



## MAREGGIATE E IMPATTI SULLA COSTA

Aggiornamento dei dati al 2020, degli indicatori e analisi delle tendenze

Obiettivo di Direzione 3: Contributo al Piano sui cambiamenti climatici. Settore geologico e dei suoli; Macroattività 3.4 SGSS – RER- resp. Luisa Perini; collaborano: Lorenzo Calabrese e Paolo Luciani

Dicembre 2020

## Sommario

1. Premessa .....	2
2. La banca dati degli impatti da mareggiata in_Storm .....	2
3. Caratteristiche morfologiche della costa Emiliano-Romagnola .....	4
4. Le mareggiate in alto Adriatico e i fenomeni che generano impatto.....	6
4.1. Caratteristiche generali del clima meteomarinario.....	6
4.2. Le mareggiate con impatto.....	8
5. Le mareggiate 2020.....	10
5.1. Gli impatti .....	10
5.2. Caratteristiche degli eventi .....	12
5.3. Il sistema di allertamento .....	13
6. Analisi dei dati in periodi particolari e aggiornamento del catalogo .....	14
6.1. Mareggiate con impatto nel periodo 2007- 2020 .....	15
6.2. Mareggiate periodo 2011-2020.....	16
6.3. Risposta del sistema di allertamento 2012-2020.....	20
6.4. Le mareggiate dal 1946 al 2020 .....	21
7. Analisi dei possibili trend .....	25
8. Sintesi e Conclusioni .....	30
9. Riferimenti bibliografici.....	31

## 1. Premessa

Il presente rapporto tecnico ha lo scopo di aggiornare il quadro di conoscenze sulle mareggiate con impatto, elaborato nell'ambito della pubblicazione *'Le Mareggiate e gli Impatti sulla Costa in Emilia-Romagna, 1946-2010'* (Perini et al 2011). A partire dal 2011 il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (SGSS) 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 il SGSS è impegnato, ovvero:

- Il supporto al Centro Funzionale regionale, con particolare riferimento all'allertamento costiero; in\_*Storm* consente, infatti, di effettuare l'analisi delle allerte emesse, contribuendo così a migliorare l'affidabilità del sistema.
- L'analisi dell'evoluzione nel tempo degli impatti da mareggiata e il 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 dei nuovi piani in corso di elaborazione: il 'Piano dello Spazio Marino (MSP) – bacino Adriatico' e il Piano di Gestione Integrato per la Difesa e l'Adattamento della Costa (GIDAC)– RER.

Nel documento viene fornito il quadro degli eventi che hanno caratterizzato il 2020, aggiornando le informazioni contenute nei rapporti 'Mareggiate analisi dati 2011-2016' ;2017-2018, e 2019, disponibili on line nel sito del servizio (<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/mareggiate-analisi-dati>) relativamente a

- mareggiate che hanno prodotto impatto sulla costa e delle località colpite;
- le allerte emesse;
- l'analisi della risposta del 'Sistema di Allertamento Costiero.

**Gli altri capitoli affrontano altri temi quali:**

- le caratteristiche fisiche della costa emiliano-romagnola e le motivazioni della sua fragilità rispetto ai fenomeni di mareggiata;
- le conoscenze pregresse e più recenti sulle mareggiate che producono impatto sulle coste regionali;
- l'aggiornamento sulle casistiche e le statistiche degli eventi, con riferimento al succitato volume *'Mareggiate con impatto 1946-2010'*.

## 2. La banca dati degli impatti da mareggiata in\_*Storm*

Il lavoro di raccolta e analisi degli impatti prodotti dalle mareggiate lungo le coste dell'Emilia-Romagna ha la sua origine nel progetto europeo Micore (2008-2011), capitanato dall'Università di Ferrara e al quale hanno partecipato sia il SGSS che Arpae-SIMC, che ha portato alla elaborazione del volume [Le Mareggiate e gli impatti sulla costa in Emilia-Romagna, 1946-2010](#). I quaderni di Arpa, pp. 141. Arpa Emilia-Romagna, Bologna, ISBN 88-87854-27-5, a cura di Perini L., Calabrese L., Deserti M., Valentini A., Ciavola P., Armaroli C. (a cura di) (2011).

A partire dal 2011 i dati sulle mareggiate sono archiviati nel database denominato in\_Storm, parte del Sistema Informativo del Mare e della Costa-RER, che è stato sviluppato allo scopo di: organizzare, consultare e analizzare le informazioni sulle mareggiate, garantire l'aggiornamento del catalogo delle mareggiate storiche; avere un controllo sullo stato del litorale indispensabile per i collaboratori SGSS che valutano quotidianamente le criticità costiere nell'ambito del Centro funzionale regionale.

Una descrizione della banca dati e dell'interfaccia web, è consultabile alla pagina

[http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/in\\_storm-il-sistema-informativo-per-la-gestione-delle-mareggiate](http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/in_storm-il-sistema-informativo-per-la-gestione-delle-mareggiate)

È importante sottolineare che le informazioni recenti, a partire dagli anni '90, sono molto più accurate di quelle storiche, soprattutto perché sono divenuti via via più numerosi i report tecnici, di gran lunga più affidabili rispetto alle segnalazioni ricavate da altre fonti, per esempio dalla cronaca. *Attualmente in\_Storm è in una fase di revisione dal punto di vista informatico, tuttavia i dati continuano ad essere raccolti e gestiti nei server del SGSS.*

**Le informazioni** sono ascrivibili alle seguenti tipologie di evento:

1. **mareggiate oggetto di allertamento per evento costiero e/o per stato del mare e che hanno prodotto superamento di soglia costiera**, anche qualora non abbiano prodotto impatto significativo sul territorio. Si ricorda che l'"evento costiero" è stato introdotto solo dopo il 2012, quando si è avviata la sperimentazione delle procedure di allertamento per mareggiata'. In questo caso l'acquisizione delle informazioni si attiva immediatamente, a partire dalla previsione;
2. **mareggiate che NON sono state oggetto di allertamento per evento costiero e/o per stato del mare ma hanno determinato il superamento delle soglie**, anche senza aver prodotto impatto. In questo caso le informazioni sono raccolte a posteriori e sono finalizzate a comprendere meglio i fenomeni di mareggiata e di affinare il sistema di allertamento;
3. **mareggiate che hanno prodotto impatto sul territorio**, anche se sotto-soglia e NON previste. In questo caso la raccolta delle informazioni si attiva una volta che sono giunte le prime segnalazioni, quindi a evento iniziato.

**Le Informazioni** archiviate in in\_Storm, riguardano le seguenti tematiche e sono organizzate in altrettante sezioni:

- **Previsioni:** dove sono raccolti gli avvisi meteo e le allerte di protezione Civile.
- **Rilevazioni: contengono i dati meteomarini – resi disponibili da Arpa-Simc e da altri enti (ISPRA-Hera).**
- **STB:** è la sezione dove si archiviano i report elaborati dai Servizi di Area della APC (ex STB costa).
- **Mareggiata:** la sezione raccoglie tutte le informazioni sugli impatti e le rilevazioni effettuate dal SGSS.
- **Analisi:** è una sezione che permette di effettuare analisi quali-quantitative sui dati.
- **Report:** per l'elaborazione di report annuali o pluriennali.

Con particolare riferimento ai dati meteomarini, si sottolinea che:

- I dati di onda sono divenuti affidabili e continuativi solo a partire dal 2007, anno in cui è stata installata la boa ondometrica 'Nausica' posta ad una distanza di circa 8 km dalla costa di fronte a Cesenatico, dove la profondità del fondale è di circa 10 m. Purtroppo, saltuariamente la boa necessita di manutenzione straordinaria che comporta l'interruzione nelle serie dei dati, a volte in corrispondenza di eventi di mareggiata.
- i dati mareografici, invece, sono acquisiti presso le seguenti stazioni:
  - il mareografo di Porto Corsini: è stato installato per la prima volta nel 1934 anche se i dati non aggregati (cioè i dati orari e giornalieri) sono disponibili solo dal 1975. A partire dal 1999 il mareografo è entrato a far parte delle reti osservative di ISPRA. La serie storica dei dati non è continua nel tempo e anche recentemente tra settembre 2015 e febbraio 2019, ha subito interruzioni;

- la stazione mareografica di Porto Corsini: istituita dalla Provincia di Ferrara in collaborazione l'Università di Ferrara nel 2009, è entrata a far parte della rete osservativa di ARPAe dal 2017;
- Il mareografo di Rimini: di proprietà di Hera che ha fornito l'accesso al portale.

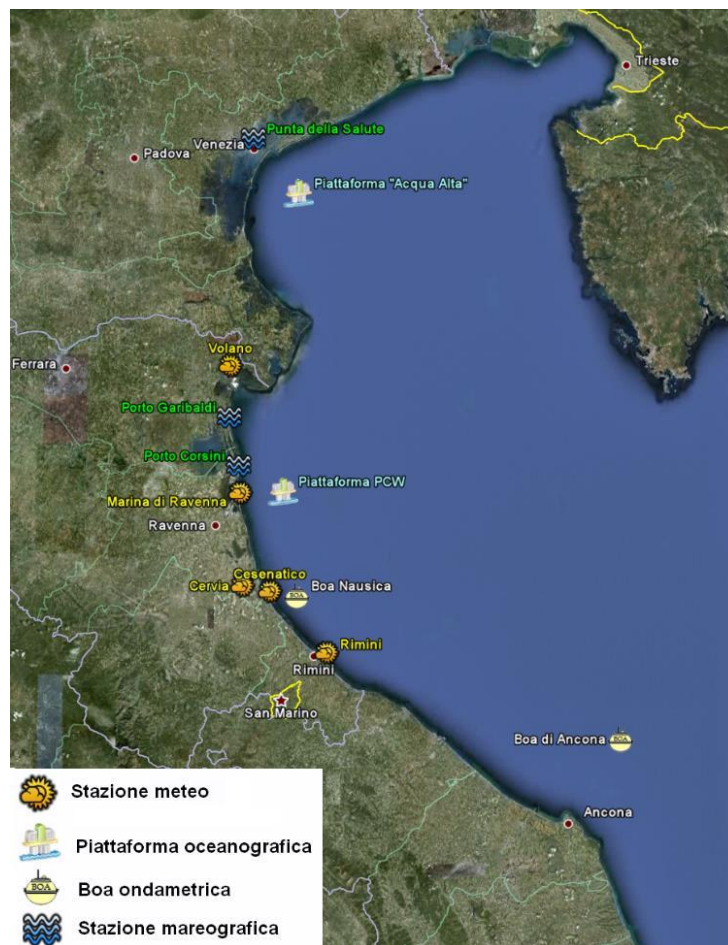


Fig. 1: distribuzione dei sensori per l'osservazione dello stato del mare in Emilia-Romagna.

### 3. Caratteristiche morfologiche della costa Emiliano-Romagnola

La fascia costiera dell'Emilia-Romagna rappresenta un territorio strategico per l'economia regionale, oltre che per gli aspetti storici e naturalistici, per questo, è soggetto ad una forte attenzione, a numerose attività di monitoraggio, di intervento e manutenzione. Qui si sviluppa una delle industrie turistiche più importanti in Europa e sono presenti altri settori produttivi importanti quali la pesca e l'acquacoltura, la portualità, quello energetico, tutti in costante e precario equilibrio con la conservazione dell'ambiente e degli ecosistemi.

La costa ha una lunghezza di circa oltre 130 km ed è per lo più costituita da spiagge a media/bassa pendenza. In alcuni tratti il litorale è stato completamente eroso e sono state erette opere di difesa radenti per contrastare l'ingressione marina nei territori retrostanti. Dal punto di vista del sistema di allertamento, ciò che è fondamentale osservare sono i seguenti aspetti:

- L'assetto morfologico della fascia costiera nel settore Ravennate e Ferrarese è caratterizzato da vaste aree con quota sotto il livello del mare immediatamente retrostanti il sistema spiaggia, nel quale la duna è spesso assente o frammentata.

- Nelle province di Forlì Cesena e Ravenna il ‘dosso costiero’ cioè il rilevato naturale e/o artificiale con quota superiore ai 2 metri e retrostante la battigia è, in ampi tratti, assente o con caratteristiche di quota e ampiezza scarse (vedi Perini et al. 2019 e il rapporto tecnico Indicatori di suscettibilità costiera ai fenomeni di erosione e di inondazione (2019) disponibile al link <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa>).
- L’alto ravennate e la provincia di Ferrara risultano maggiormente protetti perché in passato sono state erette estese difese costiere radenti (zona militare di Foce Reno; Lago delle Nazioni; sacca di Goro), nel retrospiaggia (Lido di Spina) o nell’entroterra (es argine Acciaiolì).
- Quasi il 40% delle spiagge regionali, libere da infrastrutture permanenti, ha un’ampiezza inferiore a 50 m (vedi rapporto indicatori) (Fig.2).
- Oltre l’80% delle spiagge ha una quota media (Qm) < 1.5 m. Questo valore coincide con il valore della sopraelevazione del mare per lo scenario di mareggiata frequente (P3= Tr 10 anni) ai sensi della Direttiva Alluvioni(d.lgs. 49/2010). Risulta quindi che per questa tipologia di evento l’ingressione marina può raggiungere quasi tutte le infrastrutture presenti sulla spiaggia (vedi rapporto indicatori).
- Il livello di antropizzazione della costa è molto elevato e, con riferimento alla fascia ampia circa 300 metri a partire dalla linea di riva, il 40% della costa tra Cattolica e Volano ha un indice di pressione antropica PA> 40%. Ciò è stato calcolato lungo transetti spazati 10 m e perpendicolari alla costa, attraverso la formula  $PA = \% \text{ Area urbanizzata (Somatoria lunghezza area antropizzate) / Lunghezza (totale transetto) } * 100$ . (vedi rapporto indicatori).
- L’erosione delle spiagge è accentuata a causa della forte riduzione del trasporto solido a partire da inizio del ‘900.

