

VARIABILITÀ CLIMATICA E RISCHIO IDROGEOLOGICO

IL PROGETTO LIFE PRIMES È PARTITO DALL'ANALISI DEI DATI STORICI E DEGLI SCENARI CLIMATICI FUTURI SULLE TRE REGIONI COINVOLTE (EMILIA-ROMAGNA, MARCHE E ABRUZZO). LA CONOSCENZA È UNA CHIAVE PER LA GESTIONE DEL RISCHIO E LA PREVENZIONE A LUNGO TERMINE.



GESTIONE EMERGENZE

È ormai noto che le ultime decadi hanno registrato un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi, provocando impatti sulla vita, sugli insediamenti urbani, sul territorio e sui vari settori di attività. Gli impatti provocati negli insediamenti urbani sono molto diversificati: impatti sulla salute e sulla qualità della vita, impatti sugli edifici, sulle infrastrutture e sul patrimonio culturale. In Italia, dal 2013 al 2016 ben 18 regioni sono state colpite da circa 100 eventi estremi che hanno provocato alluvioni o fenomeni franosi, generando l'apertura di 56 stati emergenziali solo per l'effetto delle piogge intense. Dall'altra parte, inoltre, soprattutto durante il periodo estivo, si devono affrontare le problematiche connesse alla scarsità d'acqua e ai lunghi periodi siccitosi. Per affrontare in maniera efficace tali impatti occorrono, però, un'approfondita conoscenza del territorio, dei fenomeni ambientali che lo caratterizzano con la rispettiva evoluzione nel tempo (e possibilmente la loro proiezione nel futuro), un forte ed efficiente coordinamento istituzionale e un coinvolgimento attivo della cittadinanza, aspetto di assoluta importanza, troppo

spesso sottovalutato o addirittura tralasciato. Primes (*Preventing flooding risks by making resilient communities*), un progetto Life approvato nell'ambito delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici, nasce proprio con l'obiettivo di ridurre i danni causati al territorio e alla popolazione da eventi avversi come piene, alluvioni e mareggiate, nelle tre regioni pilota che si affacciano sull'Adriatico (Emilia-Romagna, Marche e Abruzzo). Le regioni coinvolte sono caratterizzate da problematiche comuni come il rischio per frane, alluvioni, mareggiate, erosione costiera, ma anche problematiche particolari, determinate dalla specifica morfologia del territorio. Globalmente i danni prodotti sono notevoli, e troppo spesso si registrano anche perdite di vite umane. Ad esempio, nelle Marche le forti piogge del novembre 2013 hanno causato frane, smottamenti, allagamenti e purtroppo si sono registrate anche delle vittime. A Parma, a ottobre 2014, l'erosione del torrente Baganza ha provocato danni per oltre 100 milioni di euro, con la devastazione di tre interi quartieri, abbattendo un ponte e allagando abitazioni, ospedali e attività commerciali, coinvolgendo inoltre tante famiglie. Eventi simili sono stati registrati



in Abruzzo a settembre del 2012, quando le piogge intense, con picchi di 200 mm, venti forti e mareggiate hanno interessato la regione.

Con Life Primes si desidera aumentare la resilienza, potenziando i sistemi di allertamento nelle tre regioni coinvolte, la definizione di scenari di rischio e la realizzazione di uno spazio web condiviso con le comunità locali in modo da informare, formare e coinvolgere direttamente i cittadini. La conoscenza dettagliata della variabilità meteo-climatica-idrologica e marina presente

e gli scenari futuri per le tre regioni coinvolte rappresentano una chiave per l'identificazione delle zone maggiormente vulnerabili, la gestione del rischio e la sua prevenzione a lungo termine. Questo è stato uno dei punti di partenza nel progetto Primes nell'ambito dell'azione A1. Un database comune e un set comune di indicatori climatici-idrologici e marini sono stati definiti e analizzati sul periodo 1961-2014, nelle tre regioni pilota.

