimento totali	8
Eventi con impatto e senza superamento dei valori di riferimento	0
Eventi con superamenti e senza impatti	6
Allerte senza impatti/superamenti dei valori di riferimento	4

Tabella 3: Sintesi della risposta del sistema di allerta

2.2. Caratteristiche degli eventi

Degli 8 eventi registrati nel DB in_Storm (Figura 1), 4 sono stati caratterizzati dal solo superamento del valore di riferimento del livello del mare ($l.m. > 0.8$ m), mentre in 2 casi sono stati concomitanti i superamenti dei valori di riferimento di livello del mare e di altezza dell'onda ($H_s > 3$ metri).

Si è verificato un evento caratterizzato dal superamento dei valori di riferimento combinati ($l.m. > 0.7$ m e H_s onda > 2 m), infine in un solo caso si è registrato il superamento del solo livello di riferimento di altezza dell'onda.

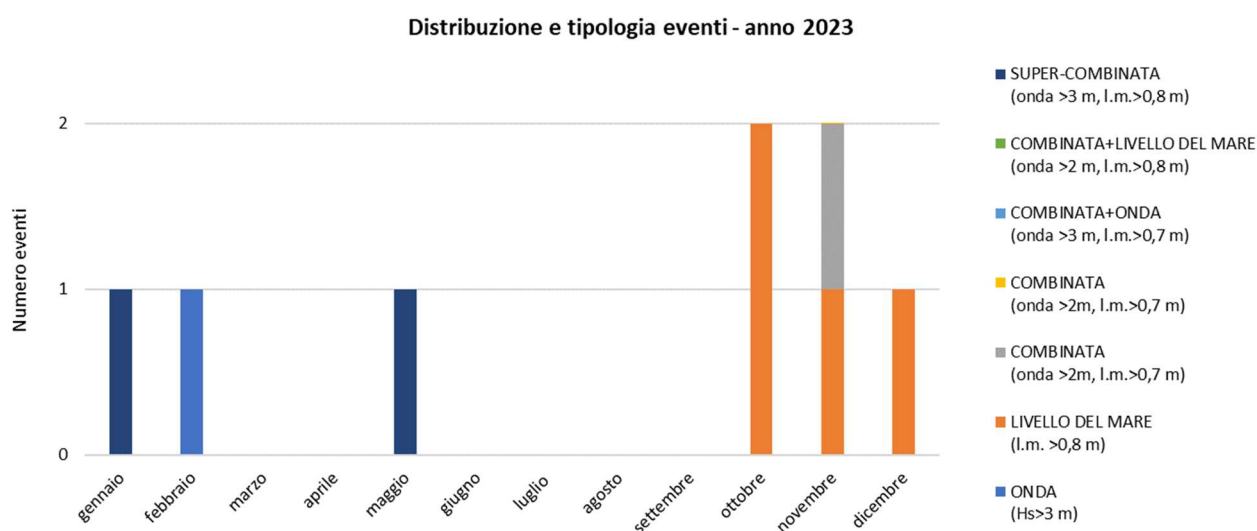


Figura 1: Distribuzione e tipologia eventi con superamento nell'anno 2023

Nessun evento è stato contrassegnato da valori di onda estremi, mentre il livello del mare ha raggiunto il ragguardevole valore di 1.28 m che, in base alle statistiche attualmente disponibili è superiore ad un $Tr=2$ anni (Masina e Ciavola 2011).

- L'onda massima rilevata alla boa Nausicaa di Cesenatico è stata quella del 22 gennaio 2023, caratterizzata da un valore H_s (altezza di onda significativa) di 3,91 m, e provenienza da E-NE. Tale valore è di poco superiore a quello riferimento per le mareggiate con 'tempo di ritorno (Tr)' di 1 anno per direzioni tra i 60 e i 90 gradi (NE-E) che, in base ai dati statistici attualmente disponibili è di circa 3,6 m;
- Il succitato valore massimo annuale di livello del mare pari a 1,28 m ($Tr > 2$ anni), è stato registrato dal mareografo di Porto Corsini il 23 gennaio 2023 alle ore 11:00, in concomitanza ad un evento di mareggiata caratterizzato da $H_s = 3,79$ m, e corrisponde ad un Tr di poco superiore ad 1 anno;
- Le mareggiate dell'anno 2023 sono distribuite principalmente nei mesi autunnali e invernali (Figura 2), e quelle con impatto a gennaio e maggio.

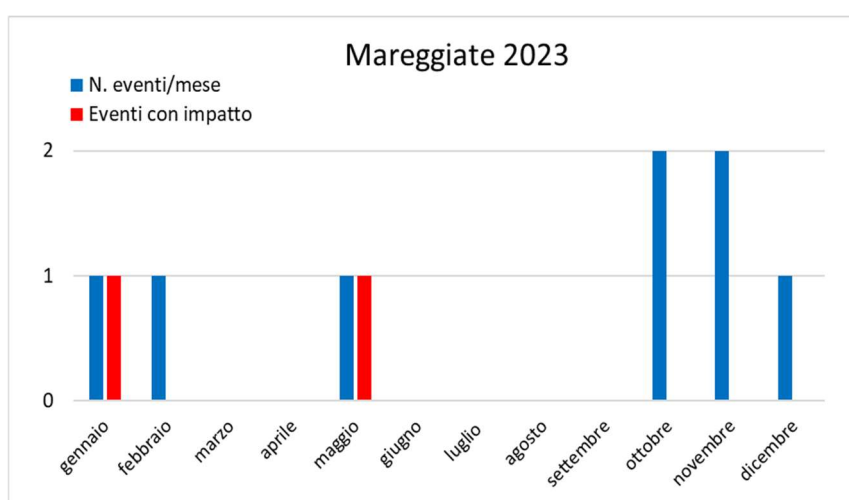


Figura 2: Distribuzione nell'anno delle mareggiate 2023

2.3. Gli impatti

Nel corso del 2023 sono stati monitorati impatti da mareggiata solo in occasione dei **2 eventi** avvenuti rispettivamente nei giorni 22-27 gennaio e 16-19 maggio.

Quello maggiormente dannoso dal punto di vista dell'estensione areale è stato quello di gennaio, che ha interessato l'intero litorale emiliano-romagnolo, provocando fenomeni di erosione delle spiagge e delle dune di protezione invernale, locali allagamenti e danni alle infrastrutture balneari. Per questo evento è stato prodotto un rapporto di evento da parte del centro funzionale in cui sono descritti anche gli impatti della mareggiata (https://allertameteo.regione.emilia-romagna.it/archivio-report-post-evento/-/asset_publisher/HpRwtPMIzgmZ/content/id/2159741).