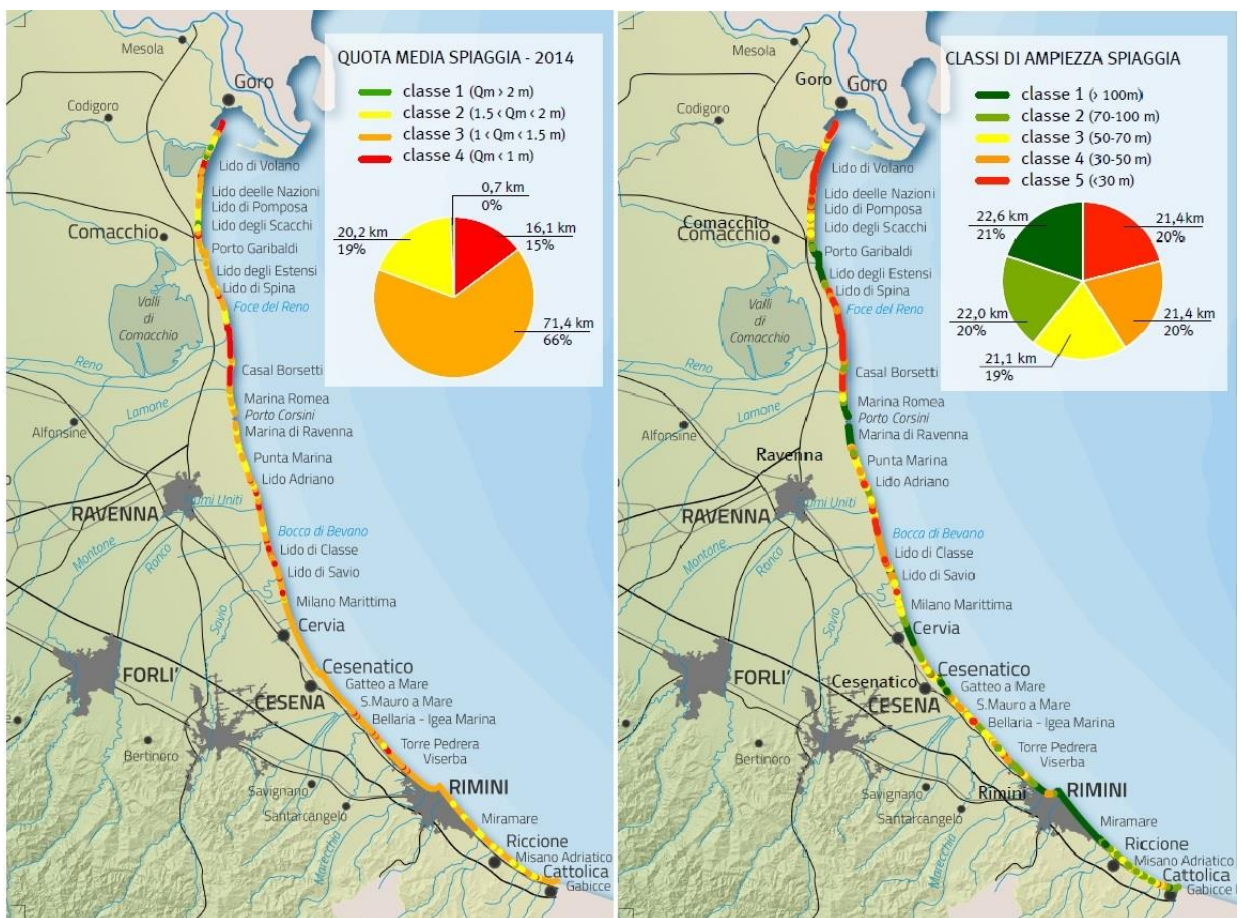


Fig.2: indicatori morfologici spiaggia al 2012-14: quota media e ampiezza spiaggia libera da infrastrutture.

## 4. Le mareggiate in alto Adriatico e i fenomeni che generano impatto

La mareggiata è un evento meteo-marino complesso, caratterizzato da moto ondoso e vento forte, responsabile della traslazione di masse d'acqua sulla costa (figura3) e della mobilitazione di grandi quantità di sedimento. Il moto ondoso è il principale responsabile dei processi di erosione costiera, mentre il sopralzo della superficie del mare (legato alla combinazione di diverse componenti mareali e del set-up da onda) è la causa principale dei fenomeni di inondazione marina.

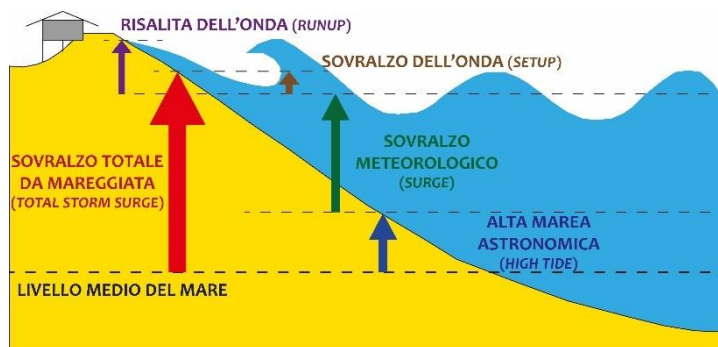


Figura 3 Schema dei principali fattori che caratterizzano le mareggiate. In prossimità della riva le onde producono un innalzamento della superficie del mare (set-up) e, frangendo, risalgono lungo la spiaggia o le opere di difesa (run-up). La mareggiata è spesso accompagnata da un'ulteriore sopraelevazione della superficie del mare (surge), nota come acqua alta, dovuta alla combinazione della marea astronomica p.p., all'azione tangenziale del vento e ai gradienti di pressione atmosferica. Questi parametri possono essere molto variabili lungo la fascia costiera e si modificano nel corso di una mareggiata.

### 4.1. Caratteristiche generali del clima meteomarinario

L'area marina antistante le coste regionali, così come tutto l'alto Adriatico, è caratterizzata da un clima d'onda di bassa energia; il 60% delle mareggiate ha un'onda significativa ( $H_s$ ) < 1 m (Idroser 1996 e Ciavola et al.2007) con direzione prevalente tra i 60°-120° (SE - venti di Scirocco), mentre le più energetiche interessano il quadrante E-NE (venti di Bora) (Idroser, 1996).

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

Tabella 1 Altezze d'onda significativa per tempi di ritorno di 1, 10 e 100 anni (da Idroser...)

Le analisi più recenti condotte da Arpa sui dati della Boa ondometrica Nausica hanno evidenziato che, nell'intervallo 2007-2019, si sono registrate **232 mareggiate** con  $H_s > 1.5$ , caratterizzate da una durata media di 18 ore e massima di 141 ore (Rapporto IdrometeoClima Arpa 2019). La direzione prevalente è orientale (ENE), con un'altezza media dell'onda di 1,82 m (vedi figura 4). L'altezza massima assoluta delle onde misurate alla boa di Cesenatico in questo decennio è stata di 4.66 m, registrato il 6 febbraio 2015.

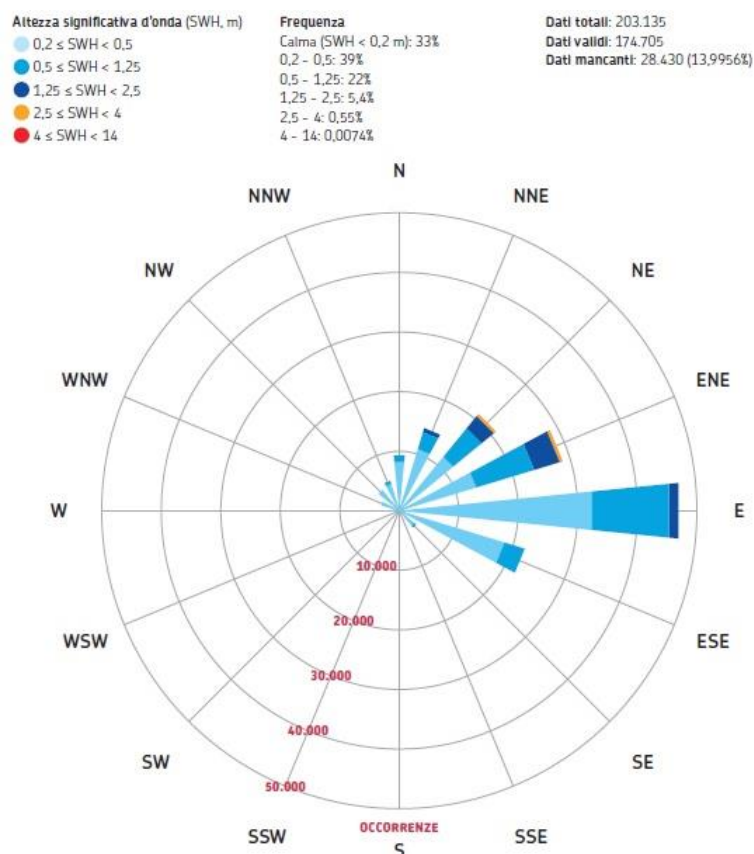


Figura 4 Onde registrate dalla boa Cesenatico nel periodo 2007-2019 (rapporto IdroMeteoClima 2019).

Per quel che riguarda le maree il regime è micro-tidale, con escursioni tra 80-90 cm in periodi di sigizie e tra 30-40 cm in periodi di quadratura. Una caratteristica dell'alto Adriatico sono i fenomeni di 'storm-surge' che determinano l'innalzamento del livello totale dell'acqua, **la cosiddetta 'acqua alta'** che colpisce fortemente Venezia e, in regione, il settore ferrarese. I fenomeni più intensi sono generati da venti di sud-est che, quando combinati a bassa pressione atmosferica, favoriscono l'impilamento dell'acqua nel nord dell'Adriatico (Masina e Ciavola, 2011) causando le inondazioni marine. Gli eventi di *storm surge* sono spesso accompagnati dalle sesse, oscillazioni libere che in un bacino semichiuso come quello adriatico possono persistere anche per diversi giorni dopo la cessazione dei fattori perturbativi che le hanno innescate. L'oscillazione fondamentale longitudinale ha un periodo di circa 21-22 ore (Raicich et al., 1999; Vilibić, 2006; Masina e Ciavola 2011), molto simile a quello dell'onda mareale. Quest'ultima componente può influenzare significativamente i fenomeni di acqua alta: accade infatti abbastanza spesso che nei giorni successivi ad uno "storm surge", grazie allo sfasamento di solo 1-2 ore tra la periodicità della marea astronomica (circa 24 ore) e la sessa (circa 22 ore), l'oscillazione possa trovarsi in fase con il massimo di marea astronomica e provocare acqua alta. Ciò sembra essersi verificato in occasione di due eventi recenti di mareggiata con impatto recenti, accaduti a novembre 2019 e della prima decade di dicembre 2020.

	T2	T10	T100
surge	0.85 m	1.05	1.28

Tabella 2. Tempi di ritorno del sopralzo della superficie del mare per la sola componente mareale, è escluso il fenomeno di set-up, cioè il sopralzo indotto dall'onda (da Masina e Ciavola 2011).



## 4.2 Le mareggiate con impatto

Il lavoro sulle mareggiate storiche (Perini et al 2011) ha permesso di analizzare in modo approfondito le caratteristiche degli eventi, la genesi e la combinazione delle diverse forzanti, ottenendo così un quadro più chiaro delle mareggiate che generano impatto sulla costa.

Tali informazioni, combinate con rilievi di campo pre e post evento, hanno permesso di stabilire le soglie di impatto per le zone naturali e per quelle antropizzate (Armaroli et al. 2012).

Tipo di spiaggia	Tipo di impatto	parametro	soglie	Criterio utilizzato per la definizione
Naturale con dune	Evoluzione morfologica (erosione e/o distruzione della duna)	Altezza d'onda ( $H_s$ )	T1 wave height = 3.3 m	DSF (Dune Stability Factor)
		Livello del mare (surge + tide)	T1 WL = 0.85 m above MSL	
Antropizzata	Inondazione e/o danneggiamento delle infrastrutture	Altezza d'onda ( $H_s$ )	$H_s = 2.00$ m	Confronto tra dati dell'evento (run-up + surge + tide) massima elevazione topografica
		Livello del mare (surge + tide)	WL = 0.7 m above MSL	

Tabella 3 soglie di impatto definite nell'ambito del progetto EU Micore (2008-2011).

Nell'ambito dello stesso progetto Micore è comunque emerso che, con acque alte superiori a 0.8 m, anche in condizioni di mare poco mosso si possono registrare allagamenti e danni significativi. Per questo motivo, ai fini di protezione civile, si è semplificata la tabella delle soglie di criticità adottando il seguente schema.

	onda	acqua alta	onda+acqua alta
$H_s$ altezza significativa dell'onda	> 3 m l.m.m		> 2 m l.m.m
Lm Livello del mare		>0,8 m l.m.m	> 0,7 m l.m.m

Tabella 4.: Soglie di impatto utilizzate per le allerte di Protezione Civile.

Altro fattore determinante è la frequenza con cui gli eventi si susseguono, infatti, quando una mareggiata si verifica a breve distanza da una precedente, essa può generare impatti anche se i parametri che la caratterizzano sono sotto ai valori soglia.

Questa osservazione evidenzia quindi l'importanza di disporre di uno strumento di registrazione degli impatti da mareggiata che consente di avere un quadro aggiornato sugli eventi e sul livello di vulnerabilità del sistema fisico (morfologie costiere e difese), adattando così le misure di protezione civile in modo adeguato.

L'analisi delle mareggiate storiche ha evidenziato che gli eventi che generano più frequentemente impatti sulla costa sono quelle associate alla combinazione di venti del primo quadrante (da N e NE) e fenomeni di acqua alta, anche se quest'ultimo fenomeno, come si è visto in precedenza, è spesso innescato da un precedente vento da scirocco. Queste combinazioni provocano, oltre all'erosione della spiaggia, fenomeni di ingressione marina con interessamento delle strutture balneari e, più

raramente, dei centri urbani. Quando l'intensità del fenomeno è rilevante l'onda marina trasferisce verso il retrospiaggia importanti volumi di sabbia (fenomeno di *overwash*), causando ulteriori gravi perdite di sedimento al litorale.