Il database climatico è stato creato a partire dai dati stazione messi a disposizione dai partner del progetto, dati che sono stati di seguito interpolati su una griglia regolare di 5x5km (Antolini et al., 2015). L'andamento della quantità stagionale di precipitazione, delle piogge intense (definite sulla base del 95esimo percentile), il numero massimo di giorni consecutivi senza precipitazione e il numero di giorni nei quali la precipitazione sulle aree di allertamento ha superato i 50 mm in 24 ore (*Areal Index Precipitation, Aip*), sono alcuni degli indicatori climatici analizzati per definire il profilo climatico presente e futuro sulle tre regioni.

Gli indicatori idrologici scelti per l'analisi delle piene fluviali sono stati invece il numero degli eventi di piena che hanno superato le tre soglie di livello idrometrico definite nei corsi d'acqua italiani, che identificano, nell'ordine: le piene significative che occupano l'intero alveo (soglia 1), quelle che occupano l'area golenale e coinvolgono gli argini (soglia 2), e quelle eccezionali, prossime al sormonto degli argini stessi (soglia 3). Infine, il numero, le ore totali e l'energia delle mareggiate sono stati gli indicatori per la caratterizzazione marina e della vulnerabilità costiera, in abbinamento alle condizioni meteorologiche lungo il bacino Adriatico che generano fenomeni meteo-marini intensi.

L'analisi climatica ha evidenziato, sul periodo 1961-2014, una tendenza leggermente negativa nella quantità totale di precipitazioni durante l'inverno e l'estate e un trend leggermente positivo in primavera e in autunno. Focalizzando lo studio sugli eventi intensi, che producono un danno immediato, ad esempio sulla frequenza della precipitazione intensa areale (*Aip index*), è stato osservato che il numero dei casi si concentra maggiormente in autunno per tutte le tre regioni (oltre 50%). La figura 1 presenta un riassunto sulle tre regioni della distribuzione stagionale delle piogge intense calcolate sulle aree di allertamento specifiche per ogni regione

FIG. 1
EVENTI INTENSI

Distribuzione stagionale del numero di eventi (%) con la precipitazione registrata sulle aree di allertamento maggiore di 50mm/24ore. Sintesi su Emilia-Romagna, Marche, Abruzzo; periodo 1961-2014.

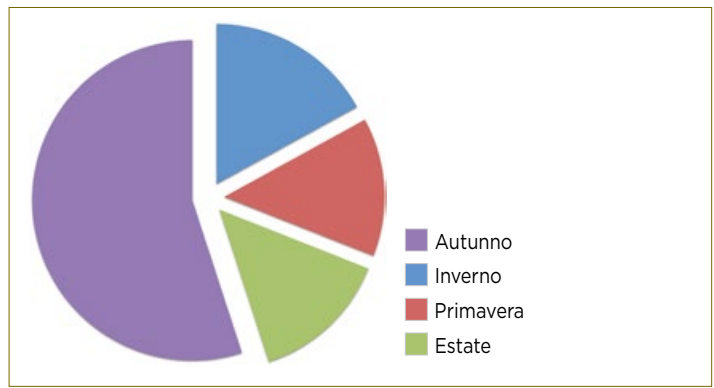


FIG. 2
PROIEZIONI
CAMBIAMENTO
CLIMATICO

Proiezioni di cambiamento climatico della quantità di precipitazioni autunnale sulle tre regioni pilota (modello CCAReg); periodo 2021-2050 rispetto al periodo 1971-2000, scenario Rcp4.5.

