

ALLUVIONE IN EMILIA-ROMAGNA, IL RAPPORTO TECNICO

LE ATTIVITÀ DELLA COMMISSIONE TECNICO-SCIENTIFICA ISTITUITA DALLA GIUNTA REGIONALE DELL'EMILIA-ROMAGNA IN SEGUITO AGLI EVENTI ESTREMI DI MAGGIO 2023 HANNO PORTATO ALLA REDAZIONE DI UN AMPIO RAPPORTO CHE EVIDENZIA L'ECCEZIONALITÀ DI QUANTO AVVENUTO E FORNISCE INDICAZIONI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO DI EVENTI FUTURI.

A seguito degli eventi alluvionali che hanno colpito un'ampia parte del territorio della regione Emilia-Romagna, in particolare l'area romagnola, nei giorni 1-3 maggio e 16-17 maggio 2023, la Giunta della Regione Emilia-Romagna ha ritenuto necessario disporre di valutazioni specifiche e qualificate circa l'analisi degli eventi. Ciò anche al fine di aggiornare il quadro conoscitivo e fornire indicazioni e linee di indirizzo operative per una futura corretta gestione del rischio idrogeologico nella regione. Con Dgr n. 984/2023 ha quindi previsto la costituzione di un'apposita Commissione di elevato profilo tecnico-scientifico. La suddetta Commissione è stata quindi costituita con determinazione del direttore generale Cura del territorio e dell'ambiente n. 14641 del 4 luglio 2023. Oltre allo scrivente, che ne ha assunto il coordinamento, la Commissione è stata composta anche da Nicola Casagli, Marco Marani, Paola Mercogliano e Renzo Motta. La Commissione ha terminato i suoi lavori con la consegna di un rapporto [1], edito in data 12 dicembre 2023 e liberamente scaricabile dal web (www.regione.emilia-romagna.it/alluvione/rapporto-della-commissione-tecnico-scientifica), del quale nel seguito

si descrivono le principali risultanze, rimandando alla consultazione dello stesso per maggiori dettagli.

Caratterizzazione idrologica dell'evento

Per entrambi gli eventi (1-3 maggio e 16-18 maggio 2023), l'evoluzione meteorologica alle varie scale è efficacemente descritta nei rapporti di evento prodotti da Arpa Emilia-Romagna Struttura IdroMeteoClima [2, 3].

Per un primo inquadramento dei fenomeni, si può fare riferimento alle mappe delle isoiete (linee di uguale valore di precipitazione), costruite in riferimento alla pioggia totale caduta nel primo evento (periodo 1-3 maggio 2023) e nel secondo (periodo 15-17 maggio 2023) [1]. Dal loro esame, si nota come l'epicentro della precipitazione sia sostanzialmente lo stesso per entrambi gli eventi, con totali di precipitazione simili ma più elevati nel secondo evento (fino a 240 mm circa, contro i 210 mm circa del primo). La zona più colpita è quella pedemontana dei bacini degli ultimi affluenti di destra del Reno (Sillaro,



FIG. 1 IL RAPPORTO DELLA COMMISSIONE

Santerno e Senio) e dei corsi d'acqua romagnoli con foce in Adriatico compresi tra il Lamone e il Savio. Più a est, verso il Marecchia, le precipitazioni totali dei due eventi sono risultate invece inferiori. Anche gli affluenti di sinistra del Reno sono stati interessati da precipitazioni abbondanti, anche se inferiori rispetto a quelli di destra e ai bacini romagnoli.

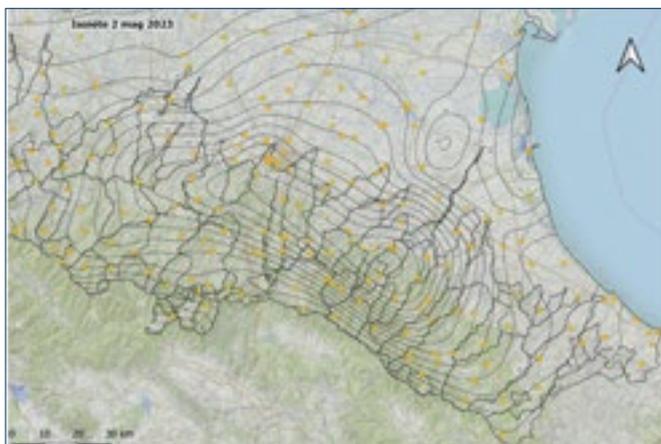


FIG. 2 ISOIETE 2 MAGGIO 2023
Isoiete della massima precipitazione giornaliera del primo evento (2 maggio 2023).

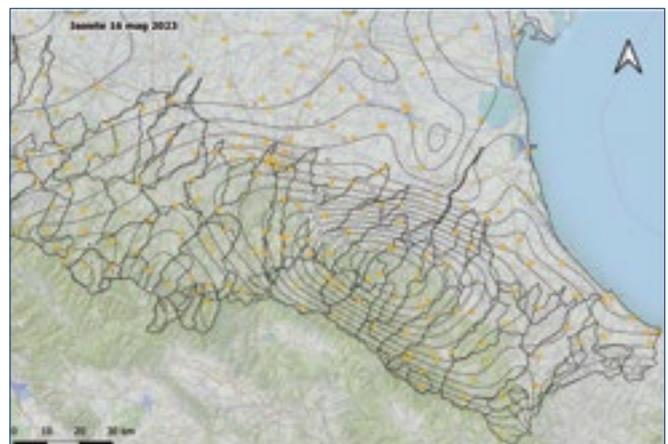


FIG. 3 ISOIETE 16 MAGGIO 2023
Isoiete della massima precipitazione giornaliera del secondo evento (16 maggio 2023).

Nel caso dell'evento di inizio maggio, si è avuto un importante interessamento anche dei bacini posti più a ovest, con totali rilevanti anche su Panaro e Secchia, oltre che sul Reno.

Per una valutazione su base statistica dei fenomeni, sono state poi prodotte le mappe delle piogge massime giornaliere cadute nel primo e nel secondo evento meteorico. Nel primo evento, quasi ovunque, il massimo di precipitazione giornaliera si è verificato il 2 maggio (figura 2), mentre nel secondo evento il massimo si è avuto il 16 maggio (figura 3). Si evidenziano valori di precipitazione giornaliera massima fino a oltre 150 mm/g nel primo evento e oltre 170 mm/g nel secondo evento. Colpisce la vastità dell'area interessata da valori molto elevati della precipitazione massima giornaliera.

È stata poi considerata la pioggia massima caduta in due giorni consecutivi. In questo caso, per la zona romagnola, è nettamente prevalente il secondo evento, nel quale nei giorni 16 e 17 maggio si conseguono i valori più rilevanti. Dalla mappa (figura 4) si apprezza la presenza di un'estesa area, centrata sulla zona collinare dei fiumi Senio e Lamone, caratterizzata da piogge bigiornaliere superiori a 200 mm, con punte fino a oltre 240 mm.

