

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

Presentazione del Rapporto finale

Autori:

Prof. Armando Brath armando.brath@unibo.it (Coordinatore)

Prof. Nicola Casagli nicola.casagli@unifi.it

Prof. Marco Marani marco.marani@unipd.it

Dott.ssa Paola Mercogliano paola.mercogliano@cmcc.it

Prof. Renzo Motta renzo.motta@unito.it

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

Autori:

Prof. Armando Brath armando.brath@unibo.it (Coordinatore)
Prof. Nicola Casaghi nicola.casaghi@unibo.it
Prof. Marco Marani marco.marani@unibo.it
Dott.ssa Paola Mercogliano paola.mercogliano@emrcr.it
Prof. Renzo Motta renzo.motta@unibo.it

Bologna, 12 dicembre 2023

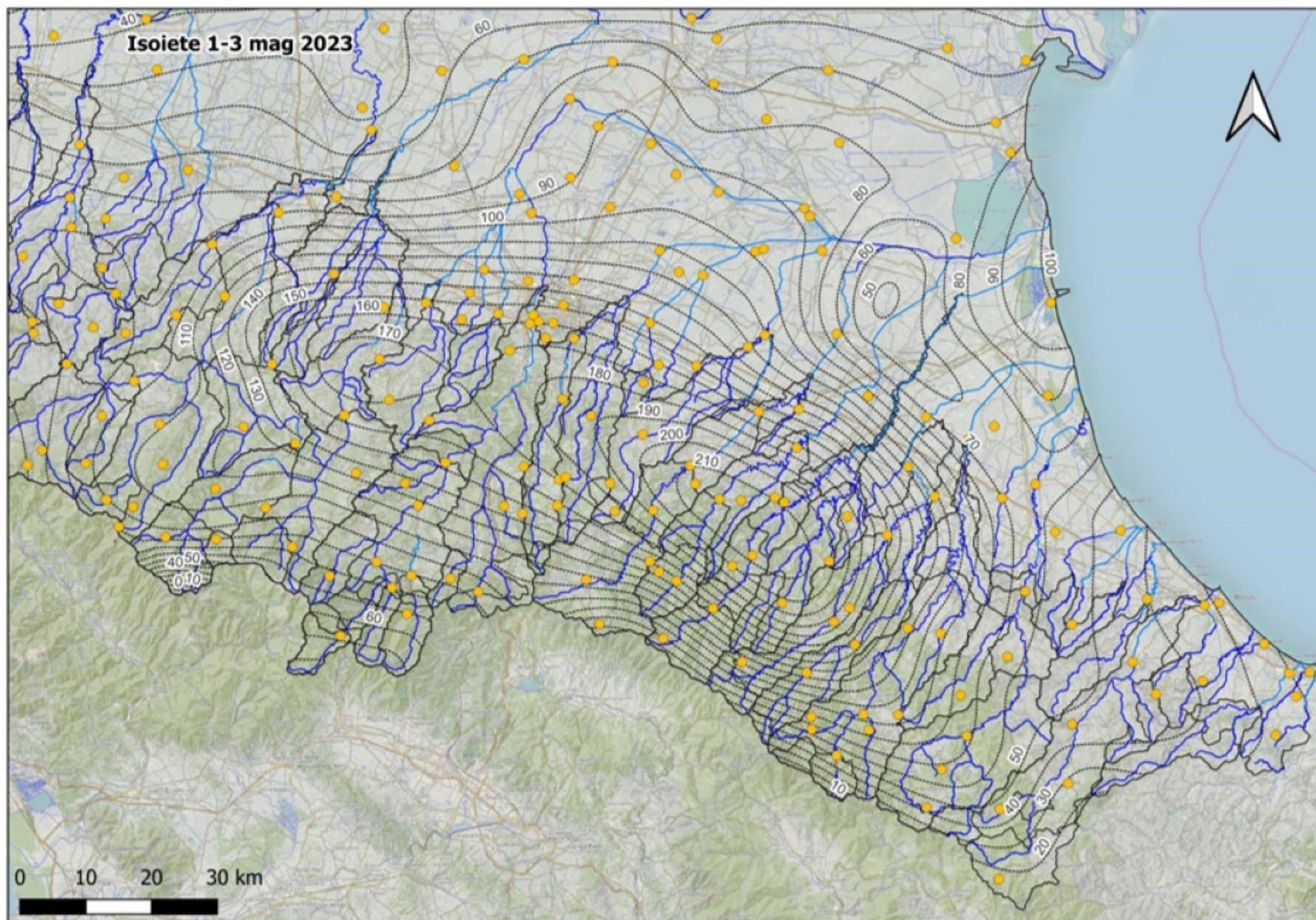
Sommario

1	INTRODUZIONE	5
2	INQUADRAMENTO DELL'AREA IN ESAME	6
2.1.1	Inquadramento geomorfologico	6
2.1.2	Inquadramento geologico	7
3	CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA DELL'EVENTO	9
3.1	VALUTAZIONE DEI VOLUMI DI PIOGGIA CADUTI SUI BACINI	12
3.2	LA RACCOLTA DELL'INFORMAZIONE IDROLOGICA STORICA	20
3.3	IL CONFRONTO CON L'EVENTO DEL MAGGIO-GIUGNO 1939	21
3.4	CARATTERIZZAZIONE STATISTICA DELLE PIOGGE AREALI E STIMA DEL LORO TEMPO DI RITORNO	26
3.4.1	Confronti tra eventi storici notevoli	27
3.4.2	L'analisi statistica dei valori estremi: metodi	37
3.4.3	L'analisi statistica dei valori estremi per durate di uno e due giorni (1921-2023)	37
3.4.4	L'analisi statistica dei valori estremi di durate inferiori al giorno (1991-2023)	47
3.5	ANALISI DEI DATI IDROMETRICI DELL'EVENTO	56
4	CARATTERIZZAZIONE DEI MOVIMENTI GRAVITATIVI DI VERSANTE	60
4.1	TIPOLOGIE DI FRANA	61
4.1.1	Scorrimenti rapidi di terra e/o detrito (tipologia A)	62