Le principali tipologie di impatto per fenomeni di mareggiata, utilizzate nella classificazione dei danni nel DB in\_Storm sono:

- Erosione della spiaggia: fenomeno diffuso lungo tutta la costa regionale; si osservano abbassamenti della superficie della spiaggia con spianamento delle morfologie, formazione di gradini e scarpate da pochi decimetri a qualche metro (figura 5), erosione della duna a diversi stadi (al piede, del fronte, totale), formazione di canali di deflusso sulla spiaggia temporaneamente allagata, escavazioni del fondale dovute a correnti di ritorno.
- Inondazione marina: allagamento della spiaggia e del retro-spiaggia (figura 5); l'inondazione trasferisce acqua salata nell'entroterra con potenziali danni ai manufatti e agli habitat. Sono associati processi di *overwash* che causano un ingente trasferimento di sabbia nelle aree inondate, comprese quelle urbane. I depositi sabbiosi che ne derivano possono procurare grandi disagi non solo alle strutture balneari presenti sulla costa, ma anche alla rete stradale, a quella fognaria e alle abitazioni civili.
- Danni alle opere di difesa costiera: sono causati principalmente dall'energia del moto ondoso. Le opere rigide possono essere scalzate alla base per escavazione del sottofondo; si sono osservati anche danneggiamenti e demolizioni parziali del nucleo delle strutture. Quando il danneggiamento interessa le opere radenti il rischio di ingressione marina è molto elevato (figura 5).
- Danni alle infrastrutture turistiche: in molti casi si verificano inondazioni e insabbiamento del manufatto, in altri lo scalzamento delle fondamenta per erosione del sottofondo sabbioso può comportare il collasso dell'intera struttura (figura 5).
- Tracimazione dei canali d'acqua: fenomeno di sormonto e tracimazione degli argini dei canali e porto-canali (*overtopping*) e di rotta. Questi processi avvengono frequentemente quando, in concomitanza della mareggiata, si ha un forte aumento del deflusso dei corsi d'acqua a causa di precipitazioni intense (evento meteorologico); l'acqua alta e il moto ondoso possono contrastare lo smaltimento delle acque continentali favorendo fenomeni di rigurgito alle foci.



Figura 5. Esempi delle diverse tipologie di impatto da mareggiata che interessano la costa emiliano-romagnola.

Ciò è avvenuto in modo eclatante durante l'evento di mareggiata del 5-6 Febbraio 2015 che, ad oggi è stata la mareggiata più impattante degli ultimi 20 anni (Perini et al 2015).



Figura 6. Caratteristiche della mareggiata del 5-6 febbraio 2015 ed esempi di impatti.

Aree allagate (per ingressione marina)	18.5 km; 31 sono i km mappati nelle carte di pericolosità 2013 elaborate ai sensi del d.lgs. 49/2010
Punti di esondazione dei canali	9 punti
Fenomeni di overwash	40 punti
Varchi puntuali	5
Varchi lineari	15 km di costa presentano tratti dove è avvenuta ingressione del mare
Canali di deflusso	19
Punti di filtrazione	13 corrispondono ad emergenza della falda causa della sopraelevazione della superficie del mare
Punti critici per erosione	33 punti
Erosione duna	10 zone
Demolizione/danneggiamento grave infrastrutture turistiche	27
Danni opere	7 punti

Tabella 5 Sintesi degli impatti relativi alla mareggiata del 5-6 Febbraio 2015.

## 5. Le mareggiate 2020

Nel corso del 2020, si sono registrati pochi eventi di mareggiata con impatto e, ancora una volta è stato il litorale ferrarese a risentire maggiormente dei fenomeni meteomarinari.

### 5.1. Gli impatti

A fronte degli **8 eventi registrati**, sette sono stati caratterizzati dal superamento di almeno di un livello di soglia di onda o marea, e in **3 occasioni si sono registrati impatti** lungo la costa. Va

anticipato che nessun evento è stato di ampie proporzioni e, in nessun caso, si sono registrati gravi danni agli stabilimenti balneari fig. 7.

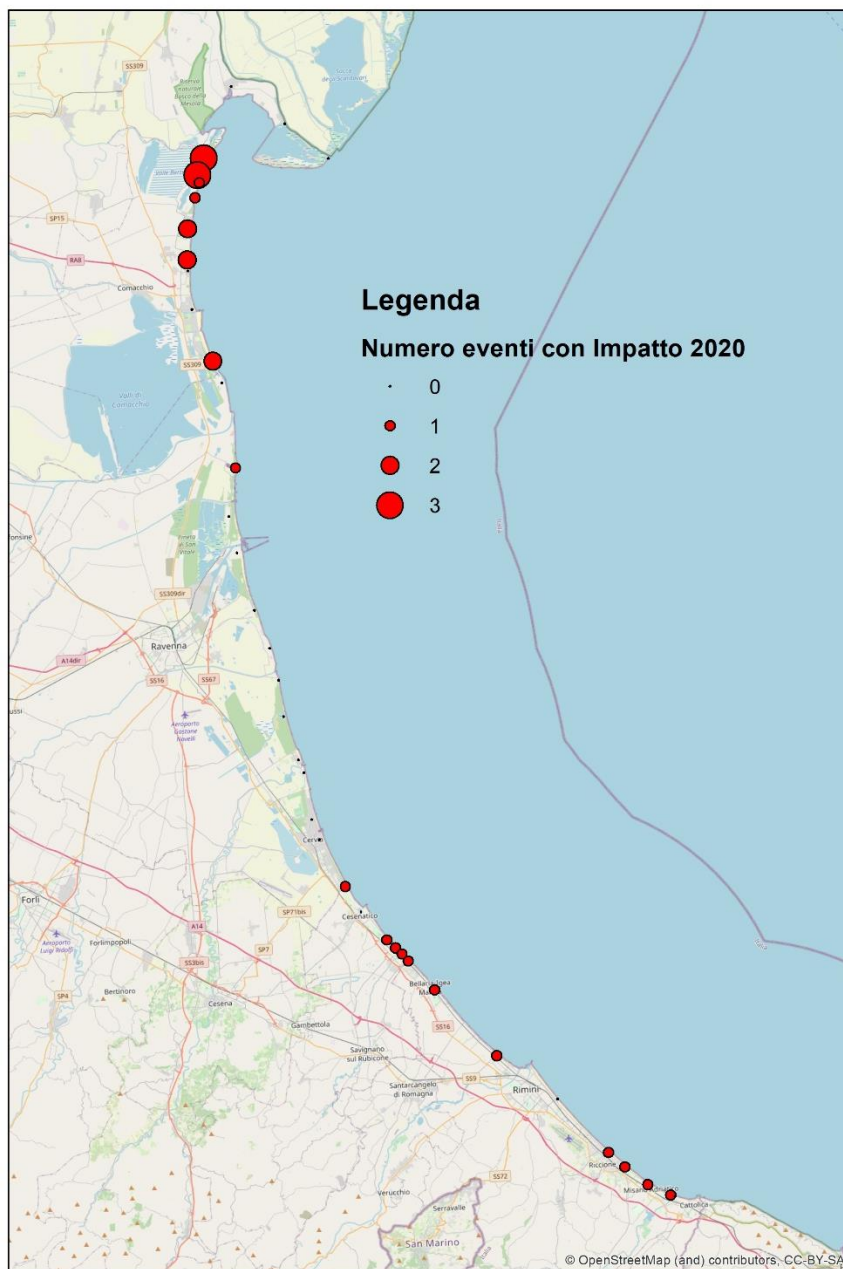


Figura 7. Distribuzione e numero degli impatti da mareggiata del 2020.

Il litorale ferrarese è stato quello maggiormente colpito, seguito dai litorali delle province di Forlì-Cesena e Rimini.

Le tipologie di impatto prevalente sono state:

- Erosione della spiaggia con conseguente abbassamento della quota media
- Erosione di ampi tratti di 'argine invernale'
- Limitati episodi di ingressione marina, solo nel ferrarese, in particolare nel settore tra Lido delle Nazioni e Lido di Volano

## 5.2. Caratteristiche degli eventi

Le mareggiate dell'anno 2020 sono concentrate soprattutto nell'autunno-inverno. Ad eccezione della mareggiata del 7 Luglio 2020, caratterizzata da venti di Bora, gli altri 7 eventi sono distribuiti nei mesi di ottobre, novembre e dicembre. Quelli con impatto solo nel mese di dicembre; in 2 casi le onde sono state generate da venti di NE e in un caso da venti di Scirocco (sud-est) anche se le onde registrate alla boa Nausica indicano una direzione da est.

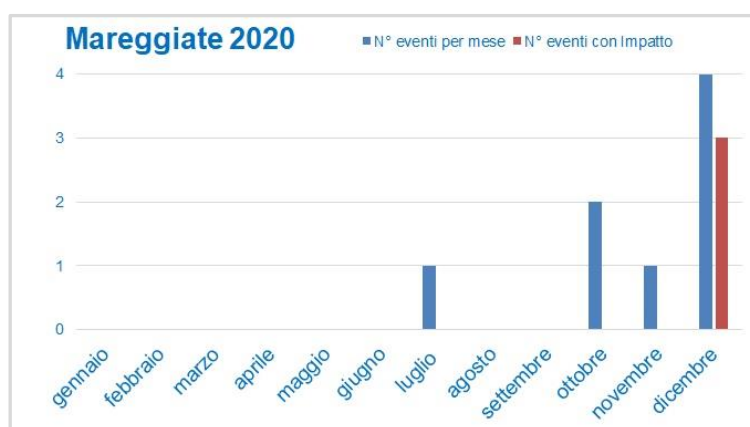


Figura 9 Distribuzione nell'anno delle mareggiate 2020.

I tre eventi che hanno prodotto impatto sono avvenuti nel mese di dicembre, molto ravvicinati tra loro. Il secondo in ordine temporale è degno di attenzione poiché si tratta di un evento cosiddetto 'multiplo'; iniziato il giorno 4 dicembre si è protratto fino al 12 dicembre ed è stato caratterizzato da 9 superamenti della soglia di 0.8 m del livello del mare (fig. 8). Alcuni cicli di marea sono stati molto lunghi con durata di 5-6 ore consecutive.



Figura 8. Variazione del livello del mare a Porto Garibaldi dal 5 al 12 Dicembre 2020. Si osservano 9 episodi di superamento della soglia di 0.8 metri

### 5.3. Il sistema di allertamento

La tabella seguente contiene la sintesi delle informazioni relative alle singole mareggiate contenute nel DB in\_Storm, con particolare riferimento a:

- previsione/allertamento dell'evento;
- superamento delle soglie (in previsione e in registrazione);
- impatti e relativa registrazione.

Num. Progr.	CODICE	Data Inizio	Data Fine	PREVISIONI					MAREGGIATE CON IMPATTI	
				Allerte		SOGLIE				
				Stato del Mare	Criticità Costiera	Altezza d'onda	Livello del mare	Combinato		
1	2020_07_I	7 luglio 2020	8 luglio 2020	GIALLO	GIALLO	Si			No	
2	2020_10_I	2 ottobre 2020	3 ottobre 2020	VERDE	GIALLO		Si		No	
		3 ottobre 2020	4 ottobre 2020	VERDE	GIALLO		Si		No	
3	2020_10_II	15 ottobre 2020	16 ottobre 2020	VERDE	GIALLO	No	Si		No	
4	2020_11_I	19 novembre 2020	21 novembre 2020	GIALLO	GIALLO	No	No		No	
5	2020_12_I	1 dicembre 2020	3 dicembre 2020	GIALLO	GIALLO		Si	Si	Si	
6 evento multiplo	2020_12_II	4 dicembre 2020	6 dicembre 2020	ARANCIONE	ARANCIONE	No	Si	Si	Si	
		6 dicembre 2020	7 dicembre 2020	VERDE	ARANCIONE		Si	Si	Si	
		<b>6 dicembre 2020</b>	<b>8 dicembre 2020</b>	GIALLO	GIALLO	No	No			Si
		8 dicembre 2020	9 dicembre 2020	VERDE	GIALLO	No	No			No
		9 dicembre 2020	10 dicembre 2020	VERDE	GIALLO	No	No			No
		10 dicembre 2020	11 dicembre 2020	VERDE	GIALLO	No	No			No
7 evento_multi	2020_12_III	26 dicembre 2020	27 dicembre 2020	ARANCIONE	GIALLO				Si	
		27 dicembre 2020	28 dicembre 2020	VERDE	GIALLO					
		28 dicembre 2020	29 dicembre 2020	GIALLO	ARANCIONE			Si	No	
8	2020_12_IV	30 dicembre 2020	31 dicembre 2020	VERDE	VERDE				No	

MAREGGIATE CON IMPATTI	RILEVAZIONI						SEGNALAZIONE DANNI	NOTE segnalate lievi erosioni	Direzione vento/onda	Impatti altre fonti
	Marea max (m)	Giorno/Mese - Ora	Mareografo	Altezza Onda	Giorno/Mese - Ora	Ondametro	SERVIZI AREA			
No	0,49	06/07 - 22:50	Porto Garibaldi	3,06	07/07 - 07:00	Nausicaa			NE-ENE (59)	
No	0,87	03/10 - 11:50	Porto Garibaldi	1,25	03/10 - 15:00	Nausicaa			E (80)	
No										
No	0,92	15/10 - 9:30	Porto Garibaldi	1,07	15/10 - 03:00	Nausicaa			E (85)	
No	0,66	21/11 - 5:30	Porto Garibaldi	3,8	21/11 - 13:52	Nausicaa			NE-ENE (80)	
Si	1,1	01/12 - 09:20	Porto Garibaldi	2,72	02/12 - 05:22	Nausicaa	impatti diffusi		N-NE (30 - poi 60)	
Si	0,88	5/12 - 2:10	Porto Garibaldi	1,91	05/12 - 21:47	Nausicaa	impatti FE		E (85-95); NB venti da scirocco	
Si	1,03	6/12 - 13:50	Porto Garibaldi	1,67	06/12 - 13:00	Nausicaa	impatti FE			
Si	1,08	8/12 - 15:20	Porto Garibaldi	1,63	08/12 - 15:50	Nausicaa	impatti FE			
Si	0,87	9/12 - 7:00	Porto Garibaldi	1,18	08/12 - 9:07	Nausicaa	impatti FE			
No	0,97	10/12 - 7:10	Porto Garibaldi	<0,5m					no vento - marea	
No	0,93	11/12 - 7:20	Porto Garibaldi	<0,5m					E con punte da NW	
No	0,87	12/12 - 7:10	Porto Garibaldi	<0,5m						
Si	0,66	26/12 - 8:10	Porto Garibaldi	2,6	26/12 - 15:00	Nausicaa	molto lievi a Volano, difficili da distinguere		NE	
	0,51	27/12 - 9:00	Porto Garibaldi	1,75	27/12 - 03:00	Nausicaa				
No	0,91	28/12 - 9:20	Porto Garibaldi	1,76	28/12 - 09:00	Nausicaa			E (93)	
No	0,81	30/12 - 11:00	Porto Garibaldi	<0,5m		Nausicaa			E (93)	
Superamento soglie	6 eventi			2						
	14 superamenti totali									
		Combinati	1	NB...anche sopra marea e onda						

Tabella 6: dati di sintesi delle mareggiate 2020; allerte emesse, superamenti soglie di attenzione e impatti.