Valutazione dei volumi di pioggia caduti sui bacini

Per cogliere meglio la specificità degli eventi del maggio 2023, sono state eseguite anche numerose analisi sulle piogge medie spaziali. Rispetto alle analisi condotte sulle piogge puntuali, queste analisi danno un'informazione ben più significativa ai fini della

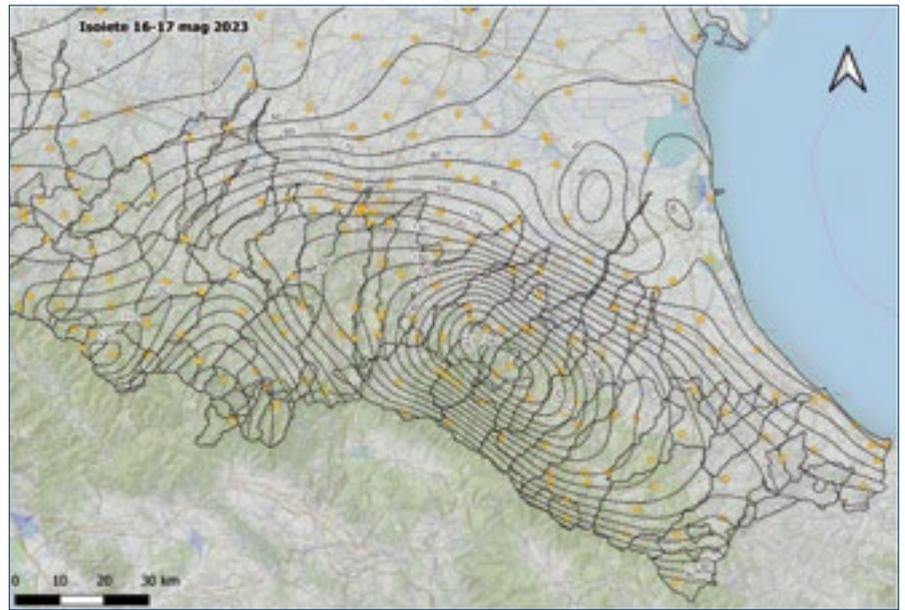


FIG. 4 ISOIETE 16-17 MAGGIO 2023
Isoiete della massima precipitazione bigiornaliera (16-17 maggio 2023).

caratterizzazione dei volumi di pioggia caduti, elemento determinante nella formazione delle piene dei corsi d'acqua esaminati. Tali analisi risultano preziose soprattutto in casi, come quello in esame, in cui la ricostruzione delle onde di piena transitate nei corsi d'acqua è molto problematica, a causa dell'interferenza dei numerosissimi episodi di esondazione. Infatti, la valutazione dei volumi esondati da ciascun corso d'acqua, a partire dalla conoscenza dell'estensione e dei tiranti idrici degli allagamenti verificatisi sul territorio, si presenta molto complessa, viste le interazioni avvenute fra le esondazioni dei vari corsi d'acqua e gli importanti effetti esercitati dalla rete artificiale di scolo. Nella regione sono stati individuati 112 bacini e sottobacini, con presenza nella sezione di chiusura di una stazione idrometrica; sulle aree di tali bacini, integrando spazialmente l'informazione puntuale (v. mappe

delle isoiete prima rappresentate), sono state ottenute le piogge medie areali (ovvero i volumi specifici di pioggia). Le elaborazioni sulle piogge medie areali sui bacini sono state condotte sia sulle piogge totali degli eventi sia sulle piogge massime giornaliere (figura 5) e bigiornaliere (figura 6).

Confronto con l'informazione idrologica storica

Al fine di poter pervenire a una valutazione del grado di eccezionalità dell'evento del maggio 2023, è stata analizzata una notevole messe di dati idrologici storici, resi disponibili da Arpa Emilia-Romagna. Sono state messe a disposizione della Commissione le serie delle altezze di pioggia giornaliera registrate ai pluviometri della rete

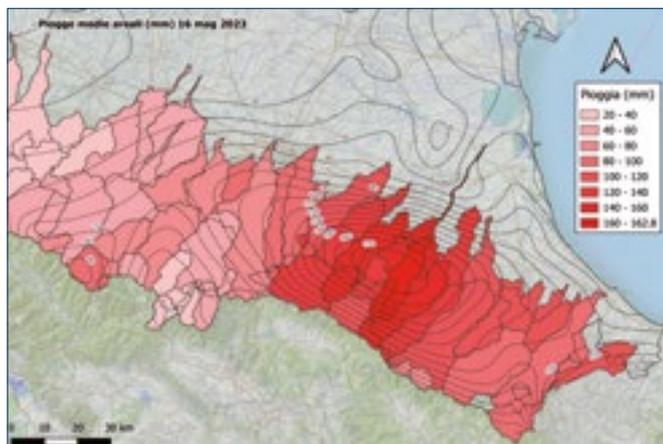


FIG. 5 PIOGGE MEDIE AREALI 16 MAGGIO 2023
Pioggia massima giornaliera media areale sui bacini di interesse il giorno 16 maggio 2023.

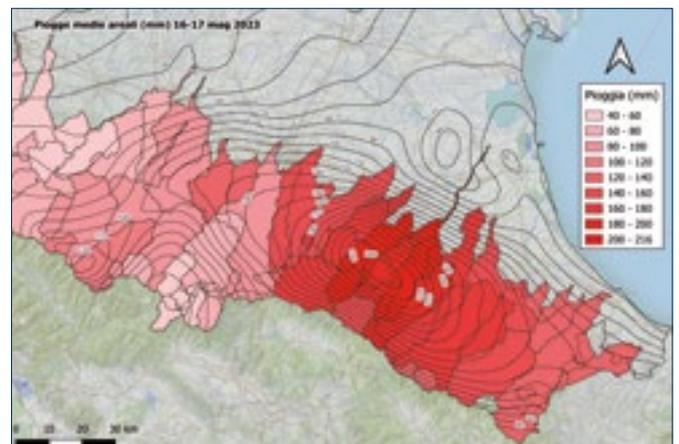


FIG. 6 PIOGGE MEDIE AREALI 16-17 MAGGIO 2023
Pioggia media areale massima in due giorni consecutivi sui bacini di interesse.

osservazionale dal 1921 a oggi. Inoltre, sono stati ricavati dati anche dal dataset climatico Eraclito, che riporta per il territorio regionale le stime dell'altezza di pioggia giornaliera su una griglia di circa 5 km × 5 km dal 1961 a oggi, ottenute tramite interpolazione spaziale dei valori puntuali rilevati dalla rete pluviometrica. Per il periodo precedente al 1961, invece, si è effettuata un'apposita interpolazione spaziale dei dati puntuali giornalieri, al fine di ricostruire con il metodo dei poligoni di Thiessen le piogge giornaliere medie sull'area di ciascuno dei 112 bacini di interesse. Infine, dal dataset meteorologico Erg5, che riporta le altezze di pioggia orarie dal 1991 a oggi, sono stati desunti i dati disponibili per l'area di interesse.

Particolare attenzione è stata riservata agli eventi meteorici del maggio-giugno 1939, che presentano interessanti somiglianze con quelli del maggio 2023, pur risultando meno intensi. Per un efficace confronto tra i due eventi, nella figura 7 è riportato il rapporto tra il valore massimo giornaliero della pioggia media areale caduta sui vari bacini nell'evento del 2023 e quello dell'evento del 1939. Sono rappresentati in colorazione verde i bacini per i quali il massimo giornaliero della pioggia media areale del 2023 risulta inferiore a quello del 1939, in colorazione azzurra quelli in cui esso è superiore. Si vede che, se si fa riferimento alle sezioni di chiusura dei bacini poste più a valle lungo ciascun corso d'acqua, l'evento del 2023 prevale su quello del 1939 per tutti i corsi d'acqua esaminati, a eccezione del Reno, del Savio e del Marecchia, con differenze che in diversi casi risultano molto marcate. È stato poi condotto un confronto tra il valore massimo giornaliero della