4.1.2	Colate di detrito non canalizzate (tipologia B)	64
4.1.3	Colate di detrito canalizzate (tipologia C)	65
4.1.4	Colate di terra e/o fango (tipologia F)	66
4.1.5	Scorrimenti traslativi e/o rotazionali (tipologia R)	67
4.1.6	Scivolamenti in roccia su piano di strato (tipologia SCST e SCSTI)	68
4.1.7	Frane complesse (tipologia CMPL)	69
4.1.8	Crolli o scivolamenti/crolli (tipologia CR)	70
4.1.9	Frane di attribuzione incerta (tipologia INC)	70
4.2	DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA DELLE FRANE	71
4.2.1	Confronto con le isoiete dell'evento	74
4.2.2	Confronto con la litologia	77
4.2.3	Confronto con la mappa inventario regionale delle frane	81
4.2.4	Confronto con le aree a pericolosità idrogeologica	82
4.2.5	Confronto con l'uso del suolo	84
4.2.6	Impatto sulle strutture e sulle infrastrutture	86
4.3	CONDIZIONI PLUVIOMETRICHE DI INNESCO DELLE FRANE	91
4.3.1	Soglie pluviometriche di innesco	91
4.3.2	Soglie pluviometriche di innesco per la Regione Emilia-Romagna	91
4.3.3	Confronto tra eventi pluviometrici del maggio 2022 e le soglie d'innescio	94
5	CARATTERIZZAZIONE DEI PRINCIPALI CAMBIAMENTI NELL'USO DEL SUOLO	99
5.1	RUOLO DELLA COPERTURA FORESTALE NELLA REGIMAZIONE DELLE ACQUE	99
5.2	RUOLO DELLA COPERTURA FORESTALE IN EVENTI ECCEZIONALI	101
5.3	LE DINAMICHE DI COPERTURA FORESTALE	103
5.4	IL CAMBIO DI COPERTURA FORESTALE TRA IL 1936 ED IL 2014	107
5.5	SUPERFICIE AGRICOLA UTILIZZATA (SAU)	111
5.6	RISCHIO IDRAULICO E CONSUMO DI SUOLO	112
5.7	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	114
6	SCENARI CLIMATICI PER LE FORZANTI IDROLOGICHE	116
6.1	LE ANALISI DI SCENARIO	116