Come si evince dalla tabella 6, in occasione di 7 degli 8 eventi, era stata emessa un'allerta per criticità costiera, in due casi di livello arancione.

<b>Eventi In_Storm (PREVISTI+OSSERVATI) 2020</b>	<b>8</b>
<b>Mareggiate con impatto</b>	<b>3</b>
<b>Sopra soglia per onda</b>	<b>2</b>
<b>Sopra soglia per marea</b>	<b>6</b>
<b>Sopra soglia combinata</b>	<b>1</b>
<b>Sopra soglia totali</b>	<b>7</b>
<b>Eventi con impatto e sotto-soglia</b>	<b>1</b>
<b>Allerte/no impatto/no sopra soglia</b>	<b>0</b>
<b>No impatto e superamento</b>	<b>5</b>

*Tabella 7: Sintesi della risposta del sistema di allerta.*

Nella tabella 7, è invece contenuta una sintesi della risposta del sistema di allertamento costiero: cinque degli eventi oggetto di allertamento non hanno generato impatto, tuttavia tutti sono stati caratterizzati da superamento di almeno una delle soglie di riferimento per onda/marea o combinato. Solo in un caso non era stata emessa, consapevolmente, l'allerta, infatti il livello di mare ha raggiunto il valore di 81 cm, quindi solo 1 centimetro sopra la soglia di attenzione e con un concomitante stato del mare calmo (onda < 0.5 m).

**Nel 2020 non si registrano quindi mancate allerte**, con eccezione del periodo 22-27 marzo per il quale sono state emesse una serie di allerte gialle per evento costiero, riconducibili ad un solo evento, che non hanno prodotto né superamento delle soglie di attenzione né impatti sul territorio. Le previsioni di altezza d'onda sono state superiori alla soglia di attenzione (valore massimo stimato 4 metri), mentre la registrazione alla boa Nausica ha raggiunto i 2.87 m. In questo caso possiamo parlare di un'allerta errata per sovrastima del modello.

## 6. Analisi dei dati in periodi particolari e aggiornamento del catalogo

Il paragrafo descrive i dati sintetici delle mareggiate con impatto e degli eventi contenuti nel DB in\_Storm, relativamente ai seguenti intervalli temporali:

- Periodo 2007-2020: corrisponde al periodo di funzionamento della boa ondometrica regionale Nausica. Per questo intervallo viene fornito un aggiornamento delle sole mareggiate con impatto.
- Periodo 2011-2020, 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 2012-2020: limitatamente ai dati delle allerte. Al 2012 risale infatti l'avvio della sperimentazione del sistema di allertamento costiero.
- Periodo 1946-2020: aggiornamento dei dati del catalogo mareggiate.

## 6.1. Mareggiate con impatto nel periodo 2007- 2020

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 2007-2011 il numero totale delle mareggiate che hanno provocato qualche forma di impatto sulla costa sono state in totale 66, distribuite prevalentemente nei mesi di dicembre, novembre, maggio, febbraio e marzo.

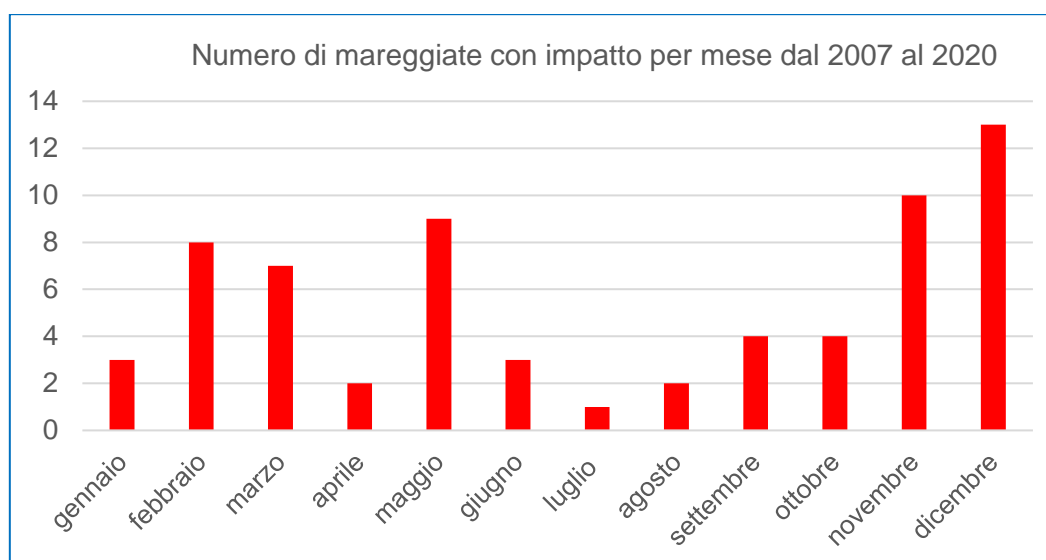


Figura 10 Distribuzione mensile delle mareggiate con impatto - periodo 2007-2020.

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 2007-2020. 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

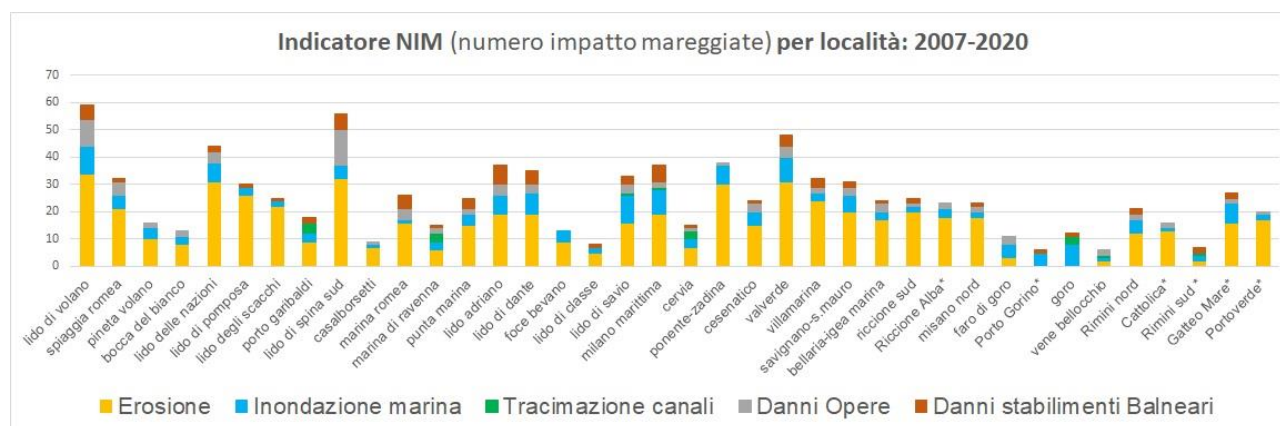


Figura 11 Distribuzione dell'indicatore NIM per località - periodo 2007-2020.



Come si evince dal grafico di figura 11, le località che hanno registrato il maggior numero di impatti nel periodo 2007-2020 sono nell'ordine: Lido di Volano (con 59 segnalazioni), Lido di Spina sud (56) e Valverde (48). In tutte le località prevale il fenomeno erosivo, che, come si osserva in figura 12, rappresenta il 62% degli impatti totali. Il fenomeno dell'inondazione marina, anche se rappresenta solo il 18% delle tipologie di impatto è comunque un processo molto impattante sui beni esposti. Seguono gli impatti alle opere di difesa e alle infrastrutture balneari, rispettivamente con il 10 e l'8% 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.

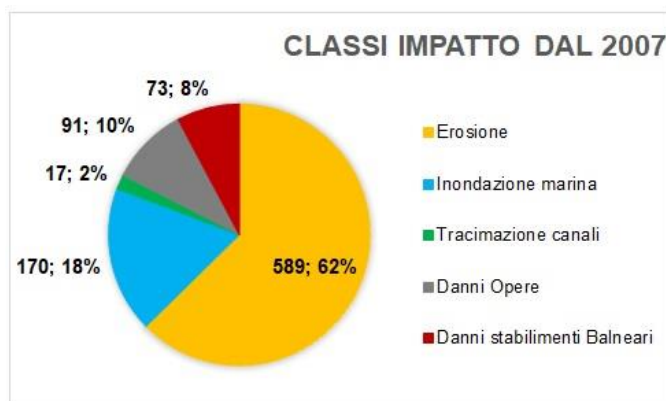


Figura 12 Frequenza e percentuale classi di impatto - periodo 2007-2020.

Nella figura 13 l'indicatore **NIM** è messo a confronto con il Numero degli Eventi (**NEv**) che, nello stesso intervallo temporale 2007-2020 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 (59), a fronte di un numero di mareggiate con impatto pari a 36. Qui oltre al fenomeno erosivo si registrano spesso fenomeni di inondazione e danni alle opere di difesa.

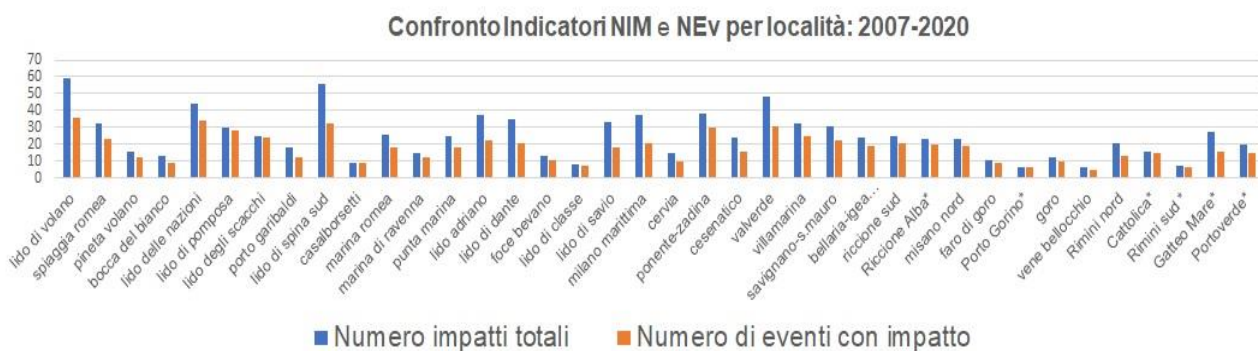


Figura 13 Confronto tra Mareggiate con impatto NEv e NIM totali - periodo 2007-2020

## 6.2. Mareggiate periodo 2011-2020

Con riferimento ai dati delle mareggiate contenuti nel DB in\_Storm, si osserva che il numero totale degli eventi per l'intervallo temporale 2011-2020 è di **91**. Tra queste sono incluse anche quelle mareggiate che in fase previsionale erano sopra-soglia e che non hanno prodotto impatti quando manifestatasi.

Come si evince dal grafico di figura 14, il mese in cui si registra la massima frequenza degli eventi è novembre (20 eventi), che rappresenta anche il mese con il maggior numero di mareggiate con impatto (9), seguono i mesi di febbraio (13) e dicembre (12) entrambi con un numero di eventi con impatto pari a 7.

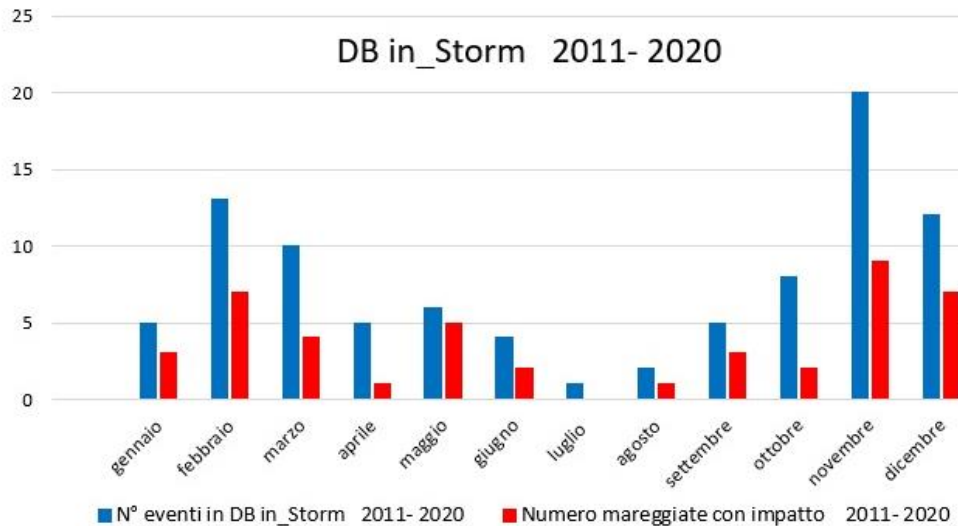


Figura 14 Distribuzione mensile delle mareggiate periodo 2011-2020.

Dei **91** eventi registrati, **63** sono stati caratterizzati da superamento di almeno 1 delle soglie meteomarine utilizzate ai fini dell'allertamento e **11** sono stati eventi sottosoglia ma con impatto.

Per quanto attiene al Numero di Mareggiate con Impatto (**NEv**), da gennaio 2011, fino a dicembre 2020, sono stati conteggiati **44 eventi**, l'entità degli impatti però è molto differenziata. Sono infatti limitati quelli che interessano tutta la costa regionale e/o che generano più tipologie di impatto. Si osservano, infatti, località con un numero di impatti anche 9 volte maggiore rispetto ad altre zone (vedi fig. 15). 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, da quando sono state definite le categorie di classificazione degli impatti.