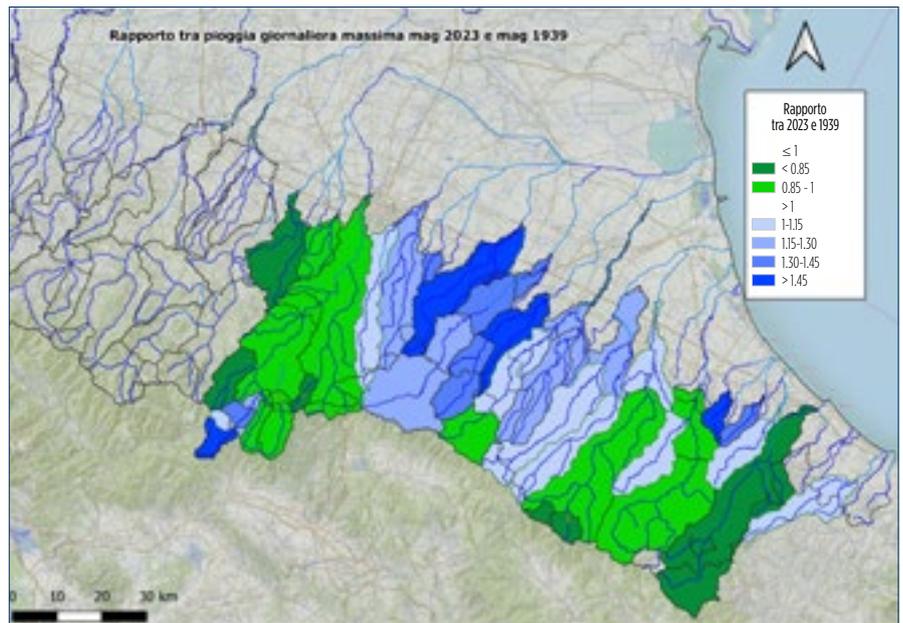


FIG. 7 CONFRONTO 2023-1939
Rapporto tra la massima pioggia giornaliera media areale sui vari bacini per l'evento del maggio 2023 e per l'evento del 1939.

pioggia media areale del maggio 2023 e il massimo storico della pioggia giornaliera media areale del periodo 1921-2022; nella figura 8 viene riportato il rapporto fra le due entità. Nella scala del verde sono rappresentati i bacini per cui il rapporto tra il massimo giornaliero del maggio 2023 e quello del periodo storico 1921-2021 è inferiore all'unità, e quindi il 2023 non rappresenta il massimo storico; nella scala del rosso, quelli per cui invece tale rapporto è maggiore di uno e quindi l'evento del 2023 rappresenta il massimo storico. Si nota che, per i bacini complessivi dei corsi d'acqua romagnoli compresi tra il Senio e il Ronco (Senio a Castel Bolognese, Lamone a Reda, Montone a Ponte Vico, Ronco a Cocolia), come pure per quello dell'Idice

chiuso a Castenaso, l'evento del 2023 costituisce sempre il massimo storico per la pioggia giornaliera media areale. In alcuni casi, inoltre, il valore del 2023 risulta molto superiore al precedente massimo storico. Trattandosi di un campione di osservazioni disponibili che si estende su oltre 100 anni, la circostanza dà chiare indicazioni sulle caratteristiche di eccezionalità dell'evento pluviometrico verificatosi nel maggio 2023. Analoghe considerazioni possono essere fatte per la pioggia media areale di due giorni consecutivi, cui si riferisce la figura 9, grandezza per la quale sono ancora più evidenti le caratteristiche di eccezionalità dell'evento del maggio 2023 rispetto all'informazione storica disponibile.

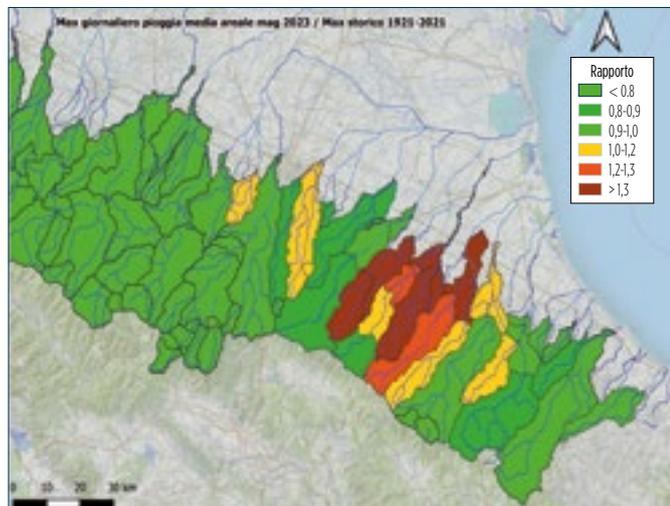


FIG. 8 CONFRONTO MASSIMO GIORNALIERO 2023/MASSIMO STORICO
Rapporto tra il massimo valore giornaliero della pioggia media areale per l'evento del maggio 2023 e il massimo storico della pioggia giornaliera media areale.

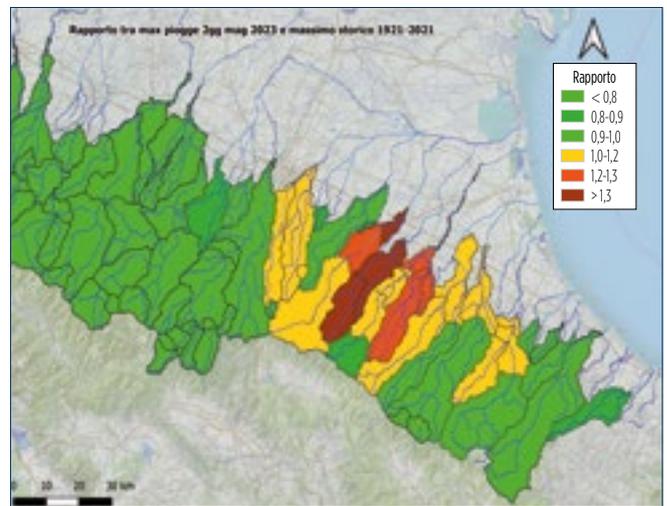


FIG. 9 CONFRONTO MASSIMO BIGIORNALIERO 2023/MASSIMO STORICO
Rapporto tra il massimo valore in 2 giorni della pioggia media areale dell'evento del maggio 2023 e il massimo storico della pioggia media areale in 2 giorni.

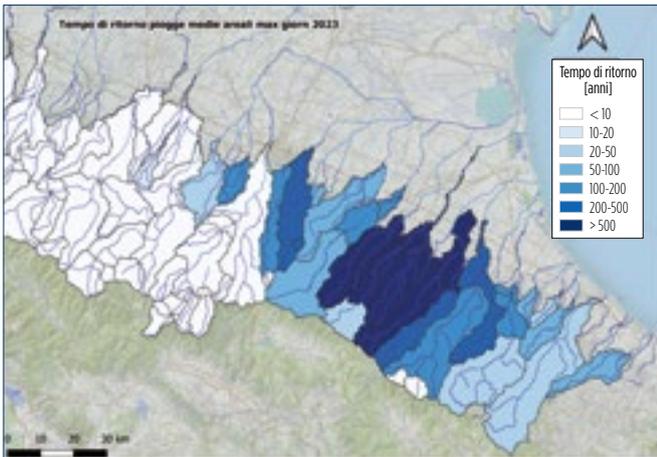


FIG. 10 TEMPO DI RITORNO MAX GIORNALIERO
Stima del tempo di ritorno del massimo giornaliero dell'altezza di pioggia media areale dell'evento del maggio 2023 per i vari bacini.

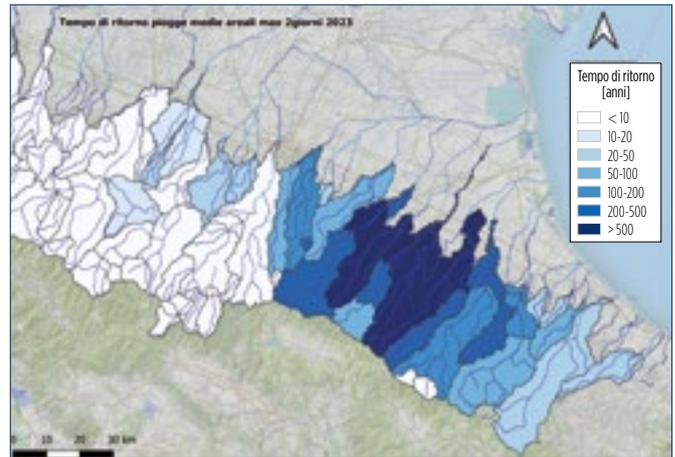


FIG. 11 TEMPO DI RITORNO MAX BIGIORNALIERO
Stima del tempo di ritorno del massimo in due giorni consecutivi dell'altezza di pioggia media areale dell'evento del maggio 2023 per i vari bacini.