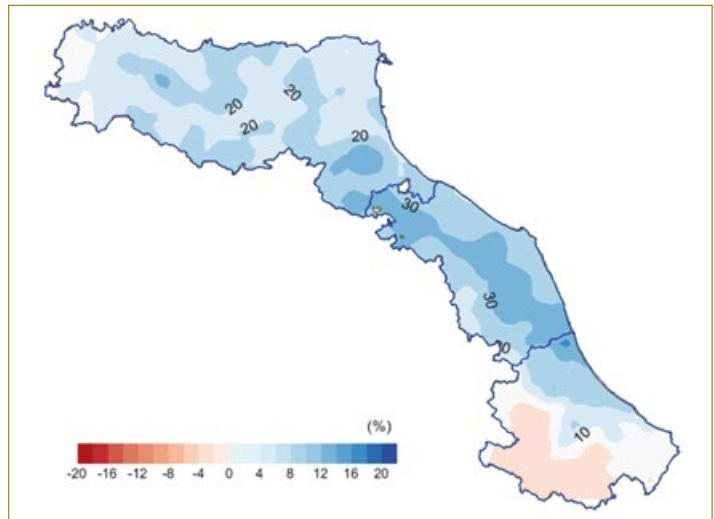
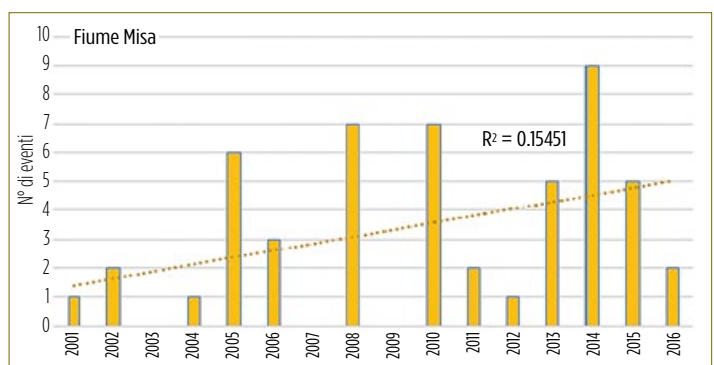
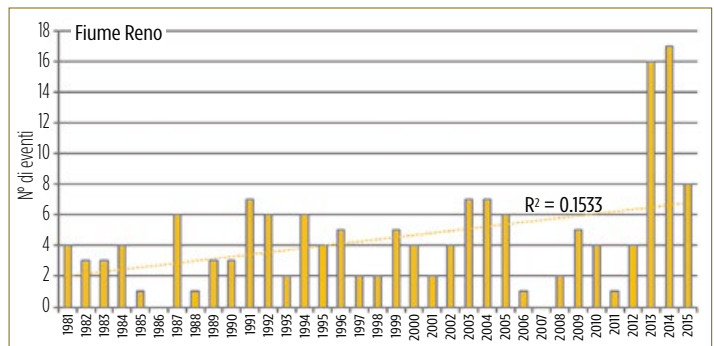


FIG. 3
NUMERO DI EVENTI
DI PIENA

Andamento temporale del numero di eventi di piena superiori alla soglia 2, sul fiume Reno in Emilia-Romagna e sul fiume Misa nelle Marche.



(espressa in percentuale). Inoltre, è stato notato un lieve aumento della frequenza di precipitazioni intense nell'ultimo periodo 1986-2014 su alcune aree di allertamento, cioè gli Appennini e le zone costiere. Un altro evento estremo preso in considerazione, anche se meno

rilevante per il progetto, è la siccità, descritta attraverso il numero massimo di giorni consecutivi senza precipitazioni. Tendenze positive sul periodo 1961-2014 sono state ottenute nelle 3 regioni durante l'estate.