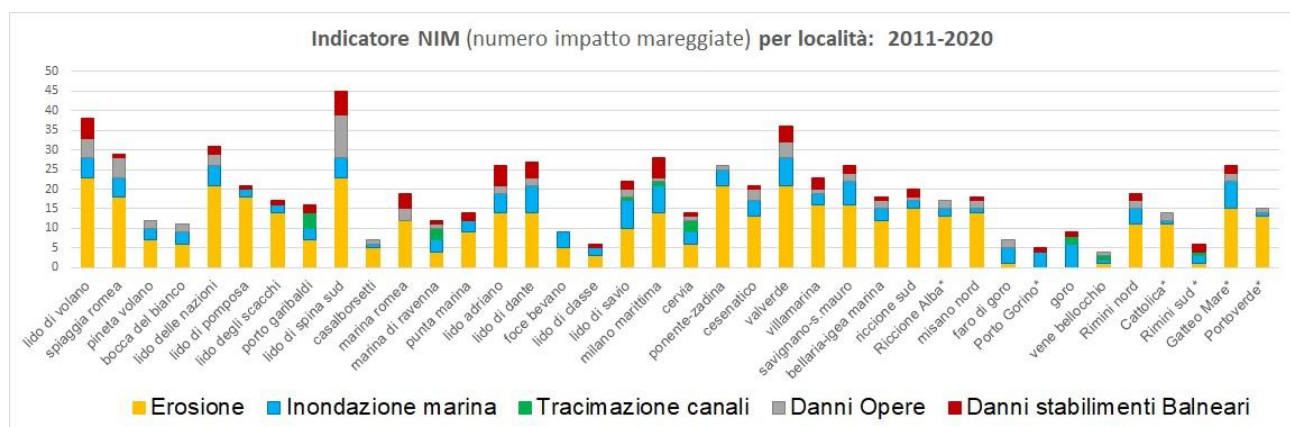
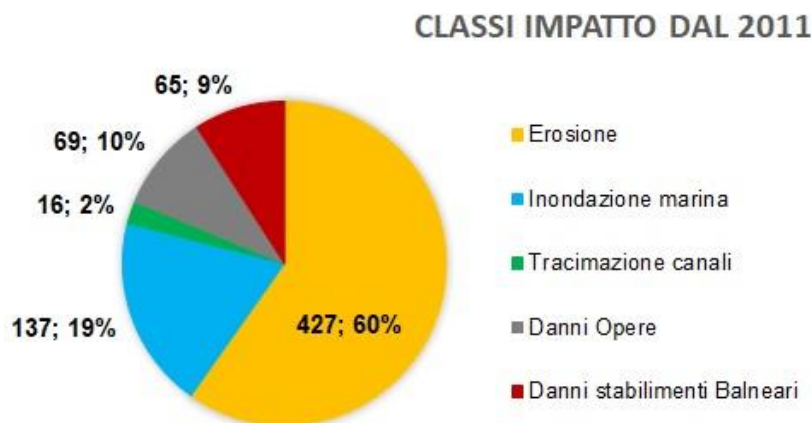


Figura 15 Distribuzione dell'indicatore NIM e tipologie di impatto per località - periodo 2011-2020.

Come evidente dal grafico di figura 16 il fenomeno erosivo continua ad essere nettamente più diffuso (427 segnalazioni), seguito dai seguenti fenomeni:

- inondazione di stabilimenti e/o retrospiaggia (137 segnalazioni)
- danni agli stabilimenti balneari (69 segnalazioni)
- danni alle opere di difesa (65 segnalazioni)
- tracimazione di canali (16 segnalazioni)



*Figura 16 Frequenza e percentuale classi di impatto - periodo 2011-2020.*

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 Nausica 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 17, 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;
- in subordine, fenomeni meteomarini associate a venti di levante che oscillano tra il I e II quadrante, sempre in presenza 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 trend evolutivi in tal senso, come risulta dal lavoro di Valentini (Arpae 2016)

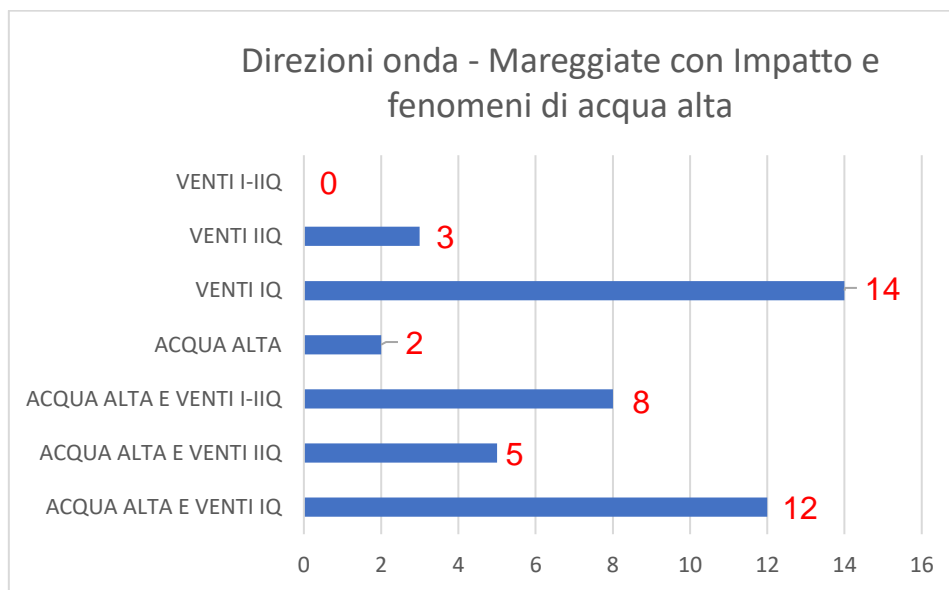


Figura 17 caratteristiche delle mareggiate con impatto 2011-2020.

In figura 18, è rappresentato il confronto tra i superamenti di soglia (di onda o marea o combinata) nei diversi mesi ed il superamento della soglia di Livello del Mare di 0,8 metri (LM>0,8). Come si vede il parametro Lm supera di gran lunga la metà degli eventi, sono infatti 41 su 62 quelli con LM>0,8m.

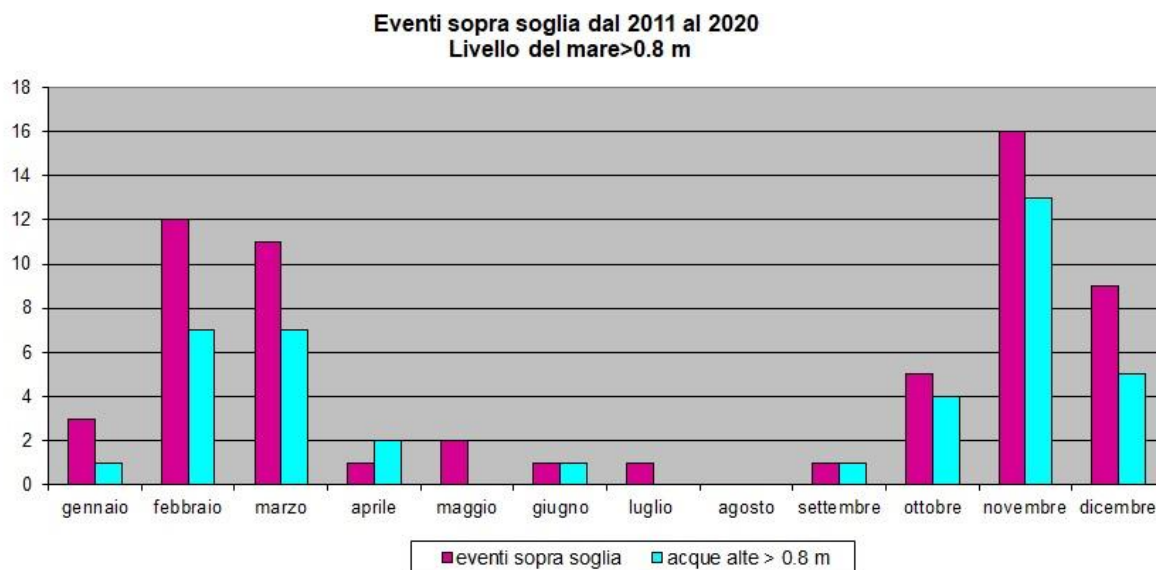


Figura 18 Massime maree 2011-2020

Nel grafico di figura 19, infine, sono riportati i massimi valori di marea registrati nel periodo. La massima marea dell'intervallo risulta essere quella che ha caratterizzato l'evento del 5-6 Febbraio 2015, pari a 1.22 metri registrato alla stazione di Porto Corsini.

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 10 eventi.



Figura 19 Massime maree 2011-2020.

### 6.3. Risposta del sistema di allertamento 2012-2020

Gli eventi catalogati nel database **in\_Storm** dal 2012 anno in cui è entrato in sperimentazione il sistema di allertamento costiero (EWS), sono stati **83**, **38** dei quali hanno prodotto impatto sul territorio.

L'analisi sulla risposta del sistema di allertamento è concentrata su questi eventi, ricordando che solo dal maggio 2017 il sistema è divenuto ufficiale perché recepito dalla regione con DGR 417/2017.

Come si evince dalla tabella n.8, considerando le **38 mareggiate con impatto** sono così distinte:

- **30** sono state caratterizzate da superamento di soglia meteomarina (differenza tra sopra soglia totali e no impatto ma superamento)
- **8** sono state invece mareggiate **sottosoglia**, 5 delle quali caratterizzate da parametri molto prossimi alle soglie di onda, o marea o combinata

Anno	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	totali
Eventi In_Storm (PREVISTI+OSSERVATI)	9	14	12	6	7	11	10	6	8	83
Mareggiate con impatto	6	8	6	1	2	4	5	3	3	38
Sopra soglia per onda	3	2	4	4	2	5	2	1	2	25
Sopra soglia per marea	4	10	5	2	3	2	4	6	6	42
Sopra soglia combinata	3	7	4	4	1	3	5	1	1	29
Sopra soglia totali	7	10	8	5	5	7	5	6	7	60
Eventi con impatto e sotto soglia	1	2	2	0	0	0	2	0	1	8
No impatto e superamento	2	5	4	4	3	2	2	3	5	30
Awisi e/o allerte x evento costiero*	7	11	7	4	3	11	7	5	8	63
Allerte/no impatto/no sopra soglia	1	1	2	1	2	4	3	0	0	14

Tabella 8 Sintesi delle informazioni relative al sistema di allertamento costiero 2012-2020.

Come già segnalato nel rapporto all'anno 2019, nel catalogo sono presenti **14** eventi che sono stati oggetto di allerta costiera (e/o, prima del 2017 stato del mare + criticità costiera) e non hanno dato esito a impatto né superamento di soglia.

Dei 14 eventi, 7 registrano comunque valori di onda e/o marea molto vicini al livello di soglia.

In definitiva si può dire che i veri **falsi allarmi** siano stati **7**, nessuno negli ultimi 2 anni

Solo in 2 circostanze, **precedenti al 2017**, invece, si sono verificati impatti senza che fosse stata emessa un'allerta (**mancati allarmi**).

In entrambi i casi (giugno 2016 e settembre 2014) si è trattato di evento estivo caratterizzato da un repentino sopralzo di marea e da condizioni di esposizione predisponenti. Per informazioni più dettagliate sugli eventi citati si rimanda al report 2019 ( <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/costa/mareggiate-analisi-dati>)

#### **6.4. Le mareggiate dal 1946 al 2020**

Sono state aggiornate al 2020 le principali informazioni del catalogo *Le Mareggiate e gli Impatti sulla Costa in Emilia-Romagna, 1946–2010*.

In figura 20 sono riportate le località della costa regionale che risultano particolarmente afflitte dagli eventi di mareggiata, e i due principali indicatori NIM (Numero impatti da mareggiata) e Nev (Numero degli eventi che hanno prodotto impatto).

Tra le località più critiche spiccano: **Lido di Volano** (NIM 74 e NEv 44), **Lido di Spina sud** (NIM 67 e NEv 42), **Ponente Zadina** (NIM 52 e NEv 42), e **Valverde** (NIM 63 e NEv 44), che registrano tutte **oltre 40 eventi con impatto**.

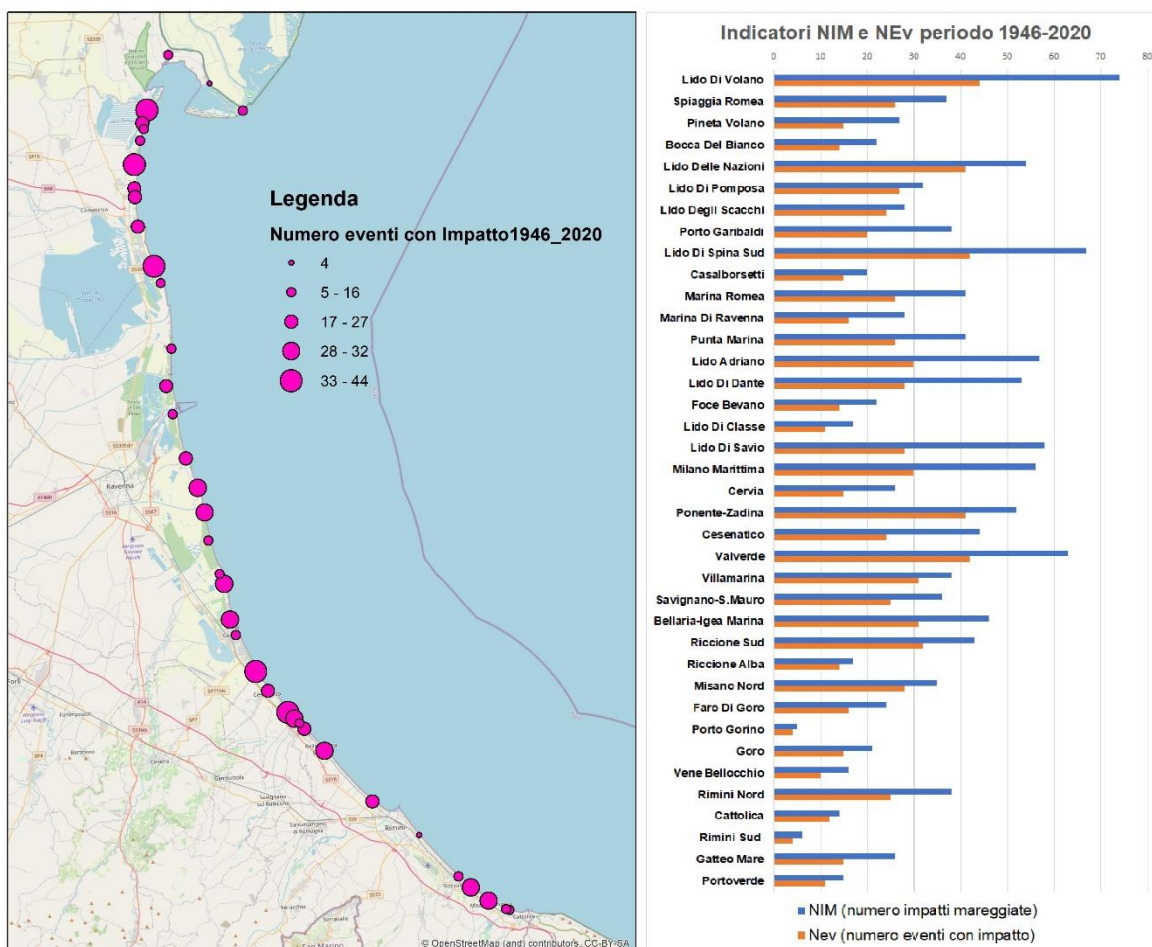


Figura 20 Distribuzione e numero impatti da mareggiata 1946-2020.