L'analisi statistica dei valori estremi e la valutazione del livello di eccezionalità degli eventi

Al fine di valutare il tempo di ritorno dell'evento, sono state quindi studiate le distribuzioni di probabilità delle serie dei massimi annuali delle altezze di pioggia media areale disponibili per ciascun bacino per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore e per durate di 1 e 2 giorni consecutivi. Nel seguito, per ragioni di brevità, ci si limita a illustrare, in estrema sintesi, i risultati relativi alle durate giornaliera e bigiornaliera, rimandando per maggiori dettagli al rapporto. Regolarizzando con legge di Gumbel e Gev le serie storiche dei massimi annuali delle piogge medie areali sui 112 bacini di riferimento, è stata condotta la stima dei tempi di ritorno della pioggia media areale giornaliera e di quella bigiornaliera verificatesi nel maggio 2023.

Nella *figura 10* sono rappresentate le stime del tempo di ritorno del valore massimo giornaliero dell'altezza di pioggia media areale sui vari bacini e sottobacini, verificatesi nel corso del maggio 2023; nella *figura 11* sono rappresentate le stime del tempo di ritorno del valore massimo della pioggia media areale in due giorni consecutivi. La rappresentazione evidenzia come, per i bacini dal Sillaro a nord al Savio a sud, l'evento abbia avuto caratteristiche di eccezionale intensità; particolarmente spiccate, per i bacini del Senio, del Lamone, del Montone e del Ronco.

I tempi di ritorno dell'evento meteorico del 16 maggio 2023, come era possibile definirli prima del realizzarsi dell'evento, risultano, alla scala giornaliera, maggiori di circa 60 anni per i bacini ove l'evento

è stato meno gravoso e superiori a 500 anni ove le esondazioni sono state più significative. L'inclusione dei dati osservati nel 2023 riduce, com'è ovvio, i valori del tempo di ritorno stimati, che rimangono però spesso superiori ai 100 anni. L'analisi del tempo di ritorno per durate di pioggia inferiori al giorno restituisce invece valori inferiori; si rimanda al rapporto per dettagli.

Caratterizzazione idrologico-idraulica degli effetti al suolo

Particolarmente importanti sono stati gli effetti al suolo dell'evento, sia in termini di alluvioni sia di frane. L'eccezionalità delle piene transitate nei corsi d'acqua è testimoniata dal

superamento quasi generalizzato delle soglie idrometriche di criticità di livello 3 (soglia rossa, [2] e [3]). Si sono avute esondazioni in ben 23 sezioni, indicate nella *figura 12*. Le esondazioni hanno provocato l'allagamento di una vastissima area di pianura, estesa per circa 540 km²; il volume complessivamente esondato, ricostruito sulla base della valutazione dei tiranti di esondazione, è risultato pari a 350 Mmc.

Come già anticipato, la valutazione dei volumi esondati da ciascun corso d'acqua, a partire dalla conoscenza dell'estensione e dei tiranti idrici degli allagamenti verificatisi sul territorio, si presenta molto difficoltosa, viste le complesse interazioni avvenute fra le esondazioni dei vari corsi d'acqua e gli importanti effetti esercitati dalla rete secondaria di scolo. Risulta quindi molto arduo ricostruire

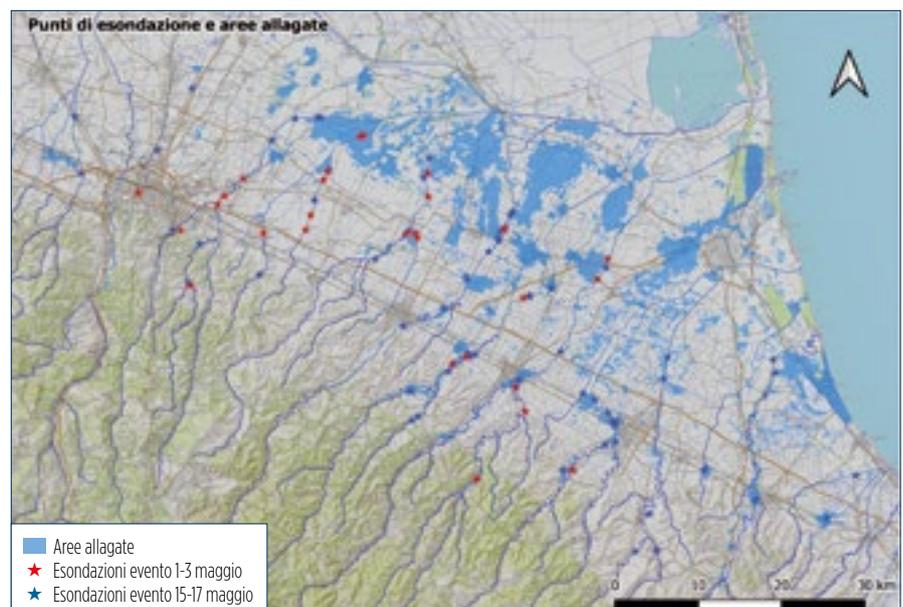


FIG. 12 ESONDAZIONI
Ubicazione delle sezioni fluviali in corrispondenza delle quali si sono verificate esondazioni durante gli eventi dell'1-3 maggio (rosso) e del 15-17 maggio 2023 (blu); aree complessivamente allagate (aree azzurre).

gli idrogrammi di piena. Un'affidabile ricostruzione sarebbe ottenibile solo ricorrendo alla modellistica afflussi-deflussi, pur nella consapevolezza di alcune inevitabili incertezze che tale approccio porta con sé. Tale attività riveste comunque una notevole valenza conoscitiva e, per tale motivo, è stata raccomandata dalla Commissione; in questo caso a maggior ragione per il fatto che, per i pochi casi in cui è stato possibile ricostruire le onde di piena (Senio a Casola Valsenio e Montone a Castrocaro), si sono riscontrati valori stimati dei coefficienti di deflusso elevatissimi, che possono essere ritenuti eccezionali per bacini idrografici naturali.

Caratterizzazione dei movimenti gravitativi di versante

Il lavoro, estremamente accurato, di riconoscimento e mappatura degli eventi franosi, verificatisi a seguito degli eventi meteorologici di maggio 2023, effettuato dalla Regione Emilia-Romagna, ha permesso di cartografare le frane a scala di elevato dettaglio (fino a 1:1.000), con una copertura molto spinta dei fenomeni franosi avvenuti. La mappatura che mostra la distribuzione spaziale delle frane avvenute a seguito degli eventi meteorologici di maggio 2023 in Emilia-Romagna è illustrata in *figura 13*. Ciascun poligono prodotto racchiude l'intera area in frana dal ciglio di distacco alla parte terminale del deposito. Le frane censite a dicembre 2023 erano in totale 65.598 e coprivano complessivamente un'area di 72,21 km². Si tratta prevalentemente di frane di modesta estensione, con un'area media di circa 1.100 m². Quelle con area inferiore a 1.000 m² risultano essere 47.556 (il 72,5% del totale), mentre quelle con area superiore a 1 ha (10.000 m²) sono 576 (0,9% del totale).