L'evento di maggio 2023 si è invece sviluppato in un contesto meteorologico estremo, quello che ha prodotto l'alluvione che ha interessato una vasta area della pianura romagnola e circa 70 mila tra fenomeni franosi e dissesti sull'appennino. L'evento meteomarinico, di per sé, ha prodotto limitati danni in termini di erosione e allagamenti, che hanno riguardato quasi esclusivamente il settore romagnolo. I maggiori impatti sono derivati invece dall'ingente accumulo di tronchi e altro materiale, trasportati a mare dai fiumi in piena e poi dispersi lungo i litorali. Ciò ha richiesto un massiccio e tempestivo intervento con mezzi meccanici, necessari anche per ripristinare le infrastrutture balneari

gravemente colpite dall'evento. La sopraelevazione del livello del mare, dovuta alla combinazione dei segnali di onda e di livello (marea astronomica + componente meteorologica), ha fortunatamente preceduto il deflusso a mare delle piene, impedendo che l'effetto barriera, che ha rallentato il deflusso di fiumi e canali, provocasse la tracimazione alle foci dei corsi d'acqua. Questo fenomeno era quello maggiormente temuto in fase di allerta.

Anche per questo evento è stato prodotto un rapporto del 'centro funzionale', al quale si è contribuito per la parte relativa agli impatti da mareggiata https://allertameteo.regione.emilia-romagna.it/archivio-report-post-evento/-/asset_publisher/HPRwtPMIzqmZ/content/id/2300006

In sintesi, le tipologie di impatto riscontrate nel 2023 sono state:

- Erosione della spiaggia con conseguente abbassamento della quota media;
- Erosione di ampi tratti di 'duna invernale';
- Limitati episodi di ingressione marina, in particolare nel settore cesenate (Valverde);
- Ingenti accumuli di materiale (vegetale e inerti) lungo i litorali con conseguente impatto alle infrastrutture balneari. Questa categoria non rientra in quelle normalmente censite ai fini dell'analisi statistica.

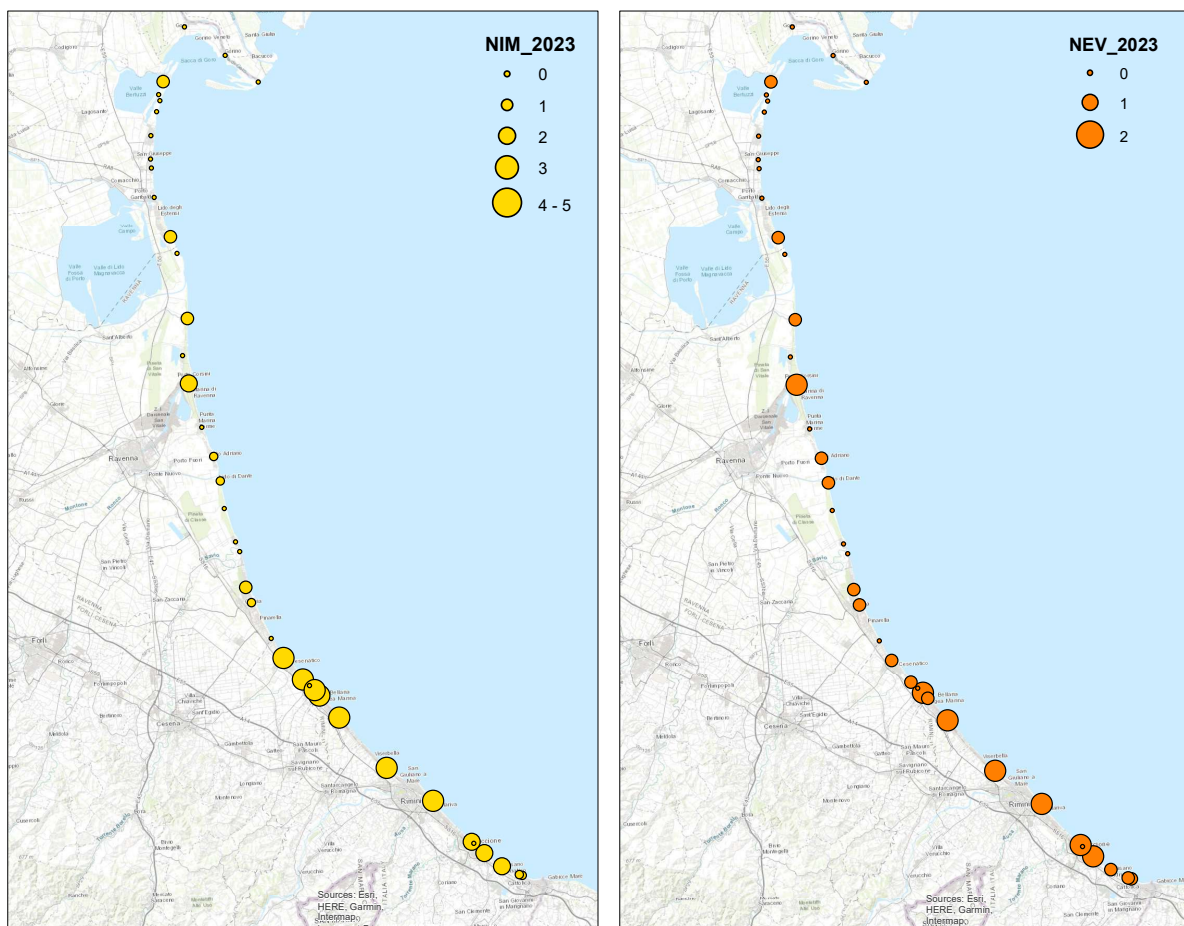


Figura 3: Distribuzione e numero impatti da mareggiata (NIM) e numero di eventi (NEV) anno 2023

3. Analisi dati e aggiornamento del catalogo

Sono illustrati nel seguito i dati sintetici delle mareggiate con impatto e degli eventi contenuti nel DB in_Storm, relativamente ai seguenti intervalli temporali:

- Periodo 2007-2023: esso corrisponde al periodo di funzionamento della boa ondometrica regionale Nausicaa, sostituita a dicembre 2022 da Nausicaa 2. Per questo intervallo viene fornito un aggiornamento delle sole mareggiate con impatto;
- Periodo 2011-2023, periodo di attivazione del DB in_Storm; in questo paragrafo si analizzano anche le mareggiate senza impatto ma caratterizzate dal superamento delle soglie di attenzione;
- Periodo 1946-2023: aggiornamento dei dati del catalogo mareggiate.

3.4. Le mareggiate nel periodo 2007 - 2023

L'analisi è stata elaborata integrando i dati del citato lavoro *'Le Mareggiate e gli Impatti sulla Costa in Emilia-Romagna, 1946 – 2010'*, per il periodo 2007-2010 e i nuovi dati raccolti nel DB in_Storm a partire dal 2011.