Se si osserva la distribuzione e la frequenza delle diverse tipologie di impatto per località, figure da 21 a 23, si può notare che, anche sul lungo periodo, dominano le segnalazioni per il fenomeno erosivo (746 segnalazioni), a cui segue il fenomeno dell'inondazione (275 segnalazioni), i danni agli stabilimenti balneari (143 segnalazioni), danni alle opere di difesa (126 segnalazioni) e infine la tracimazione di canali (47 segnalazioni)

Le località maggiormente colpite dal **fenomeno erosivo** (S>20 segnalazioni) sono:

- Lido di Volano, Spiaggia Romea, Lido delle Nazioni, Lido di Pomposa, Lido di Spina sud, Marina Romea, Punta Marina, Lido Adriano, Lido di Dante, Lido di Savio, Milano Marittima, Ponente-Zadina, Valverde, Villamarina, Savignano-S.Mauro, Bellaria-Igea Marina, Riccione sud, Misano nord e Rimini nord.

Per quanto riguarda il fenomeno **dell'inondazione marina** le località maggiormente colpite sono:

- Lido di Savio (> 20 segnalazioni); Goro, Lido di Volano, Lido Adriano, lido di Dante, Milano Marittima, Cesenatico e Valverde con oltre 10 segnalazioni.

Per quanto riguarda i **danni agli stabilimenti balneari**, le registrazioni più numerose sono:

- Lido Adriano (13), Lido di Dante, Milano Marittima e Lido di Volano (>10).

In merito ai **danni alle opere di difesa**, va precisato che negli anni più recenti sono stati censiti anche i gravi danni alle opere temporanee, quando la duna invernale viene erosa in modo da non rappresentare più ostacolo all'ingressione marina. In questo caso le località più critiche risultano essere:

- Lido di Spina Sud (119) e il Faro di Goro (10).

Gli eventi di tracimazione più frequenti riguardano invece:

- Porto Garibaldi (12) e Cesenatico (7).

La classificazione delle diverse tipologie di impatto risente della imprecisione delle fonti storiche; infatti, le attribuzioni effettuate sulla base della cronaca molto spesso registrano la sola presenza di fenomeni erosivi, più evidenti e facili da riconoscere. L'altro aspetto cruciale è l'entità del danno che è difficile da stimare e per il quale non abbiamo ancora stabilito dei parametri di misura.

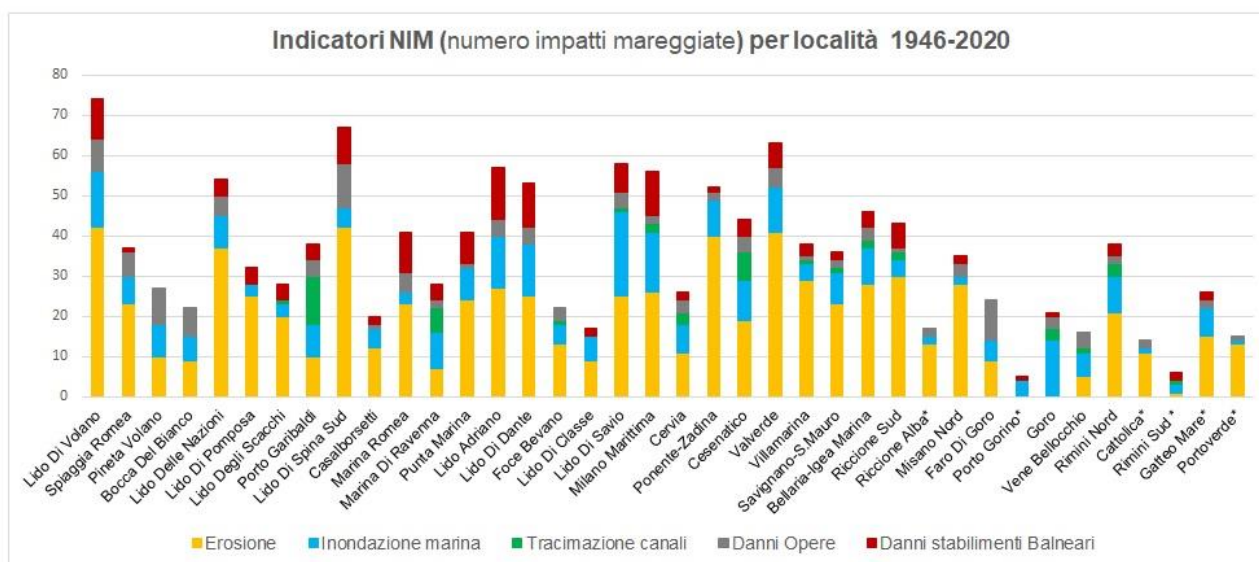


Figura 21 Distribuzione dell'indicatore NIM e tipologia di impatto per località - periodo 1946-2020.

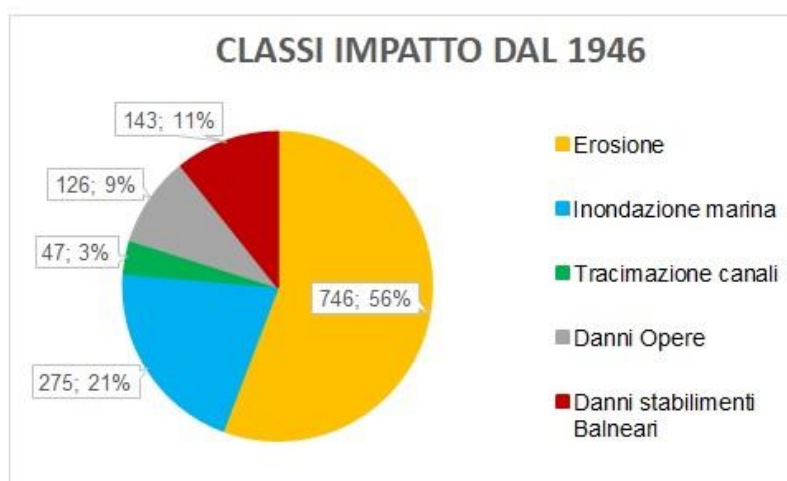


Figura 22 Frequenza e percentuale classi di impatto - periodo 1946-2020.



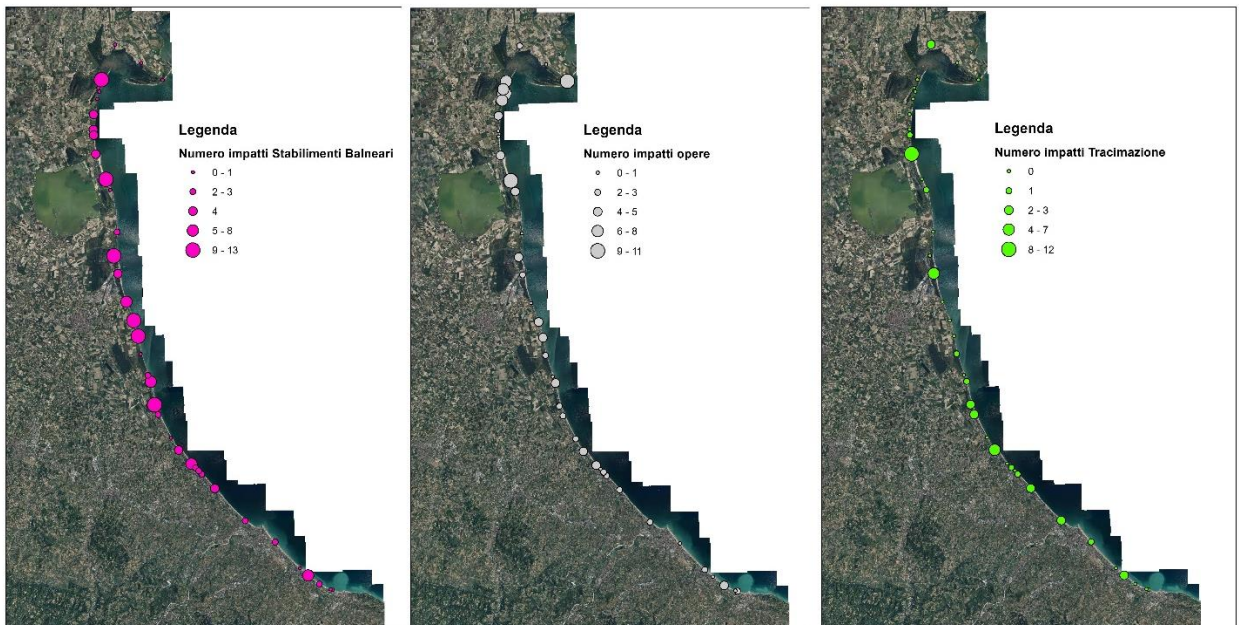
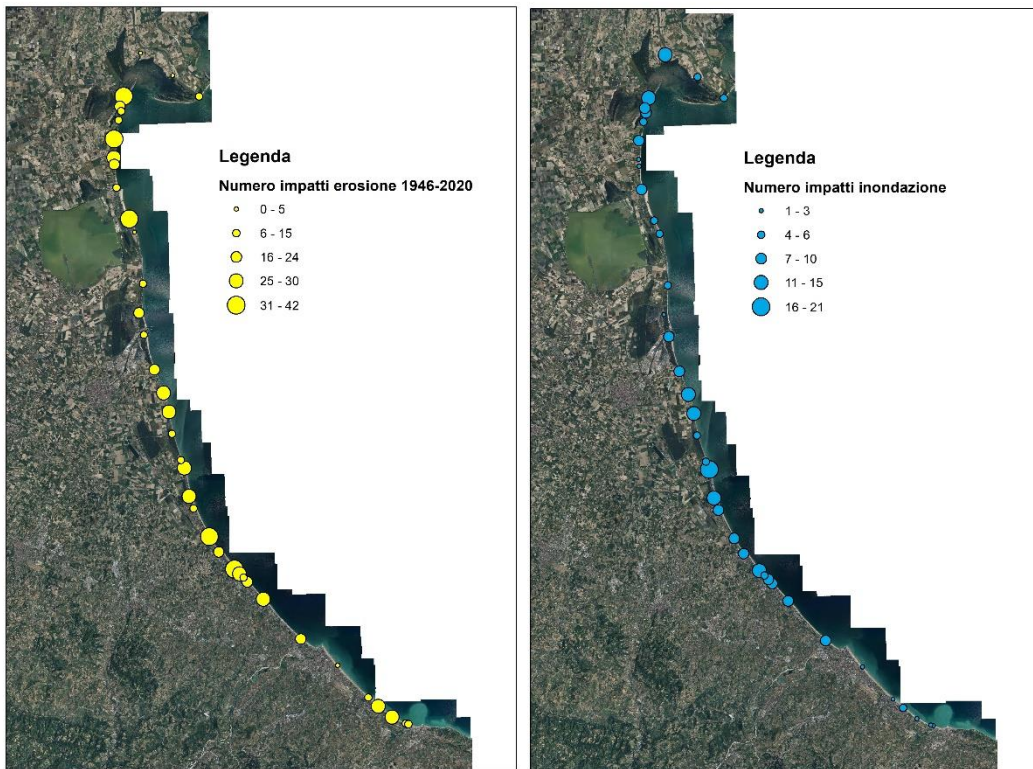


Figura 23 Ubicazione delle località colpite per tipologia di impatto periodo 1946-2020.

## 7. Analisi dei possibili trend

Le informazioni descritte nei precedenti capitoli permettono di aggiornare il quadro delle conoscenze elaborate nel Volume *Le Mareggiate e gli Impatti sulla Costa in Emilia-Romagna, 1946–2010*, per quanto riguarda gli impatti da mareggiata e i fenomeni/processi da essi generati, contribuendo a rafforzare due aspetti fondamentali della gestione dei rischi costieri, ovvero:

- la pianificazione territoriale e la Strategia Regionale di Mitigazione e Adattamento per i Cambiamenti Climatici (SMACC);
- l'affidabilità del sistema di allertamento costiero regionale.

Per quel che riguarda l'analisi delle mareggiate e del clima meteo-marino, si rimanda ai rapporti prodotti annualmente da Arpae.

Analizzando i dati raccolti nel succitato catalogo delle mareggiate storiche al 2010, con quelli più recenti archiviati nel DB in\_Storm dal 2011, emerge chiaramente la difficoltà di mettere a confronto il periodo storico precedente agli anni '90 con i decenni più recenti, perché, come ripetutamente ricordato, sono notevolmente migliorate negli anni sia la quantità che la qualità delle informazioni.