Nell'area di interesse sono state riconosciute diverse tipologie di dissesti franosi: movimenti di massa e trasporto in massa, questi ultimi rappresentati da colate di detrito non incanalate e incanalate. In linea di massima si possono individuare le seguenti tre principali tipologie:

- a) scivolamenti rapidi in terra o detrito, di dimensioni medio-piccole, avvenuti su versanti ripidi, generalmente boscati, e sulle scarpate stradali
- b) colate in terra o detrito (canalizzate o non canalizzate) di dimensioni molto variabili (da piccole a grandi), avvenute su versanti ripidi e con spessore della

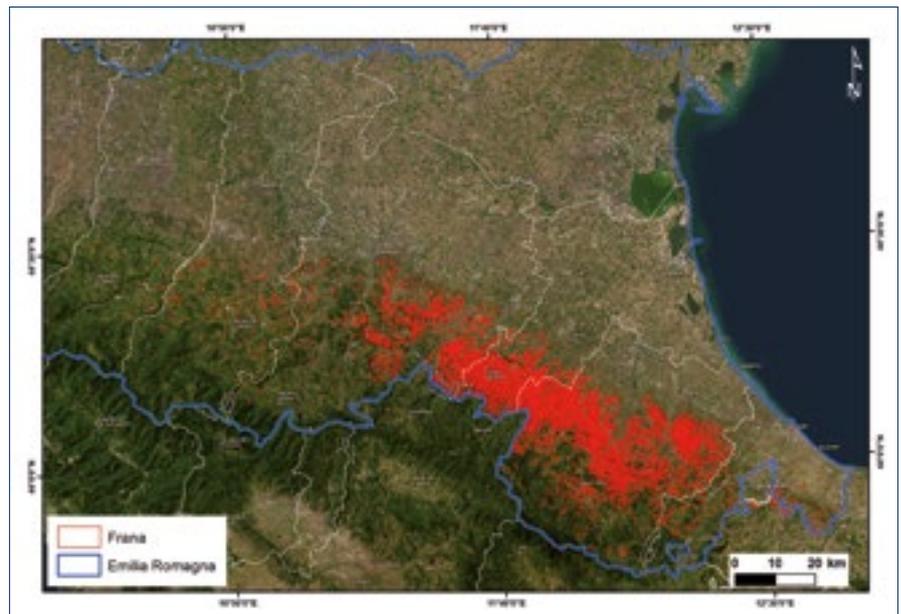


FIG. 13 FRANE
Distribuzione delle frane censite sulla regione Emilia-Romagna (fonte: Regione Emilia-Romagna).

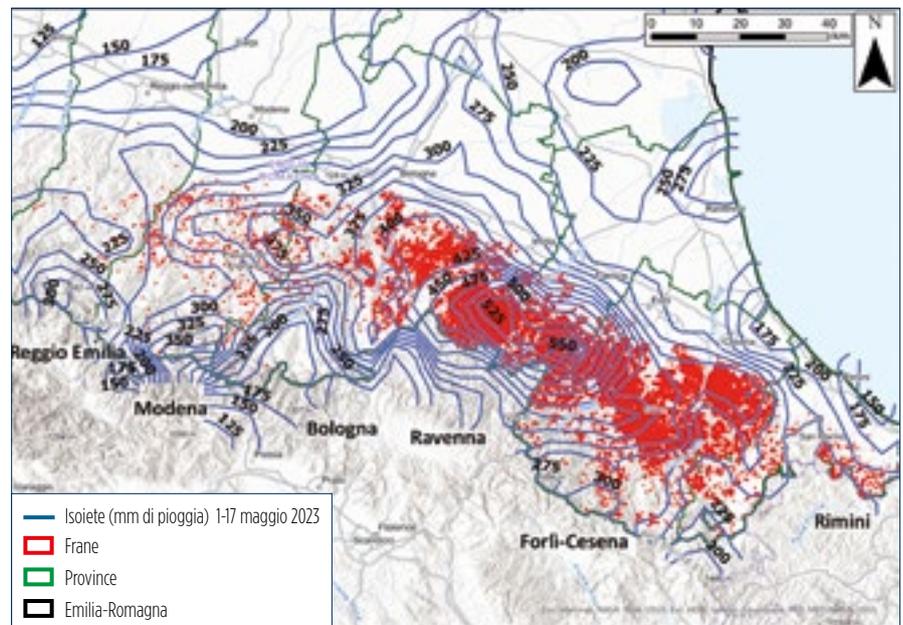


FIG. 14 FRANE E ISOIETE
Mappatura delle frane censite dalla Regione Emilia-Romagna e isoiete dell'evento meteorico complessivo di maggio 2023.

coltre interessata limitato a decimetri o pochi metri; in molti casi i fenomeni di colata di terra o detrito sono stati canalizzati in alvei del reticolo minore e si sono sviluppati per lunghezze da decine a centinaia di metri; il materiale trasportato, costituito da fango, detriti e legname asportato dai versanti, ha causato notevolissimi danni a vie di comunicazioni e a edifici

c) scivolamenti in roccia su piano di strato avvenuti su versanti, generalmente poco inclinati a franapoggio, che hanno coinvolto aree anche molto estese (>1 ha e in vari casi >10 ha).

Nella *figura 14* è riportata la distribuzione

delle frane confrontata con le isoiete della pioggia complessiva dei due eventi meteorici del maggio 2023. La maggiore densità delle frane rilevate e mappate è localizzata effettivamente nelle aree dove sono cadute le quantità massime di pioggia nelle province di Bologna, Ravenna e Forlì-Cesena, a conferma dello stretto nesso causale tra la forzante meteorologica e gli effetti al suolo verificatisi nel maggio 2023.

Interessanti conclusioni si ottengono anche dal confronto tra le aree in frana e le mappe inventario regionale delle frane. *L'Inventario dei fenomeni franosi regionale,*

disponibile sui geoportali della Regione Emilia-Romagna e dell'Ispra (IdroGeo), presenta ben 82.389 corpi franosi mappati nelle sei province coinvolte dagli eventi, con un'area in frana totale pari a circa 2.841 km². Si tratta di frane di dimensioni ben maggiori (area media pari a circa 34.486 m²) rispetto a quelle che si sono verificate nel maggio 2023 (area media pari a circa a 1.101 m²). Analizzando il posizionamento delle frane censite del maggio 2023, si nota che esse hanno modeste dimensioni, una distribuzione spaziale molto diffusa e ricadono per lo più al di fuori delle vaste aree franose censite sui geoportali sopra citati (v. [1] per maggiori dettagli). La porzione dell'area complessiva degli eventi di maggio 2023, sulle sei province colpite, che ricade in aree già mappate dall'inventario regionale, è pari a soli 15,52 km² sui 72,21 km² totali. Ciò significa che solo il 21,5% delle nuove frane è una riattivazione, totale o parziale, di frane note preesistenti. Il 78,5% delle nuove frane è quindi da considerarsi in gran parte eventi di neoformazione, ricadendo al di fuori della cartografia esistente.

Un'ulteriore interessante analisi è stata fatta intersecando le aree in frana del maggio 2023 con quelle a diversa pericolosità del Piano di assetto idrogeologico (Pai) dell'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, ottenendo per ogni livello la superficie dei fenomeni rientranti all'interno o intersecanti le varie aree. L'area totale in frana dell'evento di maggio 2023 che è inclusa o interseca le perimetrazioni di pericolosità nell'ambito del Pai dell'Emilia-Romagna è di 34,15 km², corrispondente al 47,3% dell'intera mappatura, il che significa che ben il 52,7% delle frane del maggio 2023 ha interessato aree non classificate come pericolose. Invece, il 40,5 % delle frane ricade nelle due classi a pericolosità più alta (P3 e P4), mentre il 6,8% ricade nelle classi P1 e P2 (v. il rapporto per maggiori dettagli).