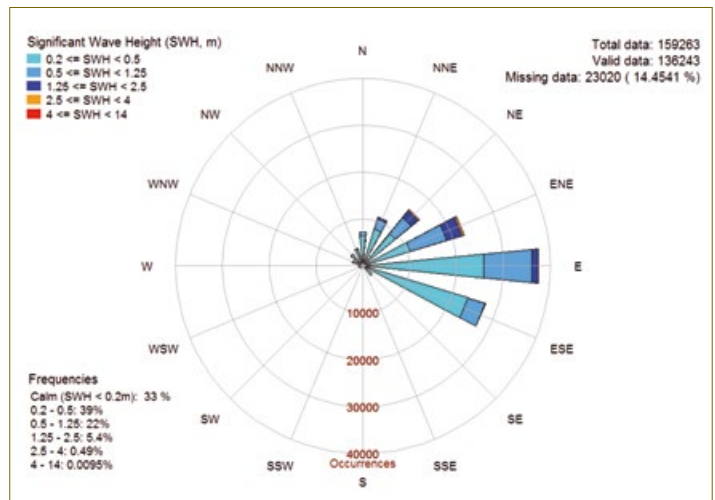
Evoluzione climatica

Ma come potranno cambiare questi eventi climatici nel futuro sulle tre regioni pilota? La risposta è stata ottenuta dalle simulazioni climatiche effettuate all'interno del progetto, utilizzando la modellistica di regionalizzazione statistica con simulazioni a una risoluzione di 5 km (modello CCAReg, Tomozeiu et al. 2017) e la regionalizzazione dinamica ad una risoluzione di 8 km (modello Cosmo-CLM, Bucchignani et al., 2016). Sono stati stimati i cambiamenti climatici per il periodo 2021-2050 nell'ambito degli scenari radiativi Rcp4.5 e Rcp8.5, utilizzando entrambe le tecniche. Le proiezioni della quantità stagionale di precipitazione evidenziano per il periodo 2021-2050, rispetto al periodo 1971-2000, una diminuzione soprattutto durante la primavera e l'estate (circa -15%) e un aumento durante l'autunno (entro +20%). La figura 2 presenta la proiezione di cambiamento della precipitazione autunnale per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo 1971-2000, ottenuta con il modello di regionalizzazione statistica nell'ambito dello scenario Rcp4.5. L'autunno è risultata la stagione con un segnale di cambiamento più intenso caratterizzato anche da un aumento della frequenza di precipitazioni estreme (circa 15%). Un segnale di aumento delle precipitazioni estreme è stato trovato nelle altre stagioni, anche se di minore intensità rispetto a quella autunnale e, su zone più ridotte, sulle tre regioni coinvolte.

L'analisi idrologica delle piene fluviali nelle tre regioni rappresenta un altro punto importante per lo scopo del progetto. Lo studio è stato condotto su dataset di diversa durata: 15 anni per Marche e Abruzzo, 35 anni per l'Emilia-Romagna. Nei periodi suddetti sono state individuate le piene per due corsi d'acqua in ciascuna regione, aventi una superficie compresa tra 1.500 e 330 km², e confrontati i livelli massimi raggiunti dalle stesse con le 3 soglie idrometriche sopra descritte. Analizzando il numero di eventi in ciascun bacino che hanno superato la soglia 2 e la soglia 3, risulta evidente un aumento nel tempo sia del numero degli eventi, sia della loro magnitudo in tutta l'area di analisi. Il trend crescente risulta più marcato negli ultimi 10 anni e conferma l'aumento della frequenza delle precipitazioni intense sulla zona appenninica, evidenziato dall'analisi meteo-climatica delle precipitazioni sulla stessa area di analisi (figura 3). Per quanto riguarda il mare e la costa si è dovuto tener conto, purtroppo,

FIG. 4 DIREZIONE DELL'ONDA

Rosa delle onde registrate dalla boa ondometrica di Cesenatico nel periodo 2007-2016.



	Number of storms	Total hours	Total energy (m ² hr)	Normalized storm energy (m ² hr)	Max SWH (m)	Mean SWH (m)	Max sea level (m)	Mean sea level (m)	%
2007	13	324	1268.67	97.59	3.04	2.46	0.66	0.18	7.69
2008	17	363.5	1255.84	73.87	3.19	2.10	0.87	0.09	0.00
2009	22	228.5	813.69	36.99	2.96	2.04	0.92	0.19	9.09
2010	20	296	1139.77	56.99	3.91	2.21	0.87	0.28	20.00
2011	17	377	1465.96	86.23	3.92	2.29	0.66	0.15	17.65
2012	22	477	2133.56	96.98	3.27	2.36	1.24	0.17	36.36
2013	24	381.5	1632.94	68.04	3.79	2.21	1.02	0.35	0.00
2014	15	225.5	914.26	60.95	3.52	2.28	0.98	0.33	26.67
2015	26	508	2207.82	84.92	4.66	2.33	1.31	0.28	3.85
2016	13	192.5	657.34	50.56	3.11	2.09	0.93	0.39	0.00