Il sottostante grafico (figura n. 24) che illustra il numero di mareggiate con impatto dal 1946 al 2020, mostra infatti un'impennata degli eventi meteomarini con impatto (censiti) a partire dagli anni '90 e più ancora dal 2000. Per i decenni precedenti agli anni '90 è stato infatti possibile recuperare solo informazioni per le mareggiate che hanno causato impatti rilevanti, generalmente lungo tutta la costa regionale, e che sono state oggetto di grande attenzione da parte dei media e/o che hanno portato alla stesura di relazioni tecniche da parte degli organi allora competenti in materia. Nel periodo storico, dal 1946 al 2010 sono state registrate, infatti, una media di 1,2 mareggiate all'anno, mentre per l'intervallo 2011-2020 il numero sale a 4,8.

mareggiate con impatto 1946-2010	53	1,2/anno
mareggiate con impatto 2011-2020	44	4,8/anno

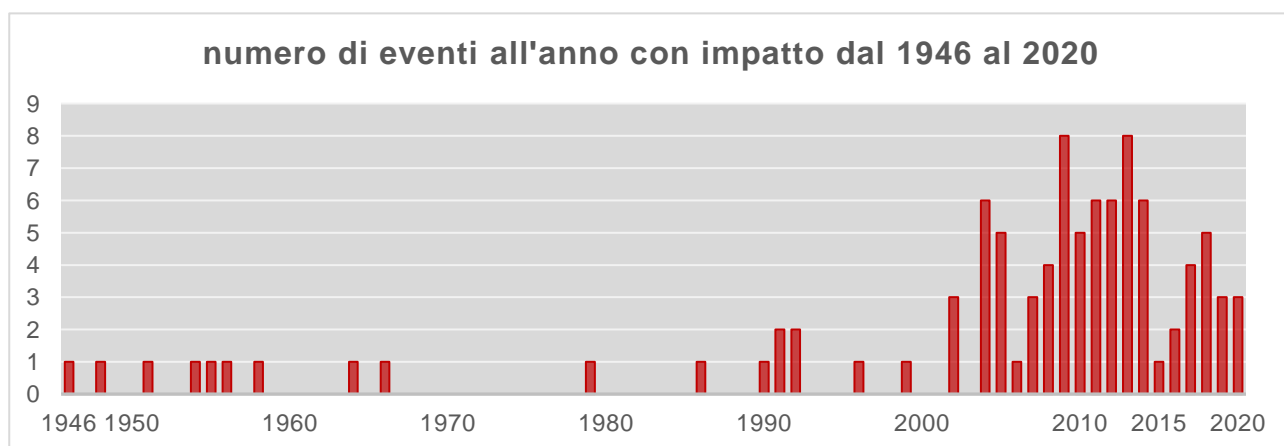


Figura 24: numero di mareggiate con impatto nel periodo 1946-2020.

Questo dato, tuttavia, potrebbe avere anche una chiave di lettura diversa. A partire dagli anni '50-'70, infatti, è avvenuta una grande trasformazione della fascia costiera in termini di antropizzazione e di esposizione al rischio, che potrebbe aver influito sull'aumento del numero delle mareggiate che hanno generato impatti ai beni antropici. Questa teoria resta comunque molto confutabile poiché non disponiamo di sufficienti informazioni per l'epoca storica nemmeno sul moto ondoso, monitorato a livello regionale solo dal 2007.

Se invece osserviamo il grafico di figura 25, in cui sono messi a confronto il numero di impatti per ciascuna delle località monitorate della costa, notiamo che il sito che ha maggiormente incrementato le segnalazioni è Lido di Spina sud, con un aumento di oltre 4 segnalazioni/anno. Le località in cui le segnalazioni sono aumentate di oltre 3 all'anno sono Lido di Volano e Valverde. Un aumento di oltre 2 eventi/anno lo riscontriamo ancora in 2 località del ferrarese, Spiaggia Romea e Lido delle Nazioni, e in diverse località da Lido Adriano a San Mauro Pascoli.

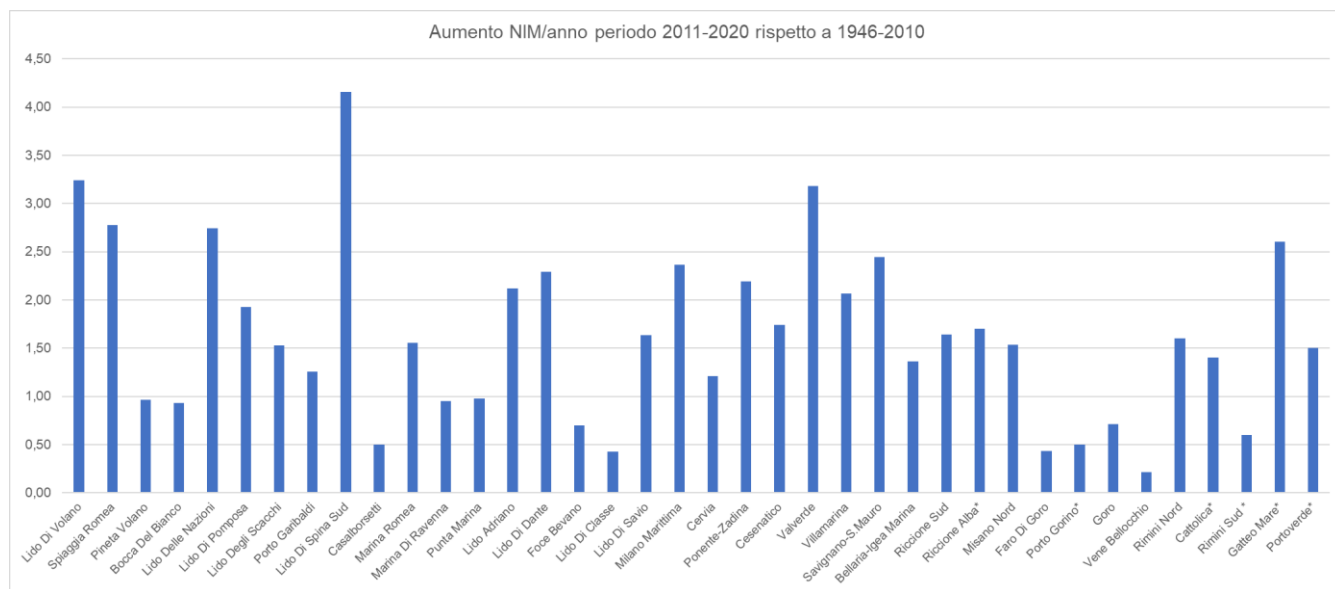


Figura 25: Aumento dell'indicatore NIM/anno nel periodo 2011-2020.

Tra i dati meteomarini, quello mareografico può comunque offrirci uno spunto di analisi interessante (figura 26). Come già anticipato al paragrafo 2, il mareografo di Porto Corsini (PC-RA) di Ispra è in funzione dal 1897, anche se, nel tempo, sono stati effettuati alcuni interventi di modifica della stazione. I dati orari sono disponibili dal 1975 anche se con qualche discontinuità fino al 1986. Per gli anni precedenti al 1975, i dati sono stati invece ricavati dagli annali idrologici. Nel periodo settembre 2015- febbraio 2019, in cui l'acquisizione al mareografo di PC è stata molto discontinua, è divenuta fondamentale la presenza della stazione mareografica di Porto Garibaldi (PG), che ci ha permesso di ricostruire il grafico delle massime maree annuali dell'intero intervallo 1946-2020. I dati qui riportati, anche per PG, sono già corretti al 'datum altimetrico nazionale' utilizzato per la stazione di PC-RA (informazione da prof. Pellegrinelli, Unife).

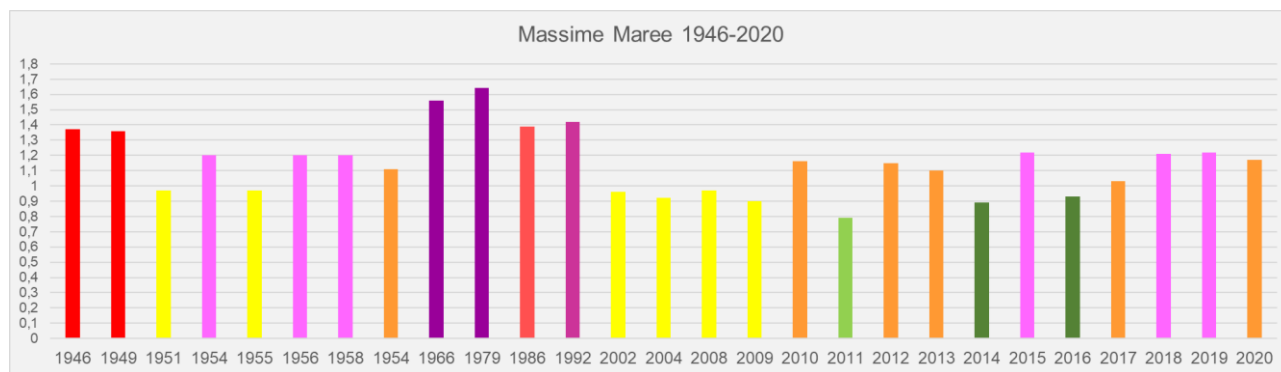


Figura 26 massimi livelli del mare annuali registrati al Mareografo di Porto Corsini (PC-RA) 1946-2015 e Porto Garibaldi dal 2016.

Come si evince dal grafico di figura 26, le due massime alte maree,  $L_m > 1,5$  m sono state registrate il 4 novembre del 1966 (1, 56 m a PC-RA) e il 22 dicembre 1979 (1, 64 m a PC-RA). Entrambe le mareggiate furono infatti caratterizzate da danni catastrofici, maggiori nel '66 per la concomitanza con un evento meteorologico epocale. Come vediamo dal grafico, inoltre, dal 2000 non abbiamo evidenza di eventi con  $L_m > 1,3$  m.

Se analizziamo il grafico in figura 27, relativo al numero di eventi con  $L_m > 0,8$  m registrati a partire dal 2014 (i dati precedenti non sono attualmente disponibili dal sito) dal mareografo di Porto Corsini, vediamo che il 2018 e il 2019 sono stati caratterizzati da una frequenza di episodi elevata. Il 2019, in particolare, in cui si è registrato un picco di 1,21 m, è stato contrassegnato anche da 5 eventi con  $L_m > 1$  m, per una durata complessiva di circa 19 ore. L'aumento degli eventi di acqua alta, anche se non estrema, potrebbe essere un indicatore importante da monitorare nel futuro.

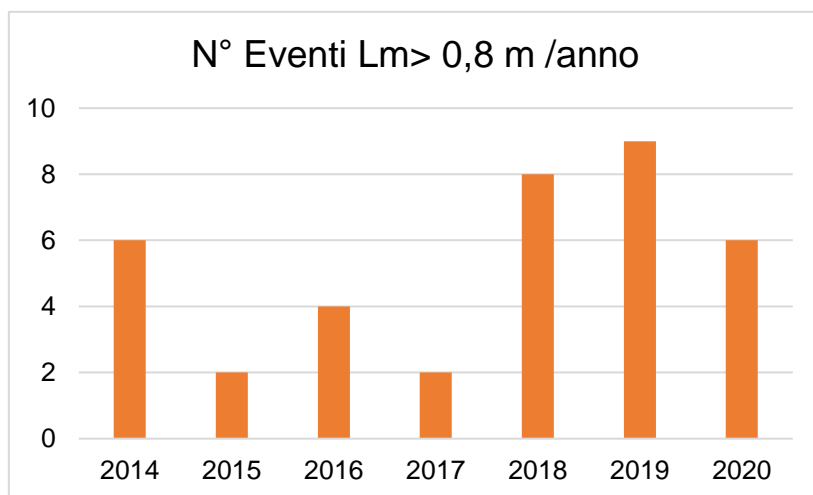


Figura 27 numero di eventi con  $L_m > 0,8$  al Mareografo di Porto Garibaldi (Fe) 2011-2020.

Tornando ai dati relativi alle mareggiate con impatto degli ultimi due decenni (figura 24), non si evidenziano dei trend particolari, ma una grande variabilità nel numero e nell'intensità delle mareggiate con impatto per anno. I due anni con il numero maggiore di registrazioni sono stati il 2008 e il 2013 (con ben 8 eventi), tuttavia, l'anno che ha prodotto gli impatti più catastrofici è stato il 2015, quando si è verificato un solo evento caratterizzato da elevata energia e da parametri meteomarinari con tempo di ritorno tra i 50 e i 100 anni.

Se si analizza la distribuzione delle mareggiate per mese, nelle due serie di dati (1946-2010 e 2011-2020), si osserva che dal 2011 sono aumentati gli eventi nel mese febbraio che ora presenta una frequenza equivalente a quella del mese di dicembre; il mese di novembre continua ad essere comunque quello che registra il maggior numero di eventi con impatto.