Infine, il confronto tra i valori di pioggia osservati negli eventi del maggio 2023 tramite la rete regionale e le soglie pluviometriche di innesco di fenomeni franosi (definite per il territorio della regione Emilia-Romagna, dal Centro per la protezione civile dell'Università degli studi di Firenze) ha permesso di mettere in luce una buona corrispondenza tra gli effetti al suolo registratisi a seguito delle precipitazioni e i superamenti delle soglie pluviometriche, confermando al contempo il carattere eccezionale degli eventi meteorologici registrati.

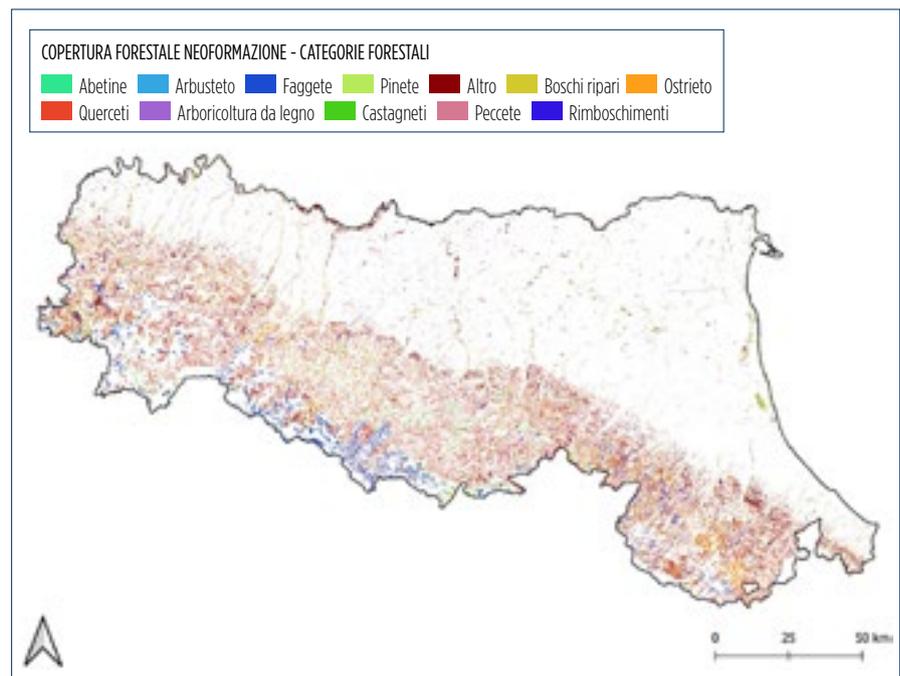


FIG. 15 AUMENTO DELLA FORESTAZIONE
Mappa delle aree interessate da neoformazione forestale dal 1936 al 2014.

Il ruolo dei cambiamenti storici nell'uso del suolo

Nell'esaminare gli effetti al suolo degli eventi meteorici del maggio 2023, occorre tenere conto delle grandi trasformazioni che sono avvenute sul territorio regionale negli ultimi decenni. Come indicato nel rapporto, oltre a un forte aumento del consumo di suolo nelle aree di pianura, un importante fattore di cambiamento è quello relativo alla copertura forestale che, in regione, ha avuto un forte incremento (18,7% del 1936; 28,4% nel 2014, v. figura 15); in particolare, nelle aree collinari e montane la copertura forestale è quasi raddoppiata. Inoltre, la superficie agricola utilizzata (Sau) media per azienda è passata da 8,3 a 15,3 ettari. Questi dati aiutano a comprendere alcune cause che possono aver amplificato gli effetti al suolo degli eventi meteorici del maggio 2023. Molti terreni forestali e agricoli abbandonati, aziende un po' più grandi ma utilizzate in maniera più estensiva, processo interpretabile come riduzione delle cure ordinarie del territorio e quindi anche di abbandono della rete idraulica minore.

L'aumento di copertura forestale, soprattutto in caso di foreste non gestite, abbinato alla diminuzione di manutenzione del territorio agricolo può essere controproducente in caso di eventi pluviometrici estremi in quanto l'aumento di densità arborea all'interno del popolamento induce una

maggiore competizione che riduce la resistenza meccanica indebolendo il popolamento (e la capacità di ancoraggio delle radici) e una maggiore mortalità. Ciò può alimentare notevolmente il trasporto vegetale nelle correnti fluviali, mettendo in pericolo le infrastrutture di attraversamento. La minore manutenzione della rete idraulica minore, dei terrazzamenti e delle strutture costruite nei secoli dall'uomo, quali muretti a secco, contribuisce ad aumentare piccole fratture e dissesti locali che possono dare origine a frane. Una particolare attenzione merita anche la gestione della vegetazione ripariale, che svolge un'importante funzione di interfaccia, lungo tutto il corso d'acqua ma che deve essere gestita con attenzione, valutando i trade-off tra i benefici derivanti da tutti i servizi ecosistemici svolti e l'incremento di rischio idraulico che consegue al suo incontrollato sviluppo. Il rapporto evidenzia che, in una risposta strutturale ai problemi posti dalla tutela idraulica del territorio, la presenza della selvicoltura e dell'agricoltura di montagna hanno una valenza ambientale e sociale altrettanto significativa di quella economica. Gestire attivamente i terreni, consolidare la presenza di selvicoltori e agricoltori, che costituiscano un presidio nella gestione-manutenzione di un territorio fortemente antropizzato e modificato dall'uomo e forniscano servizi ecosistemici adeguatamente remunerati, sono azioni fondamentali per una politica lungimirante di protezione idraulica del territorio.

Analisi dei cambiamenti attesi nei valori estremi delle piogge future

Come illustrato nel rapporto, sono state svolte una serie di analisi tese a valutare i cambiamenti attesi negli estremi di precipitazione, a scala giornaliera e subgiornaliera, utilizzando le proiezioni future delle precipitazioni fornite da alcuni modelli climatici in relazione a due possibili scenari di concentrazione futura di gas serra in atmosfera (Rcp4.5 e Rcp8.5). Sono state utilizzate sia serie temporali di proiezioni future di precipitazioni giornaliera ottenute a partire dalla simulazione Italy8km-Cm, ottenute con il modello Cosmo-Clm a risoluzione orizzontale 8 km, sia serie temporali di proiezioni orarie di precipitazioni, ottenute a partire dal modello Vhr-Pro_It, del tipo *convection permitting*, avente una risoluzione orizzontale di circa 2 km per il periodo 2006-2070, messe a disposizioni dal Cmcc.

Le analisi svolte hanno mostrato da un lato che sono da attendersi per il futuro cambiamenti anche molto rilevanti della forzante meteorologica, dall'altro che le proiezioni dei modelli climatici evidenziano spesso rilevanti differenze di comportamento tra bacini fra loro geograficamente molto vicini e idrologicamente simili. Questo ha portato la Commissione a raccomandare lo svolgimento di ulteriori approfondimenti, basati sull'uso di valutazioni più accurate che possono essere ottenute da un lato dall'implementazione di operazioni di correzione statistica delle proiezioni climatiche, come il *quantile mapping*, dall'altro dall'uso di approcci *multimodel*, basati su proiezioni fornite non da un unico modello climatico ma da più modelli, in modo da potere caratterizzare l'incertezza delle previsioni.

Raccomandazioni sulle misure di riduzione del rischio

Alla luce delle risultanze delle approfondite analisi svolte, il rapporto propone linee di indirizzo per l'assetto idraulico e idrogeologico del territorio, la regimazione dei corsi d'acqua, la sistemazione dei bacini idrografici e la stabilizzazione dei versanti, per un'ineffettiva mitigazione del rischio idrogeologico.