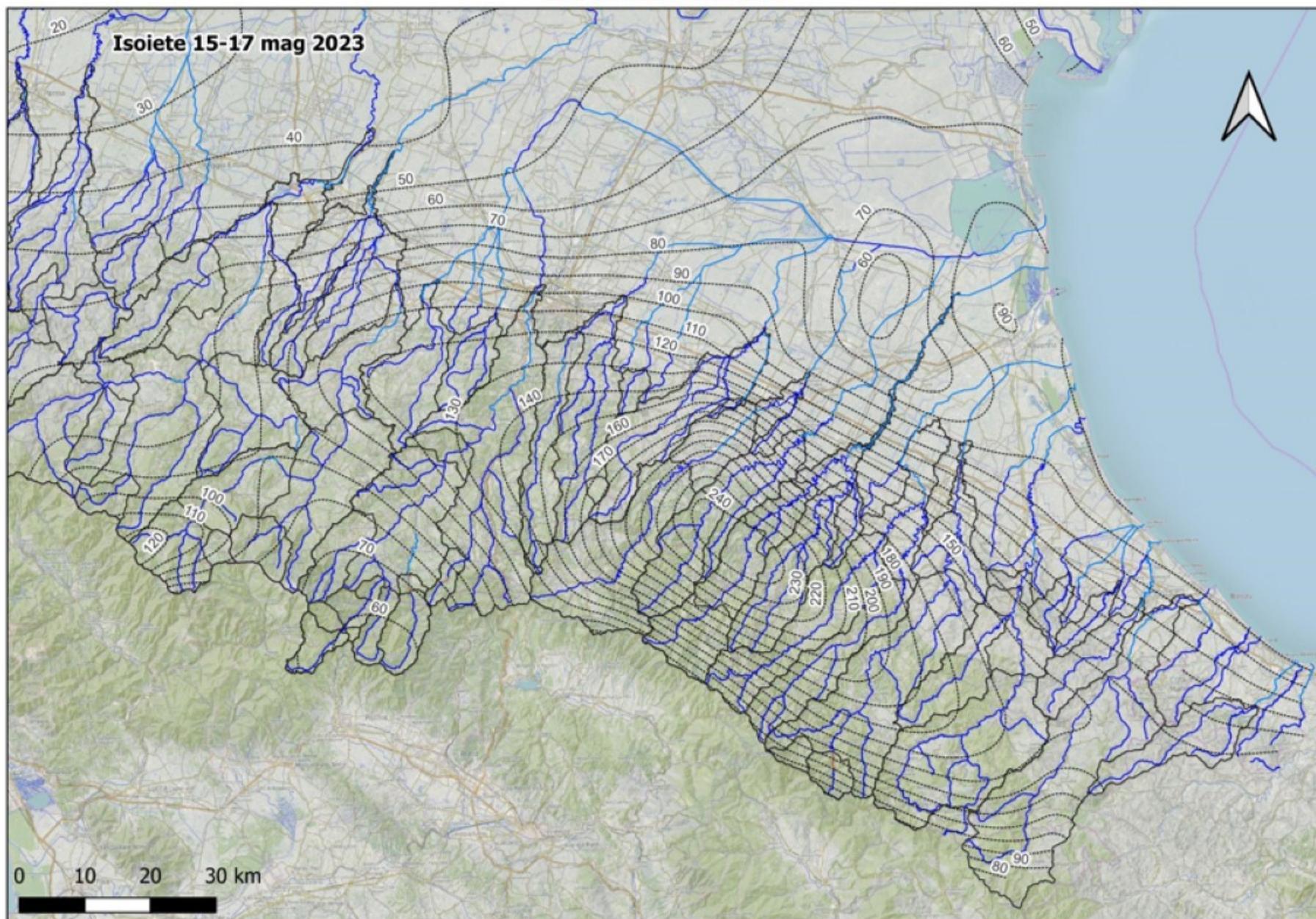
6.2	LE CURVE IDF	118
7	CAMBIAMENTI ATTESI DELLE FORZANTI IDROLOGICHE NEGLI SCENARI CLIMATICI FUTURI	123
7.1	ANALISI DEI CAMBIAMENTI ATTESI NEI VALORI ESTREMI DELLE PIOGGE GIORNALIERE	123
7.2	L'ANALISI STATISTICA DEI CAMBIAMENTI ATTESI NEI VALORI ESTREMI DELLE PIOGGE DI BREVE DURATA	127
7.3	ANALISI DEI CAMBIAMENTI ATTESI NELLE CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA	135
8	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	139
8.1	SINTESI DELLE PRINCIPALI RISULTANZE DELLO STUDIO	139
8.2	RACCOMANDAZIONI SULLE MISURE DI RIDUZIONE DEL RISCHIO	140
8.2.1	Interventi non strutturali	141
8.2.2	Interventi strutturali	142
9	RINGRAZIAMENTI	145
10	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	146

CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA DELL'EVENTO

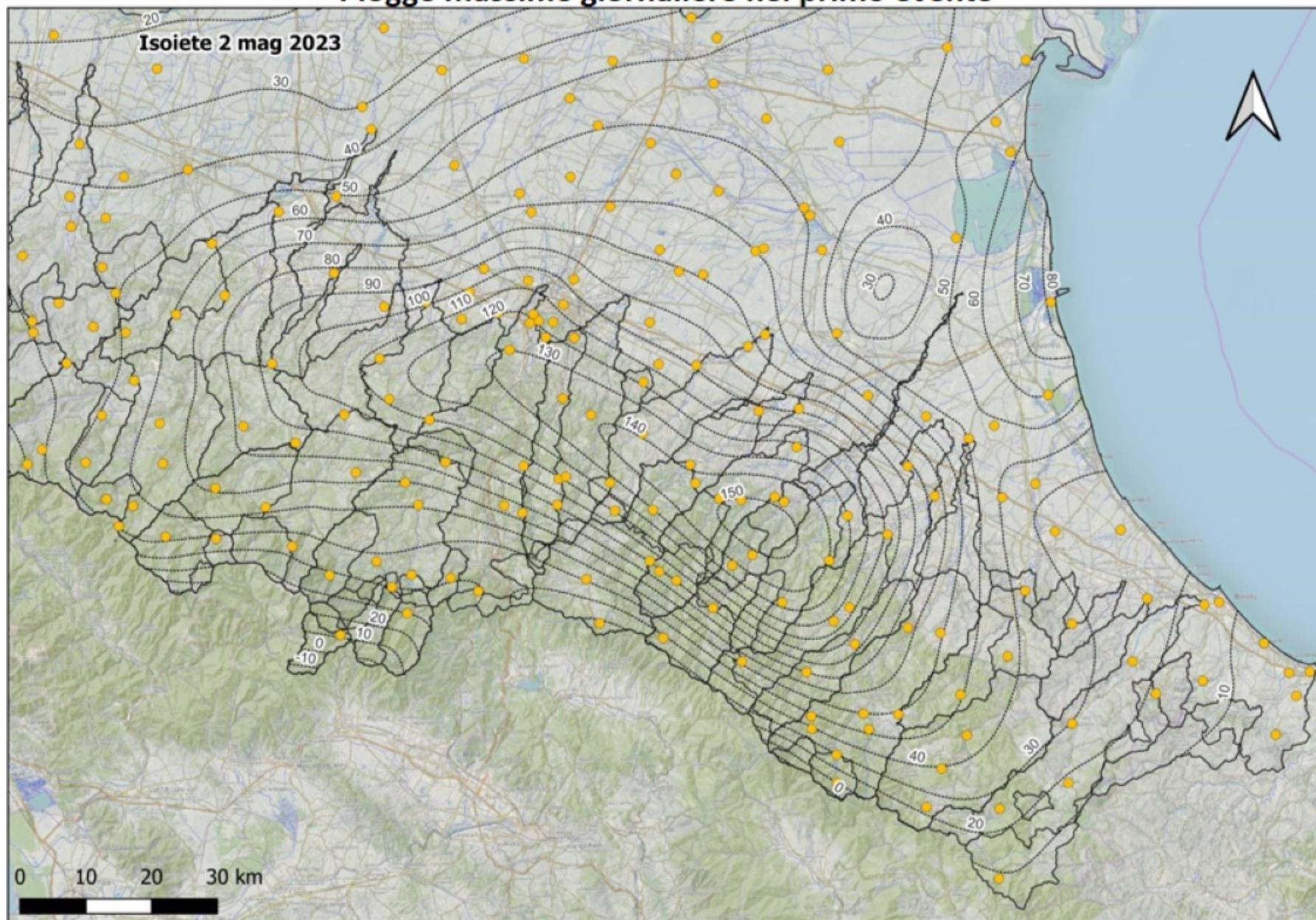