Nell'intervallo 2007-2023 il numero totale delle mareggiate che hanno provocato qualche forma di impatto sulla costa è stato di **77**, distribuite prevalentemente nei mesi di dicembre, novembre, maggio, febbraio e marzo (Figura 4).

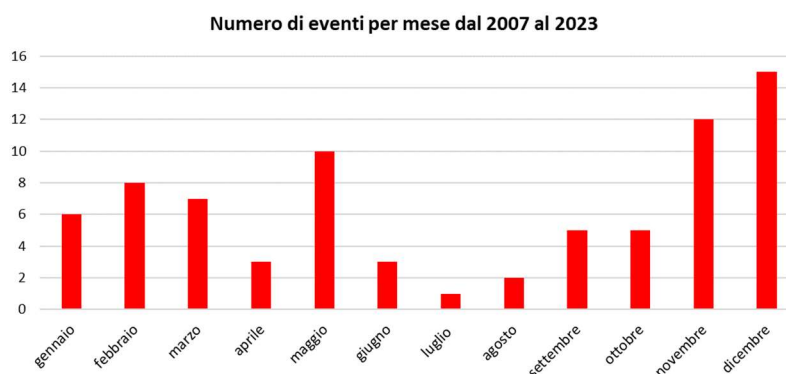


Figura 4: Distribuzione mensile delle mareggiate con impatto - periodo 2007-2023.

L'analisi della frequenza degli impatti si avvale di un indicatore, denominato **NIM**, che esprime il **Numero totale degli Impatti da Mareggiata** registrati nelle località costiere maggiormente critiche, in questo caso monitorate nel periodo 2007-2023. Tale indicatore rappresenta la somma totale delle diverse tipologie di impatto rilevate durante un evento ed afferenti alle seguenti categorie di impatto:

- Erosione dei litorali e/o della duna
- Inondazione marina
- Tracimazione di Fiumi e Canali
- Danneggiamento Opere di difesa (anche temporanee)
- Danneggiamento delle strutture balneari

Indicatore NIM (Numero di Impatti totali da Mareggiata) periodo 2007-2023

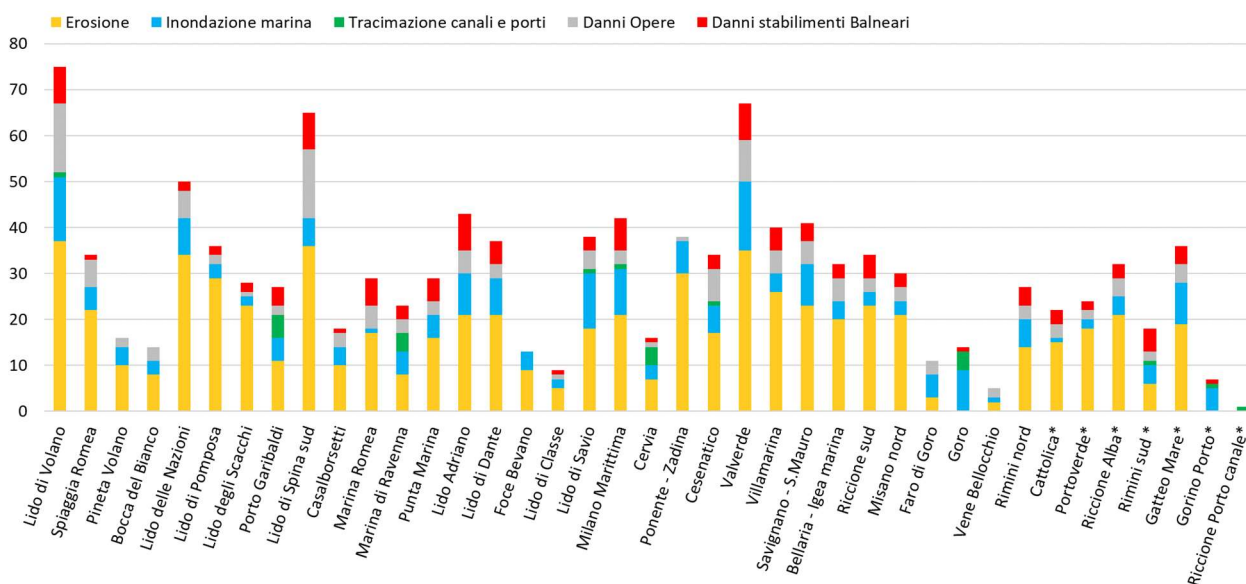


Figura 5: Distribuzione dell'indicatore NIM per località - periodo 2007 - 2023

Come si evince dal grafico di Figura 5, le località che hanno registrato il maggior numero di impatti nel periodo 2007-2023 sono nell'ordine: Lido di Volano (con 75 segnalazioni), Valverde (67) Lido di Spina sud (65). In generale prevale il fenomeno erosivo che, come si osserva in Figura 6, rappresenta il 57% degli impatti totali. Il fenomeno dell'inondazione marina, che rappresenta il 18% delle tipologie di impatto è un processo molto impattante sui beni esposti. Seguono gli impatti alle opere di difesa e alle infrastrutture balneari, rispettivamente con il 12 e 11% del totale dei danni. Gli impatti legati alle tracimazioni di fiumi e canali in occorrenza di fenomeni di 'storm surges', per loro natura sono confinati a poche località della costa e il numero degli impatti rappresenta il 2% del totale.

Tipologie di impatto 2007-2023

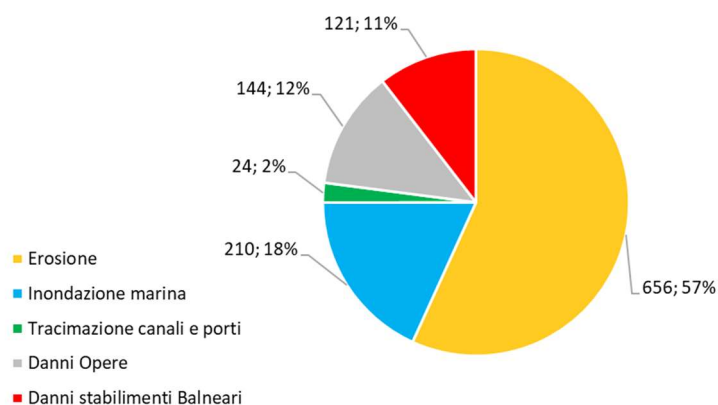


Figura 6: Frequenza e percentuale classi di impatto - periodo 2007-2023.