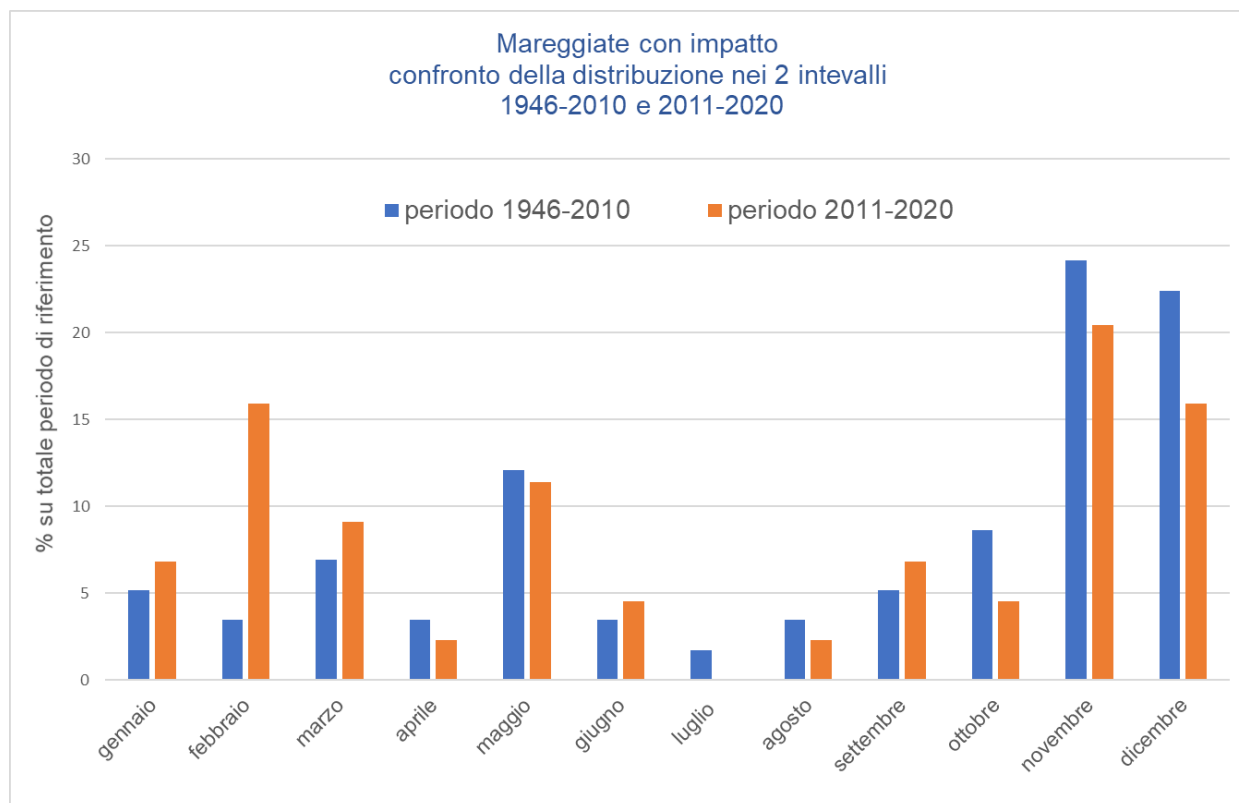


Figura 28 Distribuzione % delle mareggiate nei diversi mesi dell'anno: confronto tra i periodi 1946-2010 e 2011-2020.

Con riferimento all'intero dataset contenuto nel DB in\_Storm, che oltre alle mareggiate con impatto include quelle in cui c'è stato superamento di almeno una delle soglie di attenzione, risulta che su 63 mareggiate catalogate ben 41 (65%) sono caratterizzate da superamento della soglia di livello del mare di 0,8 m. Se tra esse consideriamo solo le 44 mareggiate che hanno prodotto impatto, elencate nella sottostante tabella 9, vediamo che:

- il 50 % delle mareggiate con impatto (ovvero 22) presenta condizioni di livello del mare superiori alla soglia degli 80 cm; 6 di esse sono state accompagnate anche da un'onda con  $H_s > 3$  m; le 16 rimanenti sono comunque caratterizzate da un'onda con  $H_s > 1$  m;
- un ulteriore 20% (9 eventi) è caratterizzato da  $H_s > 3$  m; in 5 casi la marea è stata inferiore ai 0,7 m, solo in un caso inferiore a 0,5 m;
- un solo evento è caratterizzato da parametri di soglia combinata  $L_m > 0.7$  m e  $H_s > 2$  m;
- i rimanenti 12 eventi, pari al 26 % sono invece sotto le soglie di attenzione definite nell'ambito del progetto Micore. Su questi eventi va però fatto un approfondimento che potrà essere utile anche a migliorare il sistema di allertamento costiero, magari inserendo una differenziazione tra soglie invernali ed estive, infatti:
  - 7 di questi eventi si sono manifestati nella tarda primavera ed estate (mesi da maggio a inizio settembre) quando le opere di difesa temporanee non sono più attive e inoltre sono presenti più infrastrutture turistiche sulla spiaggia;
  - 3 eventi presentano entrambi i parametri di onda e marea molto vicini alle soglie;
  - i rimanenti 2 casi sono comunque caratterizzati da impatti limitati, che non sono stati oggetto di particolare attenzione da parte dei Servizi di Area. Questa osservazione rafforza l'esigenza già segnalata di rendere un po' più coerente ed omogenea la registrazione degli impatti nel DB.

numero progressivo mareggiata	inizio	fine	Impatti	valore di marea massimo		valore di Hs massimo	
2011_02_I	28 febbraio 2011	2 marzo 2011	Si	0,71	Porto Corsini	3,92	Nausicaa
2011_04_I	12 aprile 2011	13 aprile 2011	Si	0,51	Porto Corsini	2,83	Nausicaa
2011_05_I	8 maggio 2011	9 maggio 2011	Si	0,5	Porto Corsini	2,67	Nausicaa
2011_05_II	15 maggio 2011	16 maggio 2011	Si	0,68	Porto Corsini	2,84	Nausicaa
2011_11_I	5 novembre 2011	7 novembre 2011	Si	0,79	Porto Corsini	3,62	Boa Ancona
2011_12_I	16 dicembre 2011	19 dicembre 2011	Si	0,57	Porto Corsini	2,23	Nausicaa
2012_2_I	1 febbraio 2012	13 febbraio 2012	Si	0,73	Porto Corsini	3,3	Angelina
2012_5_I	12 maggio 2012	13 maggio 2012	Si	0,3	Porto Corsini	3,19	Nausicaa
2012_9_I	12 settembre 2012	14 settembre 2012	Si	0,67	Porto Corsini	2,81	Nausicaa
2012_10_II	31 ottobre 2012	1 novembre 2012	Si	1,16	Porto Corsini	2,41	Nausicaa
2012_11_II	10 novembre 2012	12 novembre 2012	Si	0,98	Porto Corsini	2,04	Nausicaa
2012_12_I	7 dicembre 2012	9 dicembre 2012	Si	0,57	Porto Corsini	3,23	Nausicaa
2013_02_I	2 febbraio 2013	3 febbraio 2013	Si	1,05	Porto Corsini	3,68	Nausicaa
2013_02_II	11 febbraio 2013	12 febbraio 2013	Si	1,1	Porto Corsini	2,05	Nausicaa
2013_03_III	24 marzo 2013	26 marzo 2013	Si	0,82	Porto Corsini	2,53	Nausicaa
2013_05_I	15 maggio 2013	17 maggio 2013	Si	0,73	Porto Corsini	2,12	Nausicaa
2013_11_I	10 novembre 2013	12 novembre 2013	Si	0,82	Porto Corsini	3,79	Nausicaa
2013_11_II	19 novembre 2013	20 novembre 2013	Si	0,92	Porto Corsini	1,33	Nausicaa
2013_11_IV	25 novembre 2013	27 novembre 2013	Si	0,68	Porto Corsini	2,94	Nausicaa
2013_12_I	23 dicembre 2013	26 dicembre 2013	Si	0,7	Porto Corsini	1,98	Nausicaa
2014_01_I	24 gennaio 2014	25 gennaio 2014	Si	0,61	Porto Corsini	3,23	Nausicaa
2014_01_II	29 gennaio 2014	30 gennaio 2014	Si	0,89	Porto Corsini	2,04	Nausicaa
2014_03_I	4 marzo 2014	5 marzo 2014	Si	0,9	Porto Corsini	3,26	Angelina
2014_06_I	13 giugno 2014	15 giugno 2014	Si	0,45	Porto Corsini	1,35	Angelina
2014_08_I	31 agosto 2014	1 settembre 2014	Si	0,5	Porto Corsini	2,48	Nausicaa
2014_09_I	22 settembre 2014	23 settembre 2014	Si	0,87	Porto Corsini	2,65	Nausicaa
2015_02_I	2 febbraio 2015	6 febbraio 2015	Si	1,21	Porto Corsini	4,31	Angelina
2016_02_III	28 febbraio 2016	29 febbraio 2016	Si	0,81	Porto Garibaldi	2,3	Nausicaa
2016_06_I	16 giugno 2016	16 giugno 2016	Si	0,9	Porto Garibaldi	1,55	Nausicaa
2017_01_I	16 gennaio 2017	19 gennaio 2017	Si	0,62	Porto Garibaldi	3,62	Nausicaa
2017_11_I	5 novembre 2017	9 novembre 2017	Si	0,89	Porto Garibaldi	2,79	Nausicaa
2017_11_II	13 novembre 2017	17 novembre 2017	Si	1,03	Porto Garibaldi	3,63	Nausicaa
2017_11_III	26 novembre 2017	27 novembre 2017	Si	0,53	Porto Garibaldi	3,07	Nausicaa
2018_02_I	23 febbraio 2018	27 febbraio 2018	Si	0,77	Porto Garibaldi	3	Nausicaa
2018_03_I	18 marzo 2018	24 marzo 2018	Si	1,21	Porto Garibaldi	3,1	Nausicaa
2018_06_I	22 giugno 2018	23 giugno 2018	Si	0,6	Porto Garibaldi	1,54	Nausicaa
2018_08_I	25 agosto 2018	27 agosto 2018	Si	0,65	Porto Garibaldi	2	Nausicaa
2018_10_II	29 ottobre 2018	31 ottobre 2018	Si	1,1	Porto Garibaldi	2,63	Nausicaa
2019_02_I	1 febbraio 2019	3 febbraio 2019	Si	0,91	Porto Garibaldi	1,25	nausicaa
2019_11_I	12 novembre 2019	18 novembre 2019	Si	1,22	Porto Garibaldi	1,66	nausicaa
2019_12_I	20 dicembre 2019	25 dicembre 2019	Si	1,17	Porto Garibaldi	0,96	nausica non attiva dal 22
2020_12_I	1 dicembre 2020	3 dicembre 2020	Si	1,1	Porto Garibaldi	2,72	Nausicaa
2020_12_II	4 dicembre 2020	12 dicembre 2020	Si	1,08	Porto Garibaldi	1,63	Nausicaa
2020_12_III	26 dicembre 2020	29 dicembre 2020	Si	0,66	Porto Garibaldi	2,6	Nausicaa

Tabella 9: Mareggiate con impatto e parametri meteomarini 2011-2020.

Le osservazioni riportate cominciano ad essere molto rilevanti soprattutto al fine di migliorare le soglie di riferimento utilizzate per l'allertamento; sono disponibili, infatti, dati chiari a favore dell'introduzione di soglie differenziate tra il periodo tardo-primaverile/estivo e quello autunnale/invernale. Nel caso delle mareggiate tardo-primaverile/estive si è osservato che, a causa della maggiore presenza di beni esposti, un livello del mare (Lm) intorno ai 50-60 cm, accompagnato da un'onda di circa 1,5- 2 metri, può già produrre danni degni di attenzione. In un unico caso è avvenuto anche con un moto ondoso caratterizzato da  $H_s < 1,5$  m, il dato ondometrico, tuttavia, non era riferito alla boa Nausica (non in funzione in quell'occasione), quindi il valore lascia qualche dubbio.

## 8. Sintesi e Conclusioni

Il presente rapporto tecnico, previsto dalla Macroattività 3.4 (OB.3 Contributo al Piano sui cambiamenti climatici-settore geologico e dei suoli) offre un aggiornamento del quadro conoscitivo sui rischi da mareggiata in Emilia-Romagna e sulle possibili tendenze in atto, utili a supportare la 'strategia regionale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici' (SMACC).

Per quanto riguarda l'analisi delle mareggiate con impatto relative all'anno 2020, sono stati registrati solo 3 eventi con queste caratteristiche e, fortunatamente, nessuno ha avuto rilevanza regionale.

L'aggiornamento delle statistiche dei dati nei diversi intervalli temporali di medio periodo: 2011-2020 (periodo di attivazione della banca dati in\_storm) e 2007-2020 (periodo di riferimento del monitoraggio meteomarinico con boa ondometrica Nausica); nonché quelli di lungo periodo 1946-2020, hanno evidenziato un crescente numero di eventi di mareggiata con impatto lungo le coste regionali, rispetto al periodo storico. Come ricordato più volte, però, ciò è soprattutto da attribuire ad una maggior disponibilità di informazioni e di accuratezza delle stesse a partire dagli anni '90, infatti non è evidente una tendenza di crescita dei fenomeni meteomarini. Al contrario, se analizziamo l'ultimo decennio, a fronte di 27 mareggiate con impatto del periodo 2011-2015, dal 2016 al 2020 ne sono state registrate 17. Con riferimento agli ultimi 6 anni, invece, si osserva che, dal 2018 sono aumentati gli episodi di 'acqua alta',  $L_m > 0,8$ , talvolta con durate superiori ad un giorno.

Dal punto di vista delle località colpite, è da segnalare un deciso aumento degli impatti nel territorio ferrarese, in particolare a Lido di Spina Sud e nel tratto compreso tra Lido di Pomposa e Lido di Volano. In questi settori le geomorfologie costiere stanno fortemente regredendo a causa del consistente 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 registrano notevoli 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). Come si evince dal grafico di figura 26, tuttavia, i due massimi picchi di livello del mare (con  $L_m > 1,5$  m), sono avvenuti nel 1966 e nel 1979, mentre negli ultimi 20 anni non abbiamo evidenza di eventi con  $L_m > 1,3$  m. Un dato interessante degli ultimi anni (2018-2019) è invece l'elevata frequenza e **durata** degli eventi sopra soglia. Quest'ultimo parametro potrebbe essere un indicatore importante da monitorare nel futuro.

A fronte delle osservazioni qui sintetizzate è importante rimarcare la necessità di proseguire gli approfondimenti avviate sull'analisi dei dati meteomarini che caratterizzano le mareggiate con impatto, con particolare attenzione al parametro 'Livello del Mare', cercando di affinare le soglie alla base del sistema di allertamento. All'interno del gruppo RER-ARPAe si sta infatti considerando l'ipotesi di differenziare le soglie relative al periodo estivo da quelle invernali. Per questo sarebbe utile re-analizzare la serie storica di entrambe i mareografi, alla luce delle osservazioni più recenti riguardanti i valori critici. Per quanto riguarda la registrazione degli impatti, emerge la necessità di

omogeneizzare meglio la catalogazione. Sarebbe opportuno, per esempio, definire un metodo per attribuire un peso differenziato agli eventi con impatto in relazione: alla diffusione dei danni sul territorio regionale, all'indicatore NIM (numero impatti di una mareggiata) e, possibilmente, all'impatto economico.

## 9. Riferimenti bibliografici

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

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.

Raichich, 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.