Primo evento



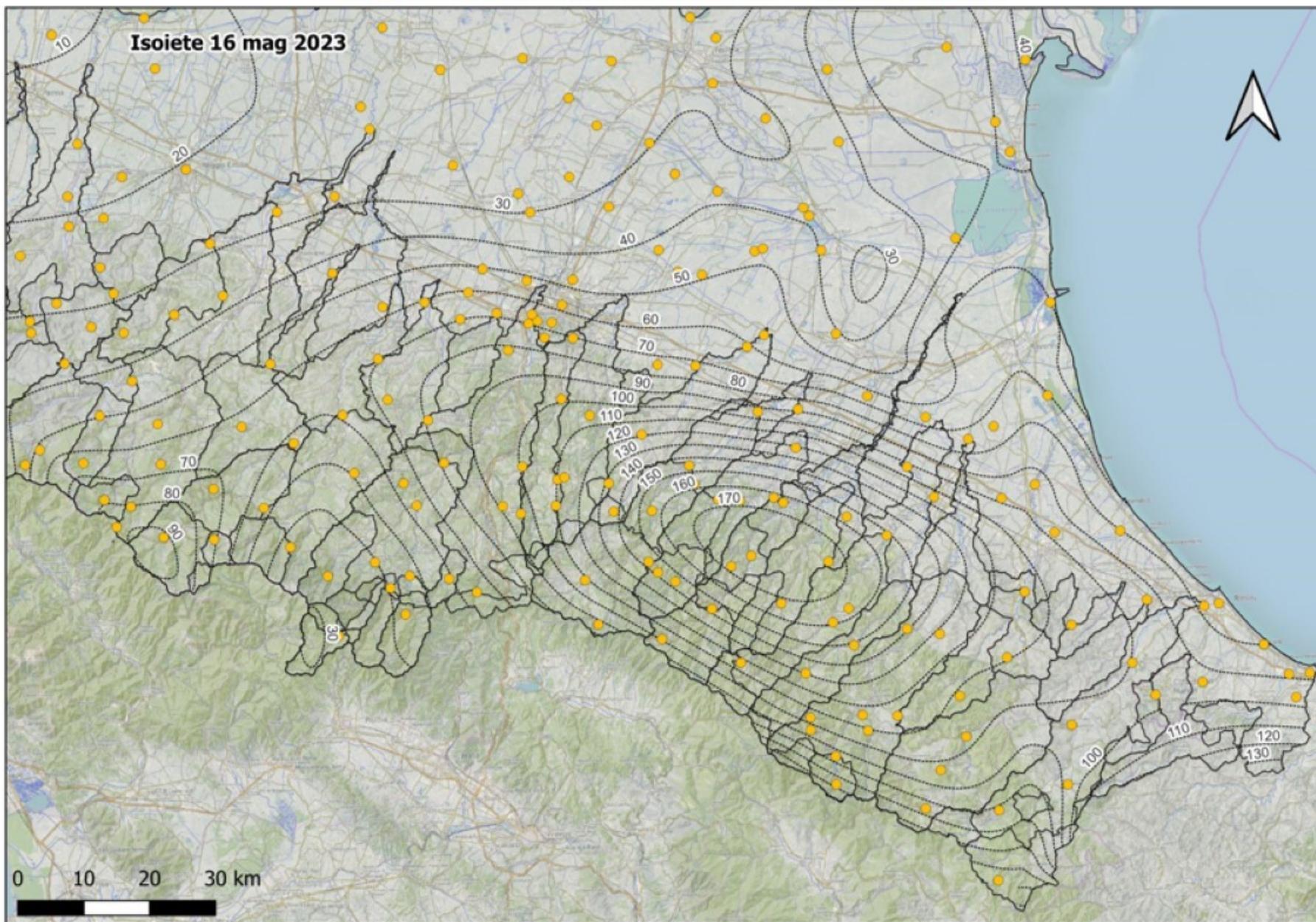
Secondo evento