Nella Figura 7 l'indicatore NIM (numero di impatti da mareggiata) è messo a confronto con il Numero degli **Eventi (NEv)** che, nello stesso intervallo temporale 2007-2023 hanno prodotto qualche tipologia di impatto. La differenza tra i due indicatori indica quanto, in ciascuna località, siano multipli gli impatti. Lido di Volano, per esempio, che è il sito che registra il maggior numero di impatti (75), a

fronte di un numero di mareggiate con impatto pari a 41. Qui oltre al fenomeno erosivo si registrano spesso fenomeni di inondazione, danni alle opere di difesa e agli stabilimenti balneari.

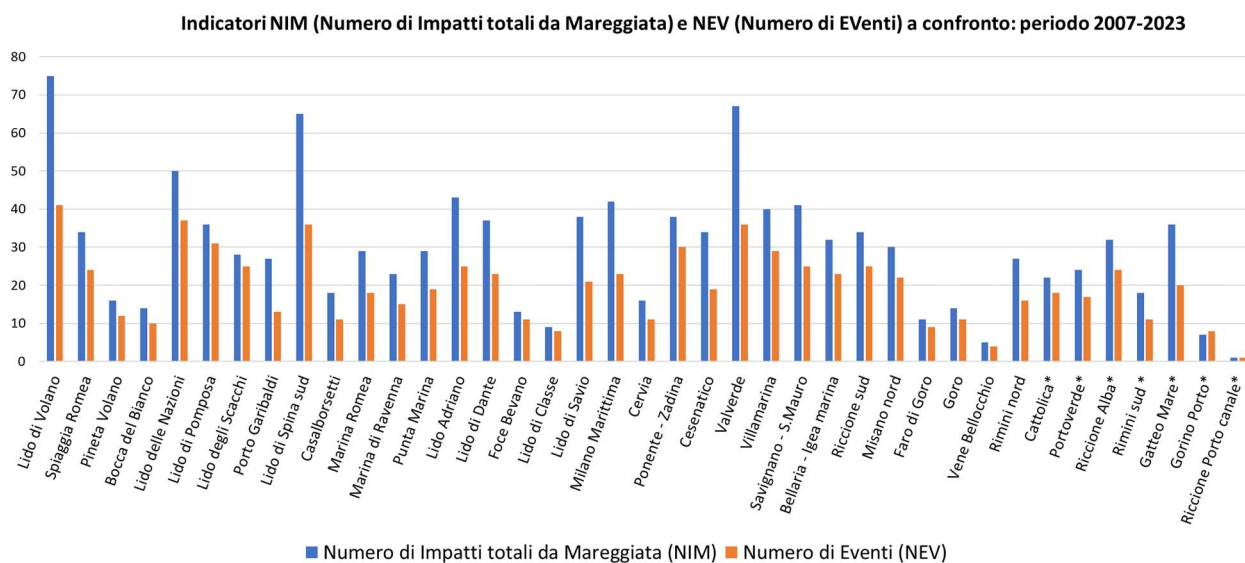


Figura 7: Confronto tra Mareggiate con impatto NEV e NIM totali - periodo 2007-2023

3.5. Le mareggiate nel periodo 2011 - 2023

Con riferimento ai dati delle mareggiate contenuti nel DB in_Storm, si osserva che il numero totale degli eventi per l'intervallo temporale 2011-2023 è di **114**.

Come si evince dal grafico di Figura 8, il mese in cui si registra la massima frequenza degli eventi è novembre (27 eventi), che rappresenta anche il mese con il maggior numero di mareggiate con impatto (11), seguono i mesi di febbraio e dicembre (16) con rispettivamente 7 e 9 eventi che hanno prodotto impatto nel periodo 2011 - 2023.

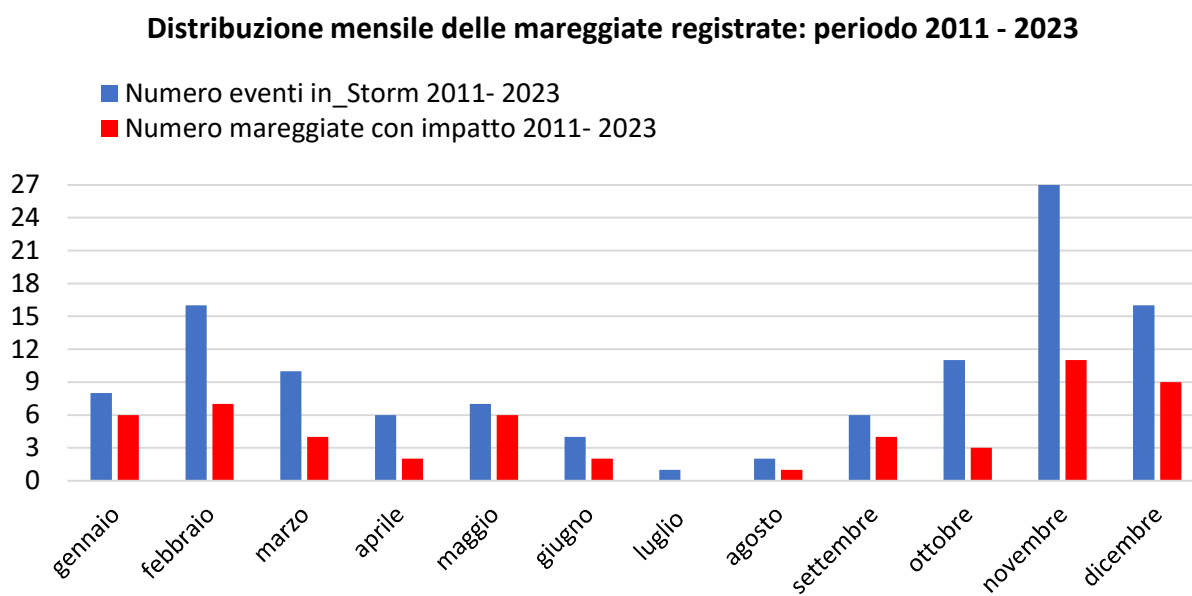


Figura 8: Distribuzione mensile delle mareggiate periodo 2011-2023

Dei **114** eventi registrati, **84** sono stati caratterizzati da superamento di almeno una delle soglie meteomarine utilizzate ai fini dell'allertamento e **13** sono stati eventi sottosoglia ma con impatto. Per quanto attiene al Numero di Mareggiate con Impatto (**NEv**), da gennaio 2011, fino a dicembre 2023, sono stati conteggiati **55** eventi.

L'entità degli eventi però è molto differenziata: sono infatti limitati quelli che interessano tutta la costa regionale e/o che hanno generato più tipologie di impatto. Inoltre, è stata verificata la ricorrenza di mareggiate in alcune località, quali Lido di Volano e Lido di Spina nel ferrarese e Valverde in Romagna (Figura 9), con un numero di impatti fino ad un ordine di grandezza superiore ad altre. Va ricordato ancora una volta che i dati relativi agli impatti divengono via via più affidabili a mano a mano che si affina il modello di catalogazione, in particolare dal 2010, quando sono state definite le categorie di classificazione degli impatti.