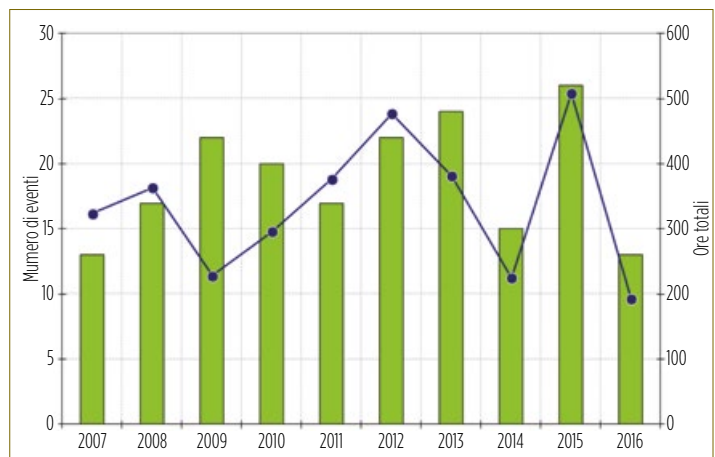
TAB. 1 MAREGGIATE

Sintesi analisi delle mareggiate con le caratteristiche principali anno per anno.

FIG. 5 MAREGGIATE

Distribuzione del numero di eventi e delle ore totali di mareggiata. Periodo 2007-2016.

■ Numero di eventi
● Ore totali



della carenza (o totale assenza) di serie temporali lunghe e omogenee di misurazioni meteo-marine (altezza e direzione delle onde, livello del mare ecc.) che avrebbero permesso una più precisa e distribuita caratterizzazione della climatologia marina lungo il litorale delle tre regioni. Per questo motivo si sono condotte analisi differenziate per periodo, tipologia di variabile e area geografica, a seconda delle banche dati disponibili e utilizzabili allo scopo.

Lo studio sulle mareggiate è stato condotto utilizzando i dati registrati al largo di Cesenatico nel periodo giugno 2007-giugno 2016 dalla boa ondometrica dell'Emilia-Romagna. L'analisi del moto ondoso durante il periodo (figura 4) mostra che le onde prevalenti provengono dalle direzioni orientali (ENE-E-ESE) mentre le onde dominanti provengono da nord-est e est-nord-est, associato ai forti venti di bora che sono quelli a cui la costa emiliano-

romagnola è maggiormente esposta e vulnerabile.

Considerando i diagrammi polari di ogni singolo anno del periodo (non mostrati in questo articolo) si deduce che negli ultimi dieci anni non ci sono state variazioni nelle direzioni del moto ondoso.

Sempre utilizzando lo stesso archivio di dati, sono state definite “mareggiate” tutti gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore alla soglia di 1,5 m.

Due mareggiate consecutive sono state considerate indipendenti se separate da almeno 12 ore con onde sotto la soglia. Infine, le misure del livello del mare fornite dai due mareografi installati in Emilia-Romagna (Porto Garibaldi, FE e Porto Corsini, RA) sono state utilizzate per completare le caratteristiche delle mareggiate: per ogni evento sono stati aggiunti il livello medio e massimo del mare.

Per il periodo giugno 2007-giugno 2016 sono state isolate in totale 189 mareggiate, con una durata media di 18 ore e un massimo di 99 ore. Durante le mareggiate la direzione media di provenienza delle onde è est-nord-est (ENE), e l'altezza media dell'onda di 2,24 m. L'altezza massima assoluta delle onde misurata davanti a Cesenatico è stata di 4,66 m il 2 febbraio 2015. Un riepilogo dettagliato dell'analisi è sintetizzato nella *tabella 1*, in cui sono riportate le caratteristiche principali per ogni anno. Il numero di mareggiate varia da 15 a 26 (*figura 5*), non considerando gli anni 2007 e 2016 perché sono stati presi in considerazione solo 6 mesi di ciascuno, e non vi è identificabile un preciso trend per questo indicatore, constatando piuttosto una forte variabilità interannuale. Medesimo discorso per le ore totali di mareggiata.