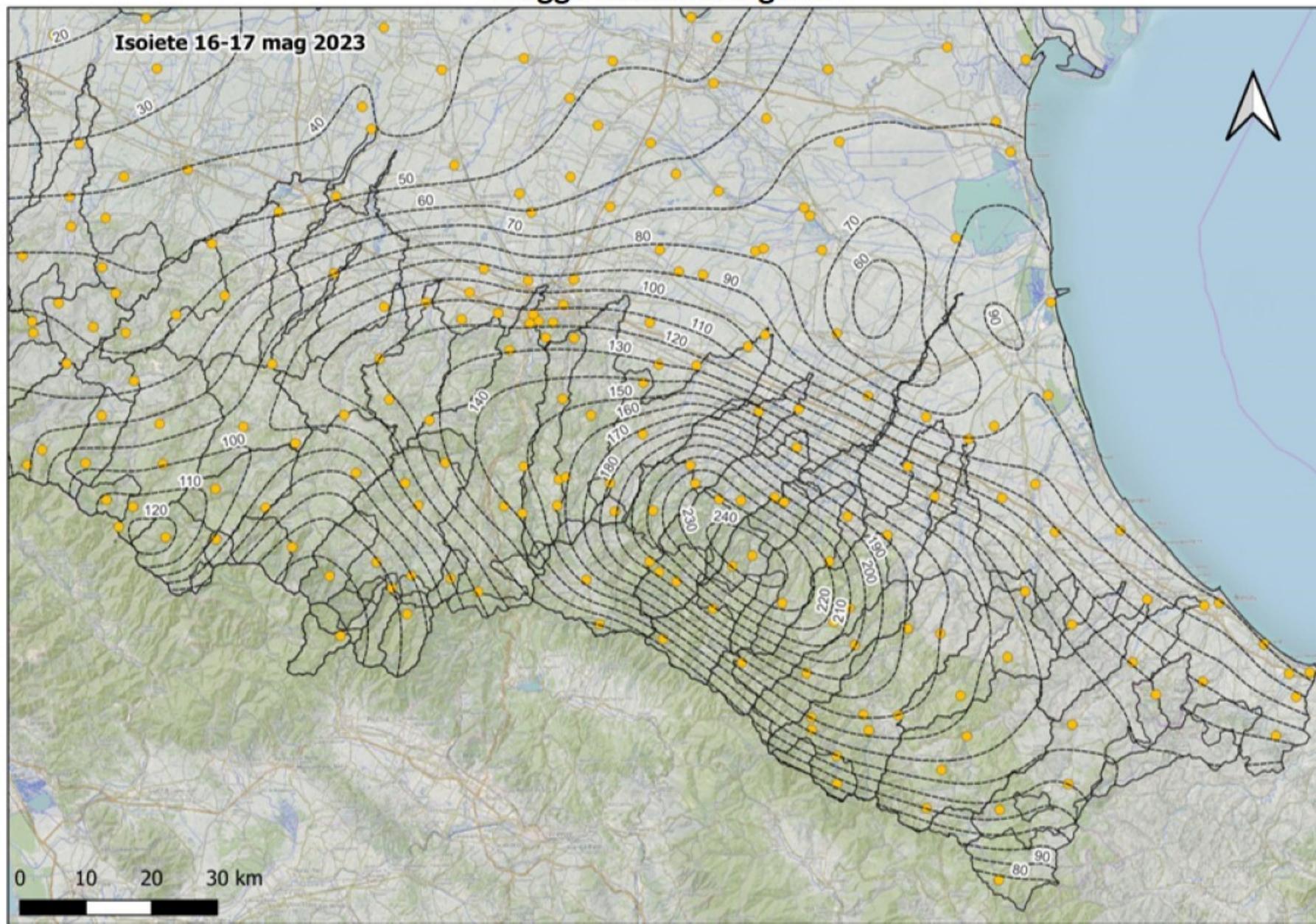
Piogge massime giornaliere nel primo evento