Indicatore NIM (Numero di Impatti totali da Mareggiata) periodo 2011-2023

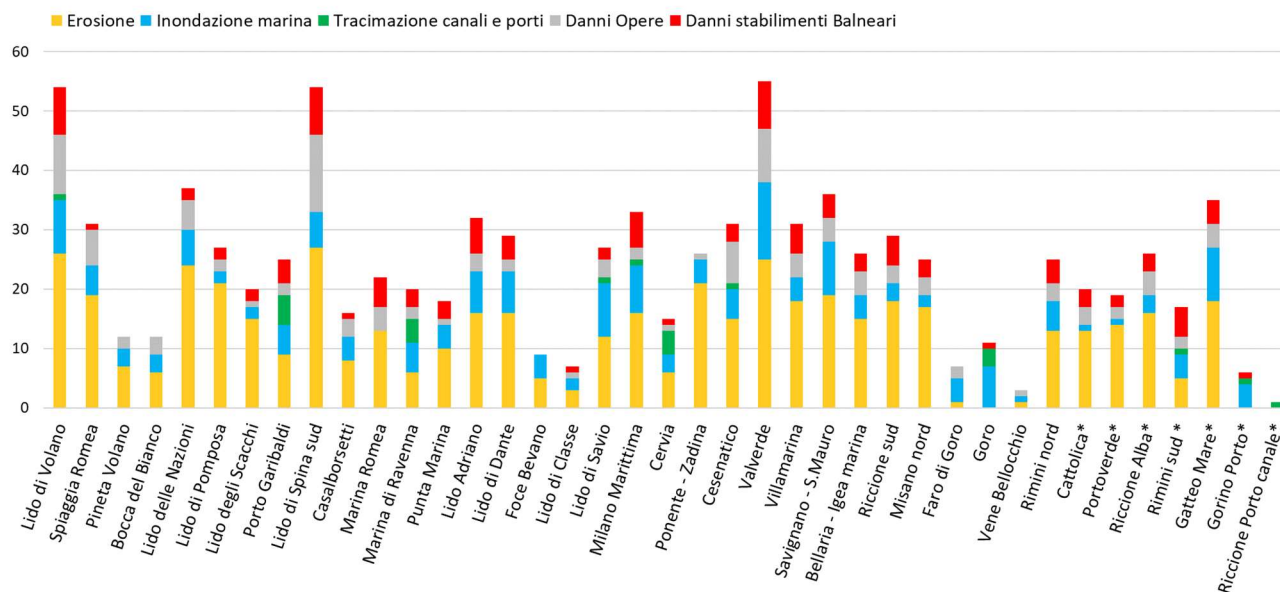


Figura 9: Distribuzione dell'indicatore NIM e tipologie di impatto per località - periodo 2011-2023.

Come evidente dal grafico di Figura 10 il fenomeno erosivo continua ad essere nettamente più diffuso (494 segnalazioni), seguito dai seguenti fenomeni:

- inondazione di stabilimenti e/o retrospiaggia (177 segnalazioni)
- danni alle opere di difesa, che includono anche i danni alle opere temporanee, tipo dune invernali (122 segnalazioni)
- danni agli stabilimenti balneari (113 segnalazioni)
- tracimazione di canali e porto-canali (23 segnalazioni).

Tipologie di impatto 2011 - 2023

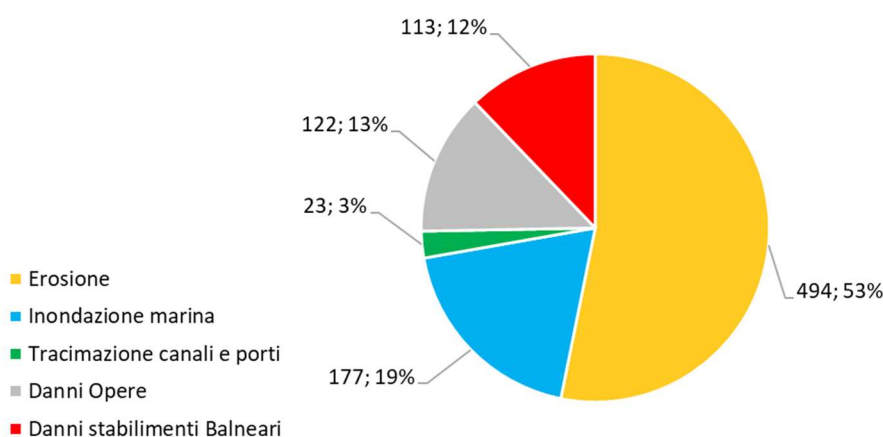


Figura 10: Frequenza e percentuale classi di impatto - periodo 2011-2023.

Per quel che riguarda gli aspetti climatologici degli eventi con impatto, nel BD in_Storm vengono registrate le direzioni di vento e onda che caratterizzano i vari eventi. Si tratta, tuttavia, di dati non sempre facili da sintetizzare poiché la maggior parte degli eventi è pluridirezionale durante il suo

corso. Inoltre, spesso accade che i dati di direzione dell'onda registrati alla Boa Nausicaa differiscano anche sensibilmente dalla direzione del vento, questo a causa della rifrazione delle onde alla posizione/profondità di ancoraggio della boa (comunicazione Arpae). L'analisi della direzione degli eventi necessita pertanto di ulteriori approfondimenti e dovrebbe essere definito un criterio univoco per attribuire il campo.

Come si evince dal grafico di Figura 11, il numero maggiore degli eventi che hanno prodotto impatto sulla costa sono principalmente da mareggiate del I quadrante in assenza e/o associate a fenomeni di acqua alta.

Va sottolineato, tuttavia, che le mareggiate del I quadrante non risultano essere in assoluto le mareggiate più numerose, ma quelle che determinano il numero maggiore di danni. Non si osservano nemmeno tendenze evolutive in tal senso, come risulta dal lavoro di Valentini (Arpae 2016).

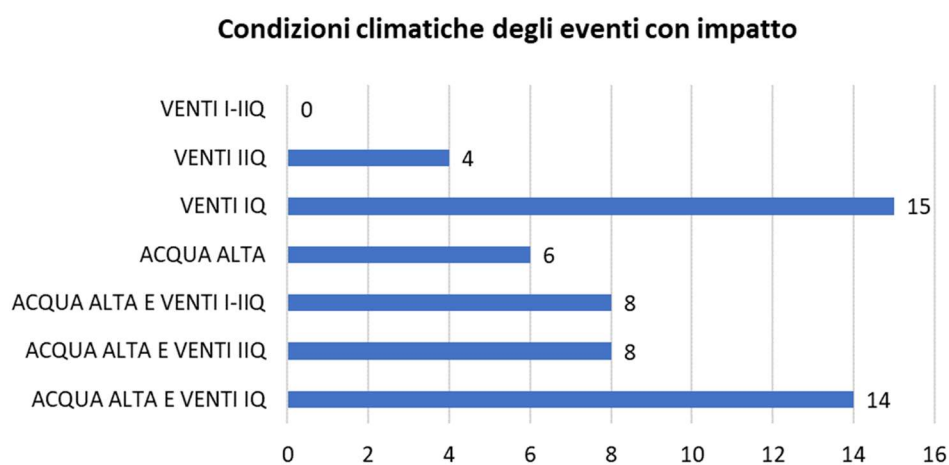


Figura 11: Caratteristiche delle mareggiate con impatto 2011-2020.