Riassumendo quindi i risultati per le mareggiate in Emilia-Romagna, non è possibile evidenziare un trend positivo o negativo definito dal 2007 a oggi,

caratterizzato piuttosto da variabilità interannuale elevata. Va inoltre sottolineato che un periodo di quasi 10 anni di dati è comunque troppo breve per poter trarre conclusioni di tipo climatologico.

Per estendersi all'intero bacino Adriatico e analizzarne la *storminess* meteorologica durante il periodo considerato, sono stati considerati lunghi *dataset* di dati meteorologici (intensità e direzione del vento e pressione media sul livello del mare) registrati dalle stazioni sinottiche costiere installate lungo la costa italiana (Trieste, Venezia, Rimini, Falconara, Termoli e Brindisi). Il periodo considerato è 1960-2016, quindi 56 anni di dati. Considerando le condizioni meteorologiche lungo il bacino Adriatico che generano eventi di mareggiata intensa, si sono individuate e isolate quelle configurazioni, in termini di pressione atmosferica e vento, che hanno generato le mareggiate in Emilia-Romagna negli ultimi dieci anni. Una volta individuate, queste condizioni sono state applicate all'intero set di dati sinottici del periodo 1960-2016, ricavando così un'informazione climatologica sull'andamento della *storminess*.

Come si può vedere dalla *figura 6*, il trend di lungo periodo (1960-2016) è differente se si considerano le condizioni

meteorologiche avverse che generano mareggiate da bora rispetto a quelle che generano mareggiate da scirocco. Nel primo caso (bora), si individua un trend positivo fino alla metà degli anni 2000, e negativo successivamente. Nel secondo caso (scirocco) il trend, pur con una sorta di ciclicità, è tendenzialmente positivo nel lungo periodo. In entrambi i casi, comunque, si può notare come ci sia una forte variabilità interannuale.

Conclusioni

Cosa conclude Primes sulle tre regioni pilota?

Le simulazioni climatiche future sulle aree pilota mostrano un verosimile calo delle precipitazioni (quantità totale) durante la primavera e l'estate e un aumento in autunno. Inoltre, un aumento degli eventi estremi di precipitazione in autunno è stato proiettato. In questo quadro è verosimile immaginare anche un aumento degli eventi di piena, sia in frequenza che in magnitudo, dato già confermato dalla tendenza degli ultimi 10 anni nei bacini appenninici.

Rosanna Foraci, Sandro Nanni, Rodica Tomozeiu, Andrea Valentini

Arpa Emilia-Romagna

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Antolini G., Auteri L., Pavan V., Tomei F., Tomozeiu R., Marletto V., 2015, "A daily high-resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961-2010", *International Journal of Climatology*, 08/2015; DOI:10.1002/joc.4473.

Bucchignani E., Montesarchio M., Zollo A.L., Mercogliano P., 2016, "High-resolution climate simulations with COSMO-CLM over Italy: performance evaluation and climate projections for the 21st century", *International Journal of Climatology*, 36(2):735-756. DOI: 10.1002/joc.4379.

Tomozeiu R., Pasqui M., Quaresima S., 2017, "Future changes of air temperature over Italian areas: a statistical downscaling technique applied to 2021-2050 and 2071-2100 periods", *Meteorology and Atmospheric*, doi.org/10.1007/s00703-017-0536-7.

FIG. 6
STORMINESS

Istogrammi in blu: ore annue di *storminess* meteorologica durante mareggiate da bora (sinistra) e scirocco (destra). La linea verde è la media mobile di 10 anni. Periodo 1960-2016.