Per quanto riguarda gli interventi non strutturali, in primo luogo è raccomandato di migliorare le attuali

capacità di previsione degli aspetti meteorologici, idraulici e idrogeologici, per una sempre più accurata valutazione degli effetti attesi al suolo nell'ambito del sistema di allertamento regionale. Tale miglioramento potrà essere conseguito tramite simulazioni preventive con dati ad alta risoluzione per formulare scenari di evento sempre più precisi e adattati ai cambiamenti climatici in atto, ponendosi l'ambizioso obiettivo di costruire un gemello digitale idrogeologico (*digital twin*) a scala regionale. Il gemello digitale potrà consentire analisi di scenario e la risposta a quesiti *what if* per migliorare significativamente la previsione degli effetti al suolo in risposta alle forzanti meteorologiche.

Si raccomanda poi di aggiornare il quadro conoscitivo del territorio attraverso un sostanziale aggiornamento dei principali strumenti in ambito di pianificazione, quali carte di pericolosità e rischio idraulico e da frana, alla luce dei nuovi scenari climatici e delle nuove conoscenze acquisite a seguito di eventi catastrofici come quelli di maggio 2023. In particolare, per quanto riguarda il rischio di alluvione, l'evento ha mostrato il ruolo decisivo esercitato dalla rete artificiale di scolo presente sul territorio di pianura (reticolo di bonifica e Canale emiliano-romagnolo) sulla dinamica di propagazione delle inondazioni provenienti dalla rete idrografica principale; ciò ha portato a raccomandare l'esecuzione di accurate modellazioni specifiche di scenario, intese a valutare gli effetti che questa rete artificiale potrebbe avere sulla dinamica di possibili inondazioni future. Modellazioni che peraltro potrebbero consentire di acclarare le migliori opzioni di gestione che la rete artificiale di scolo può offrire, anche con opportuni interventi migliorativi, ai fini della mitigazione degli impatti che il verificarsi di un evento simile a quello occorso può determinare sul territorio. Le potenti risorse di calcolo ad alte prestazioni disponibili nella regione possono risultare strumenti decisivi per far un salto di qualità nella previsione sia spaziale sia temporale dei fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico, tenendo altresì conto degli scenari di cambiamento climatico messi a disposizione dalla comunità scientifica. In questo senso, il rapporto raccomanda lo sviluppo di analisi utili a una più accurata quantificazione degli effetti attesi del cambiamento climatico a scala regionale.

Risulta anche di fondamentale importanza procedere ad attente verifiche sulla

pianificazione dell'uso del territorio, con emanazione di provvedimenti che vadano ad agire concretamente, in pianura, sulla riduzione del consumo di suolo e sul ripristino delle aree di pertinenza fluviale e, in ambiti collinari e montani, sul controllo della vegetazione forestale e sul ripristino del presidio idraulico del territorio, inclusa la manutenzione della rete idraulica minuta di scolo. Per questi obiettivi sono necessarie una decisa semplificazione burocratica e opportune agevolazioni fiscali.

Passando agli interventi strutturali, per quanto riguarda i fenomeni franosi, il rapporto suggerisce di contrastare la pericolosità idrogeologica tramite la realizzazione di interventi strutturali a piccola-media scala, consistenti in opere di stabilizzazione di singoli versanti e di regimazione delle acque superficiali, con particolare attenzione al reticolo idrografico minore, unitamente a una corretta manutenzione del territorio e all'adozione di buone pratiche agricolo-silvo-pastorali.

Per quanto riguarda invece i fenomeni alluvionali, sulla scorta dell'onda emotiva suscitata dall'evento, è stato da più parti detto che, a valle di questo evento, "non è possibile pensare di ricostruire e costruire come prima"; il rapporto evidenzia che non si può non concordare, almeno in linea di principio, con questa affermazione, pur nella consapevolezza dell'estrema difficoltà di attuazione di questo principio. Tenuto conto sia dell'eccezionalità dell'evento sia delle peculiarità del territorio, appare quindi necessaria una profonda revisione dell'approccio tradizionale alla difesa idraulica e idrogeologica del territorio. Per quanto riguarda il rischio idraulico, l'evento ha mostrato chiaramente la necessità di innalzare il livello di protezione dai fenomeni alluvionali rispetto ai livelli garantiti dalle opere di presidio attualmente presenti sul territorio, ancora lontani dagli standard ritenuti ottimali nella pianificazione di bacino.

In questa ottica, assume certamente primaria importanza la realizzazione di nuove opere di laminazione delle piene, quali casse di espansione e invasi montani; si tratta di opere idonee a immagazzinare i deflussi idrici di piena, riducendo in tal modo i colmi delle onde che transitano a valle. Opere che possono essere pensate a scopi multipli, contribuendo ad accumulare riserve idriche utilizzabili nei periodi siccitosi per scopi potabili o irrigui, visto che, è bene ricordare, in un'ottica di

cambiamento climatico, vi è certamente anche un'altra complessa emergenza da fronteggiare, quella della siccità. Non mancano sul territorio romagnolo opportunità favorevoli e localizzazioni idonee per la realizzazione di casse di espansione vallive e di invasi montani; tuttavia, la morfologia del territorio fa dubitare che siano reperibili volumi di invaso così importanti da consentire di elevare in maniera decisiva il grado di protezione idraulica offerto dalle opere esistenti così da poter raggiungere quello che è normalmente l'obiettivo della pianificazione di bacino, ovvero il contrasto della piena duecentennale.

Del pari, il rapporto raccomanda di considerare attentamente interventi strutturali indirizzati a restituire maggiore spazio ai fiumi, che prevedano, ove possibile, modifiche della sagoma degli alvei e arretramenti verso campagna dell'attuale posizione dei rilevati arginali. Tuttavia, nel caso in esame, l'assetto del territorio e la diffusa presenza di insediamenti urbani e di infrastrutture vitali di trasporto in adiacenza ai fiumi rende questi interventi attuabili solo in alcune situazioni locali e non a una scala territoriale di asta fluviale.

Per quanto riguarda la manutenzione degli alvei fluviali, il rapporto raccomanda la predisposizione di appositi piani di gestione della vegetazione ripariale che indirizzino, su solide basi tecnico-scientifiche, la manutenzione degli alvei fluviali; tali piani dovranno valutare attentamente, caso per caso, i migliori punti di equilibrio tra gli aspetti idraulici e tutti gli altri servizi ecosistemici svolti da questa fascia di vegetazione, effettuando, per quanto necessario, modellazioni matematiche specifiche riferite ai diversi possibili assetti vegetazionali e definendo, in base alle risultanze di queste ultime, opportuni protocolli di gestione della vegetazione ripariale.

Sempre in tema di rischio idraulico, il rapporto evidenzia come una riflessione di grande importanza, emersa a seguito dell'evento, sia quella sulla necessità di superare la rigidità di alcuni obiettivi della pianificazione di bacino. A oggi la pianificazione degli interventi di difesa idraulica del territorio è ancorata all'obiettivo di difendere tutto il territorio dall'evento di piena a ricorrenza duecentennale; a questo obiettivo si commisurano la pianificazione, la programmazione, il proporzionamento e la progettazione delle opere di difesa idraulica. Orbene,

IL NUMERO DI ECOSCIENZA SULL'ALLUVIONE

Il numero 5/2023 di *Ecoscienza*, disponibile su www.arpae.it/ecoscienza, è interamente dedicato ai fenomeni estremi che hanno interessato l'Emilia-Romagna, oltre a parte della Toscana e delle Marche nel maggio 2023: nel numero trovano spazio approfondimenti tecnico-scientifici su quanto accaduto dal punto di vista meteorologico e ambientale, il racconto di chi da subito è stato coinvolto negli interventi di emergenza, l'analisi delle operazioni sui servizi pubblici essenziali e per la gestione dei rifiuti, oltre a un approfondimento sulle prospettive di prevenzione e adattamento.



anche alla luce di quanto avvenuto in Emilia-Romagna, questo obiettivo sembra meritevole di essere riconsiderato. Da un lato alla luce del fatto che, in molte situazioni, la stratificazione di vincoli e condizionamenti infrastrutturali, territoriali, urbanistici esistenti lo rende tecnicamente impraticabile; si pensi, solo ad esempio, alle enormi difficoltà poste dall'adeguamento alla piena duecentennale di alcune infrastrutture di trasporto, in particolare linee ferroviarie, soprattutto laddove attraversano centri abitati. Dall'altro lato, sembra concettualmente poco sensato e anche, almeno in una situazione di risorse economiche comunque limitate, in qualche modo velleitario porsi l'obiettivo di assicurare il medesimo livello di protezione ad aree che hanno beni e valori esposti molto diversi l'uno dall'altra.