Nel grafico di Figura 12, infine, sono riportati i massimi valori di livello del mare registrati nel periodo. Il valore massimo di marea registrato nel 2023 è stato quello verificatosi il 23 gennaio, pari a 1.28 metri, misurati alla stazione di Porto Corsini. Va specificato che la stazione di Porto Garibaldi in quel periodo risultava fuori servizio.



Figura 12: Massimo livello del mare periodo 2011-2023

L'anno che ha avuto il maggior numero di eventi caratterizzati da 1 o più superamenti della soglia di marea 0.8 m è stato il 2013, con 9 eventi.

3.6. Le mareggiate nel periodo 1946 - 2023

Sono state aggiornate al 2023 le principali informazioni del catalogo *Le Mareggiate e gli Impatti sulla Costa in Emilia-Romagna, 1946 – 2010*”.

In Figura 13 sono riportate le località della costa regionale in cui risultano ricorrenti gli eventi di mareggiata e i due principali indicatori NIM (Numero impatti da mareggiata) e NEv (Numero degli eventi che hanno prodotto impatto).

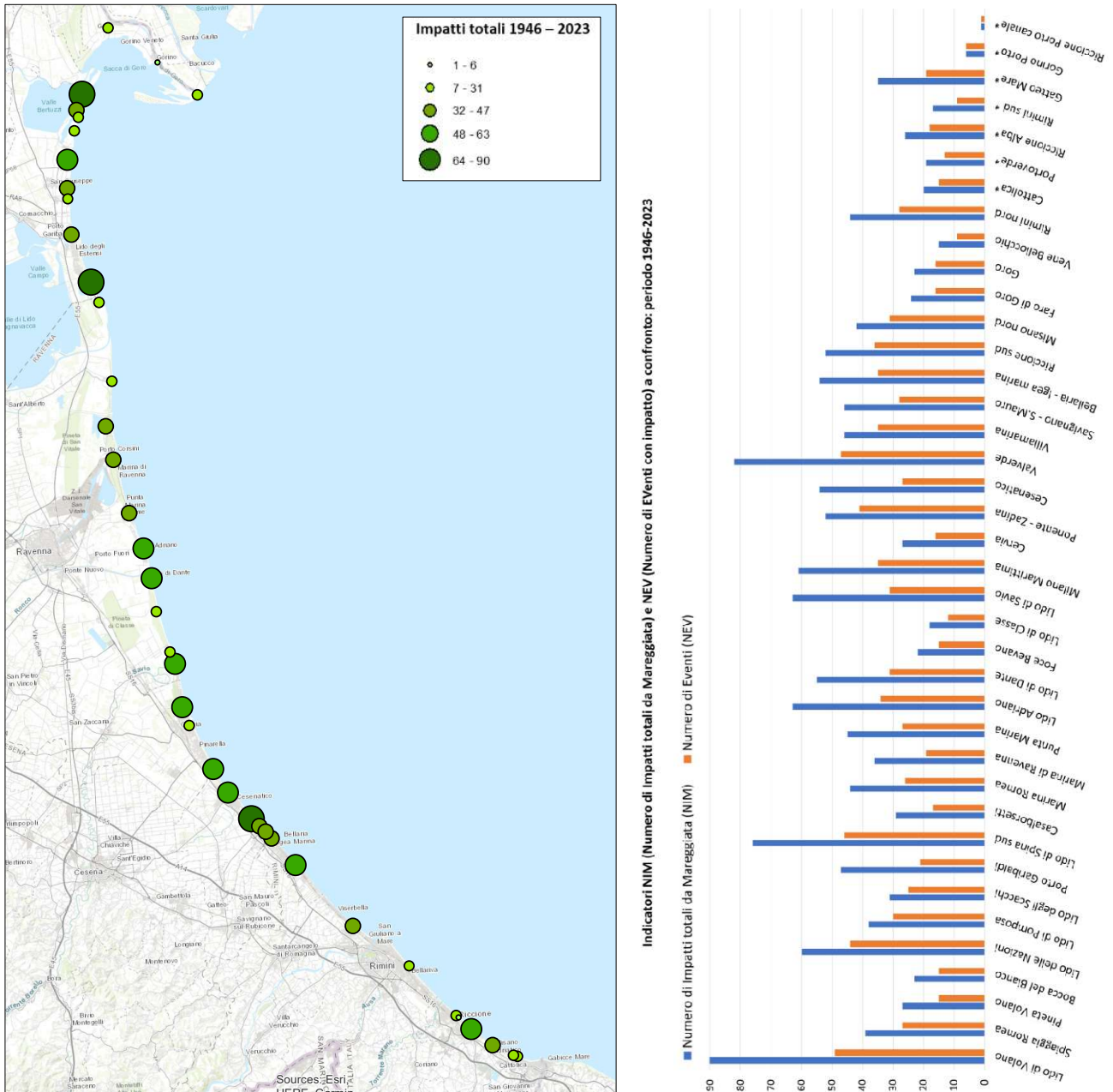


Figura 13: Distribuzione e numero impatti da mareggiata 1946-2023.

Le località più critiche risultano: Lido di Volano (NIM 90 e NEv 49), Lido di Spina sud (NIM 76 e NEv 46), Valverde (NIM 82 e NEv 47), Lido delle Nazioni (NIM 60 e NEv 44), e Ponente – Zadina (NIM 52 e NEv 41) che registrano tutte oltre 40 eventi con impatto.

Se si osserva la distribuzione e la frequenza delle diverse tipologie di impatto per località, Figura 14 e Figura 15, si può notare che, anche sul lungo periodo, dominano le segnalazioni per il fenomeno erosivo (813 segnalazioni), a cui segue il fenomeno dell'inondazione (315 segnalazioni), i danni agli

stabilimenti balneari (191 segnalazioni), danni alle opere di difesa (179 segnalazioni) e infine la tracimazione di canali e aree a pertinenza portuale (54 segnalazioni).

Indicatore NIM (Numero di Impatti totali da Mareggiata) periodo 1946-2023

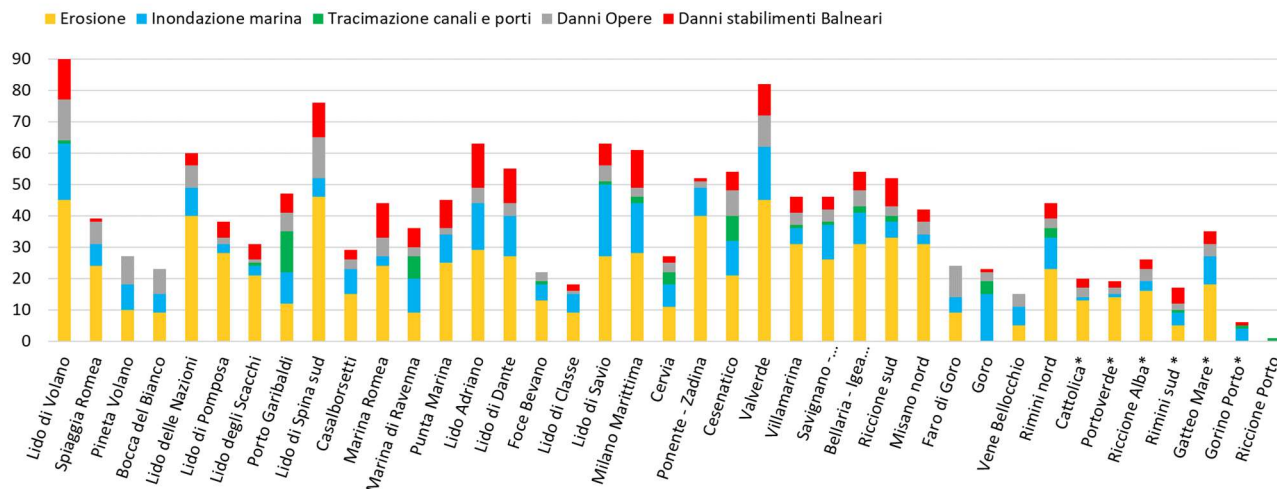


Figura 14: Distribuzione dell'indicatore NIM e tipologia di impatto per località - periodo 1946-2023.

Tipologie di impatto 1946-2023

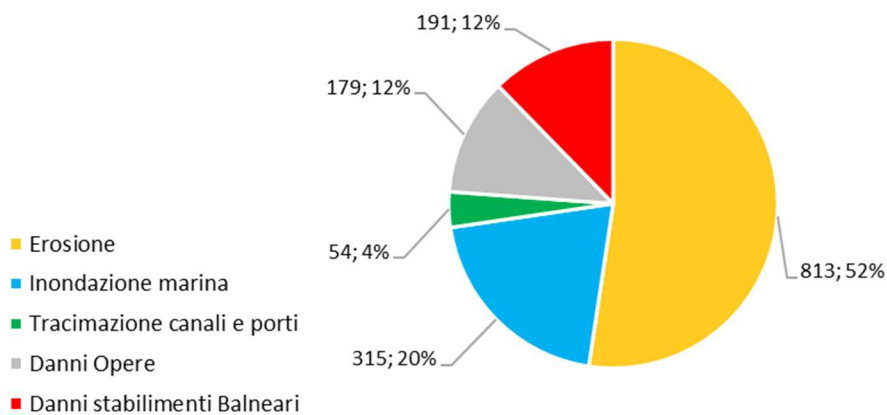


Figura 15: Frequenza e percentuale classi di impatto - periodo 1946-2023

4. Conclusioni

Il presente rapporto tecnico contiene l'annuale aggiornamento delle analisi relative alle mareggiate che generano impatto lungo le coste dell'Emilia-Romagna.

Il 2023 non è stato un anno molto critico per il rischio da mareggiata; infatti, sono stati registrati solo 2 eventi con impatto e nessuno è stato particolarmente serio per le persone e per le infrastrutture presenti lungo la costa. Il principale, quello occorso a gennaio, ha coinvolto tutto il settore emiliano-romagnolo, seppur con danni limitati, costituiti essenzialmente da erosione dell'arenile e della duna invernale e localizzati allagamenti e danni agli stabilimenti balneari.

Il valore massimo del livello del mare è stato di 1.28 m che, come descritto nel paragrafo 2.2, è stato misurato a Porto Corsini il 23 gennaio 2023 alle ore 11:00, in concomitanza ad una mareggiata caratterizzata da $H_s = 3.79$ m. Quel giorno il mareografo di Porto Garibaldi risultava fuori servizio. Tale valore di altezza d'onda potrebbe produrre un set - up tra i 20 ed i 25 cm, calcolato in base agli scenari prodotti nell'ambito del progetto Cenas 1997 (*Decouttere C. et al; 1997*).

Con riferimento ai parametri finora utilizzati nell'ambito della direttiva alluvioni (D.lgs. 49/2010) è stato quindi stimato che la sopraelevazione totale della superficie del mare sotto costa, determinata dalla combinazione di altezza dell'onda e di marea (astronomica+ componente meteorologica), si attestava su valori compresi tra i 150 e i 160 cm, corrispondente a valori associati ad un tempo di ritorno di circa 10 anni. Gli effetti sul territorio sono stati anche inferiori rispetto a quelli attesi per tale scenario, grazie alla presenza delle opere di difesa temporanea ai varchi e delle 'dune invernali'.

Va sottolineato che, a partire dal 2011, si osserva una crescita degli episodi di *storm surge* (acqua alta). Come si evince dal grafico di Figura 16, ad eccezione del 2013 che ha registrato ben 9 eventi con superamento della soglia L.M.>0.8 m, dal 2019 sono avvenuti sempre oltre 5 eventi per anno. Ciò a cui si deve porre attenzione, inoltre, è la durata di ciascun evento, che in molti casi si protrae per giorni.

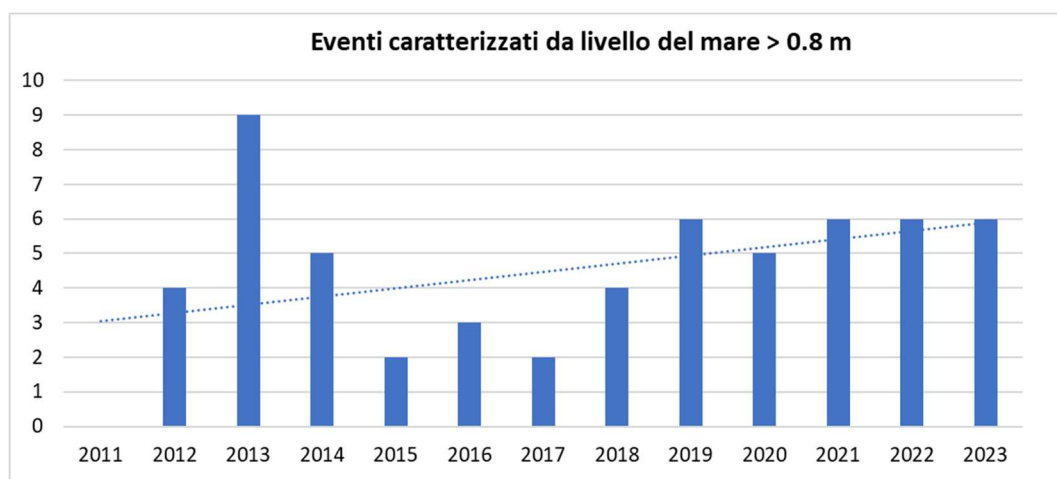


Figura 16: Grafico eventi di mareggiata caratterizzati da superamento di soglia l.m.