Il rapporto prende quindi spunto da una celebre frase che Giulio De Marchi scrisse subito dopo l'alluvione del Polesine del 1951: occorrerebbe "considerare... l'intero territorio come una entità unica e solidale, da proteggere con il minimo danno complessivo", evidenziando che occorrerebbe passare a una pianificazione degli interventi di difesa idraulica che, superando le rigidità dell'impostazione attuale, sia indirizzata a minimizzare il rischio residuale, ovvero quella inevitabile porzione di rischio che permane anche dopo la realizzazione degli interventi. È del tutto chiaro che i criteri attuali, legati all'adozione di un unico tempo di ritorno di riferimento per tutto il territorio, non tengono conto, anzi obiettivamente contravvengono, questo principio. Chiaramente, si tratta di una questione di grande rilevanza, della quale va verificata la fattibilità ai sensi della legislazione e dei regolamenti vigenti, e la cui percorribilità potrebbe necessitare anche di adeguamenti normativi. Nella medesima ottica innovativa, il rapporto suggerisce anche l'uso

sistematico di inondazioni controllate di specifiche porzioni di territorio esterne al sistema difensivo attuale, quale strategia di mitigazione del rischio residuale di inondazione. Si tratta di prendere in considerazione e valutare allagamenti controllati, con moderati tiranti, da effettuarsi in caso di piene eccezionali, di aree di minor pregio, a maggiore salvaguardia di altre aree caratterizzate da una maggiore esposizione in termini di beni e valori insediati. Qualche esempio, relativamente circoscritto ma comunque encomiabile, di allagamento controllato di territori di minore pregio per preservare dall'alluvione aree cittadine si è avuto nella gestione emergenziale dell'evento del maggio 2023. Viene però raccomandato che queste operazioni non siano definite in un contesto emergenziale, ma seguano le indicazioni di una preesistente pianificazione idraulica di adeguato dettaglio; si suggerisce quindi l'approntamento di un piano di allagamenti controllati che possa essere utilizzato in caso di accadimento o nell'imminenza di importanti eventi di piena, non contenibili dal reticolo idrografico. Tale piano sarà comunque prezioso nel non breve intervallo di tempo necessario all'approntamento delle opere strutturali di mitigazione del rischio e comunque utile anche successivamente allo stesso, qualora dovessero verificarsi eventi più intensi di quello di progetto. L'utilizzo della strategia degli allagamenti controllati porta con sé la necessità di considerare un ricondizionamento dei rilevati arginali, al fine di renderli idonei a sopportare la tracimazione senza che si inneschino breccie che portano al rapido crollo del manufatto. La questione del ricondizionamento dei rilevati arginali è di grande interesse anche indipendentemente dalla predisposizione di strategie di allagamento controllato. Ciò in quanto i volumi di esondazione uscenti a campagna nel caso di un argine,

ricondizionato in modo da sopportare il sormonto, sono notevolmente inferiori a quelli che uscirebbero da una breccia arginale. Pertanto, il ricondizionamento degli argini, da effettuarsi localmente, nelle zone in cui l'assetto geometrico del rilevato rende più probabile il sormonto, può comportare una netta diminuzione dei volumi esondati a campagna. La questione della definizione di strategie di mitigazione del rischio residuale di inondazione attraverso allagamenti controllati, ma anche quella del semplice ricondizionamento degli argini, sono notevolmente complesse. Sia per le già notevoli complicazioni derivanti da aspetti puramente tecnici, quali la corretta definizione della sollecitazione idrologica, ovvero dell'onda di piena di riferimento, i problemi tecnologici legati allo svolgimento in condizioni di sicurezza della tracimazione arginale, quelli dell'ordinata gestione dell'allagamento dei territori esterni alle arginature, del rapido ed efficiente smaltimento attraverso la rete minore dei volumi esondati. Sia, soprattutto, per le implicazioni socio-economiche, gli aspetti di formazione del consenso sociale e quelli comunicativi.

Infine, il rapporto segnala che, a livello nazionale, sarebbe necessario approntare un grande programma di investimenti pubblici per implementare opere efficaci di difesa contro i rischi idrogeologici e idraulici. Esso dovrebbe procedere di pari passo con una decisa semplificazione normativa. È infatti necessario superare l'eccessiva regolamentazione che, negli ultimi decenni, ha interessato il settore

dei contratti pubblici, ostacolando l'azione della pubblica amministrazione e ritardando gli investimenti pubblici. Infine, si segnala come la pianificazione degli interventi strutturali e non, in un'ottica di strategia di adattamento, debba essere eseguita tenendo attentamente conto degli impatti derivanti dai cambiamenti climatici, attesi lungo l'intero periodo di vita utile delle opere, adeguatamente quantificati attraverso analisi modellistiche a scala opportuna.

Il rapporto propone strategie di carattere generale, raccomandando che esse trovino declinazione specifica e connotazione per ogni singolo corso d'acqua e bacino, tenendo conto delle sue specificità idrologiche e territoriali. Vista la complessità del percorso attuativo prospettato e gli elementi di novità rispetto al passato che esso presenta, il rapporto raccomanda che tale percorso sia costantemente accompagnato da un adeguato supporto tecnico-scientifico. In conclusione, come evidenziato nel rapporto, l'evento che ha colpito la

regione Emilia-Romagna nel maggio 2023 ha avuto caratteristiche di intensità e vastità territoriale tali da potere essere considerato uno spartiacque tra passato e futuro nel settore della difesa idraulica e idrogeologica del territorio. L'evento ha chiaramente mostrato come non sia oggi proponibile una ricostruzione che preveda la semplice riproposizione di modelli di intervento, per la difesa idraulica e idrogeologica del territorio, tipici del passato. L'urgenza di intervenire nella ricostruzione non deve quindi pregiudicare lo sviluppo dei percorsi di approfondimento tecnico-scientifico necessari all'implementazione di modelli di intervento adeguati all'altezza delle sfide che devono essere affrontate.

Armando Brath

Università di Bologna, coordinatore della Commissione tecnico-scientifica della Regione Emilia-Romagna sugli eventi meteorologici estremi di maggio 2023

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] Brath, A., Casagli N., Marani M., Mercogliano P., Motta R., *Rapporto della Commissione tecnico-scientifica istituita con deliberazione della Giunta regionale n. 984/2023 e determinazione dirigenziale 14641/2023, al fine di analizzare gli eventi meteorologici estremi del mese di maggio 2023*, Direzione generale Cura del territorio e dell'ambiente, Regione Emilia-Romagna, dicembre 2023.

[2] Arpa Emilia-Romagna, *Rapporto degli eventi meteorologici di piena e di frana del 1-4 maggio 2023*, maggio 2023, <https://bit.ly/rapporto-Arpa-1-4maggio2023>

[3] Arpa Emilia-Romagna, *Rapporto degli eventi meteorologici di piena e di frana del 16-18 maggio 2023*, luglio 2023, <https://bit.ly/rapporto-Arpa-16-18maggio2023>



FOTO: R. BRANCINI - REGIONE ER-AIG