Il prolungarsi dei fenomeni di acqua alta per alcune giornate, anche dopo che l'episodio di mareggiata si è concluso, è un fattore determinante per l'acuirsi degli impatti. L'abbassamento del livello di spiaggia post-mareggiata favorisce, infatti, l'ingressione del mare anche in assenza di onda, soprattutto se nel sistema di difesa si sono generati varchi, difficili da ripristinare con il perdurare delle condizioni di sopraelevazione della superficie del mare.

L'aggiornamento delle statistiche dei dati nei diversi intervalli temporali di medio periodo: 2011 - 2023 (periodo di attivazione della banca dati in_storm) e 2007 - 2023 (periodo di riferimento del monitoraggio meteomarinò con boa ondometrica Nausicaa), nonché quelli di lungo periodo 1946-

2023, hanno evidenziato un crescente numero di eventi di mareggiata con impatto lungo le coste regionali, rispetto al periodo storico.

Come ricordato più volte, ciò è in parte da attribuire ad una maggior disponibilità di informazioni e dalla migliore accuratezza delle stesse a partire dagli anni '90, mentre non è evidente una tendenza di crescita dei fenomeni meteomarinari.

Tuttavia, va sottolineato ancora una volta l'aumento della vulnerabilità del territorio, soprattutto nel settore dell'alto ferrarese, dove, anche mareggiate non particolarmente intense, stanno provocando sempre più frequentemente danni alle infrastrutture turistiche e alle aree naturali ivi presenti. Queste problematiche sono da attribuire alle condizioni molto critiche dei litorali e delle dune costiere, gravemente sottoalimentati da parte dei fiumi, ma anche all'eccessivo sfruttamento antropico di queste zone.

Dal punto di vista delle località colpite, si conferma quanto descritto nei rapporti precedenti, ovvero il deciso aumento degli impatti a Lido di Spina Sud e nel tratto tra Lido di Pomposa e Lido di Volano. In questi settori le geomorfologie costiere stanno fortemente regredendo a causa del succitato deficit sedimentario a cui è sottoposto l'intero settore costiero, particolarmente dai primi anni 2000, quando è venuta a mancare la fonte di alimentazione costituita dallo spit sviluppato alla foce del Fiume Reno. Restano comunque da attenzionare le località della fascia centrale della regione, nel ravennate e nella provincia di Forlì - Cesena, che riportano forti criticità in occasione degli eventi più importanti e particolarmente di quelli con l.m. > 1 metro.

Anche le più recenti analisi confermano che le mareggiate con impatto sono spesso caratterizzate dal fenomeno dell'acqua alta, come già emerso nel volume [Le Mareggiate e gli impatti sulla costa in Emilia-Romagna](#), 1946 - 2010 (a cura di Perini et al 2011) e come sottolineato nel rapporto *'Mareggiate e impatti sulla costa - aggiornamento dei dati al 2020, degli indicatori e analisi delle tendenze'*

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/mareggiate-analisi-dati>

5. Riferimenti bibliografici utili

- Armaroli, C., Ciavola, P., Perini, L., Calabrese, L., Lorito, S., Valentini, A., & Masina, M., 2012. Critical storm thresholds for significant morphological changes and damage along the Emilia-Romagna coastline, Italy. *Geomorphology* 143-144, 34-51. doi: 10.1016/j.geomorph.2011.09.006
- 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). (1.83 MB) *Journal of Coastal Research*, SI 50, pp. 540-544
- Decouttere C., De Baker K, Monbaliu J. & Berlamont J. 1997. Storm wave simulation in the Adriatic Sea. In CENAS, Kluwer Academic (ed.), Dordrecht, The Netherlands: pp. 189-210.
- Perini, L., Calabrese, L., Deserti, L. M., Valentini, A., Ciavola, P., & Armaroli, C., 2011. *Le Mareggiate E Gli Impatti Sulla Costa in Emilia-Romagna, 1946–2010*. Bologna: I Quaderni di ARPA – Regione Emilia-Romagna.
- Perini L., Calabrese L, Lorito S., Luciani P. (2015). Il Rischio da mareggiata in Emilia-Romagna: l'evento del 5-6 Febbraio 2015. *Il Geologo* Volume n. 53 p. 8-17.
- Perini L., Calabrese L, e Luciani P. (2019). Altimetria e pericolosità all'inondazione marina. *Ecoscienza* numero 5 anno 2019
- Valentini A. 2016, Review of Climate change impacts on sea storm occurrence. Report progetto Life Primes. Azione A1.
- Idroser S.p.A. (1996) - Progetto di piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della regione Emilia-Romagna. Relazione Generale. Regione Emilia-Romagna, Bologna, pp. 16-43.
- Masina, M. and Ciavola, P. (2011) Analisi dei livelli marini estremi e delle acque alte lungo il litorale ravennate, *Studi Costieri*, 18, 87–101.
- Perini L. & Calabrese L. (2010) – Le dune costiere dell'Emilia-Romagna: strumenti di analisi, cartografia ed evoluzione. *Studi Costieri*, 17, 71-84.
- Perini, L. e Calabrese, L. (a cura di) (2010) - Il sistema mare-costa dell'Emilia-Romagna; Bologna: Pendragon. Monografie ISBN 978-888342847
- Perini, L., Calabrese, L., Deserti, L. M., Valentini, A., Ciavola, P., & Armaroli, C., 2011. *Le Mareggiate E Gli Impatti Sulla Costa in Emilia-Romagna, 1946–2010*. Bologna: I Quaderni di ARPA – Regione Emilia-Romagna.
- Raicich, F., Orlić, M., Vilibić, I. and Malačić, V. (1999). A case study of the Adriatic seiches (December 1997). *Il Nuovo Cimento*, Vol. 22 C, N. 5, 715-726.
- Vilibić, I. (2000). A climatological study of the uninodal free oscillation in the Adriatic Sea.
- *Acta Adriatica*, 41(2), 89-102.