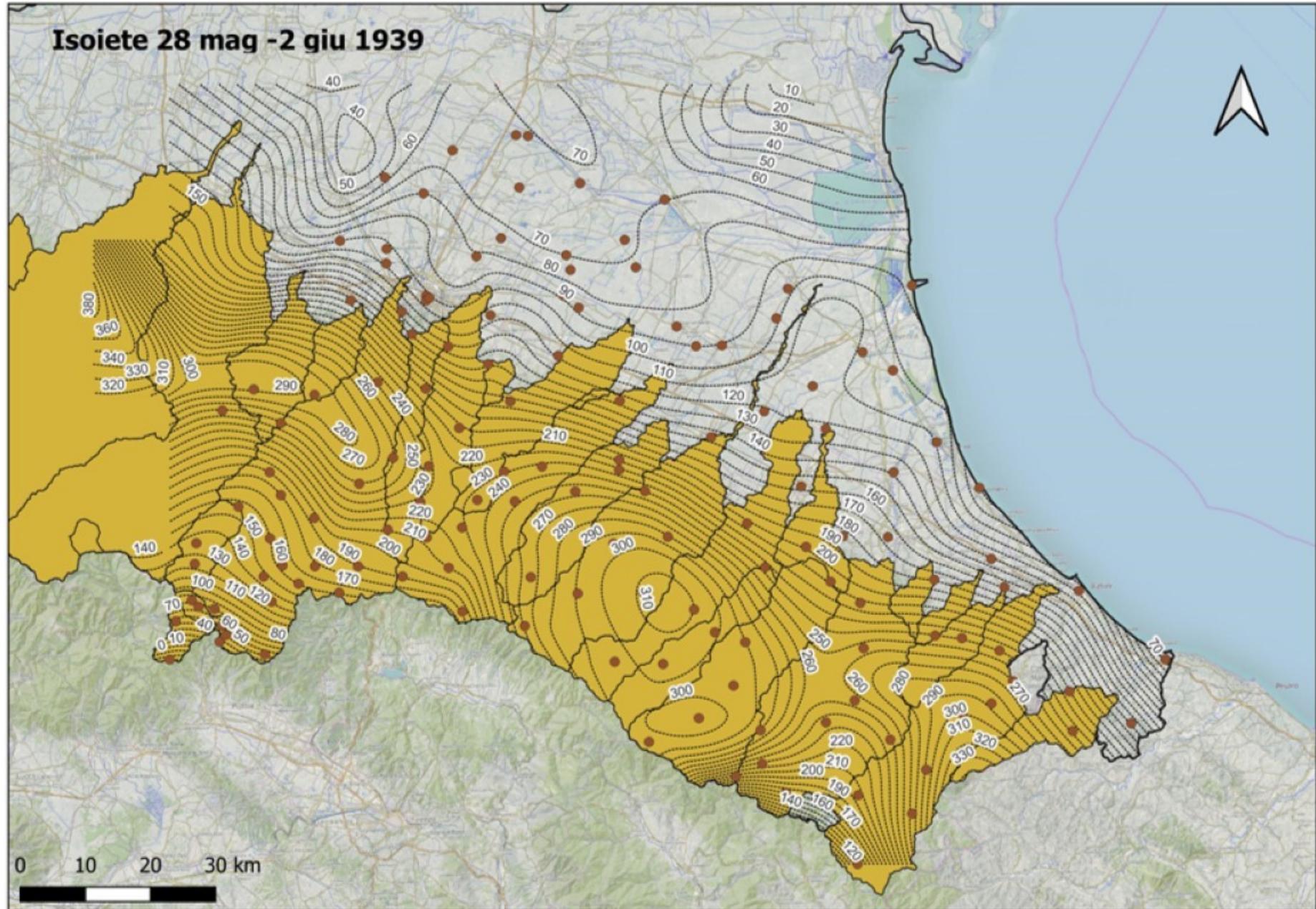
Piogge massime giornaliere nel secondo evento

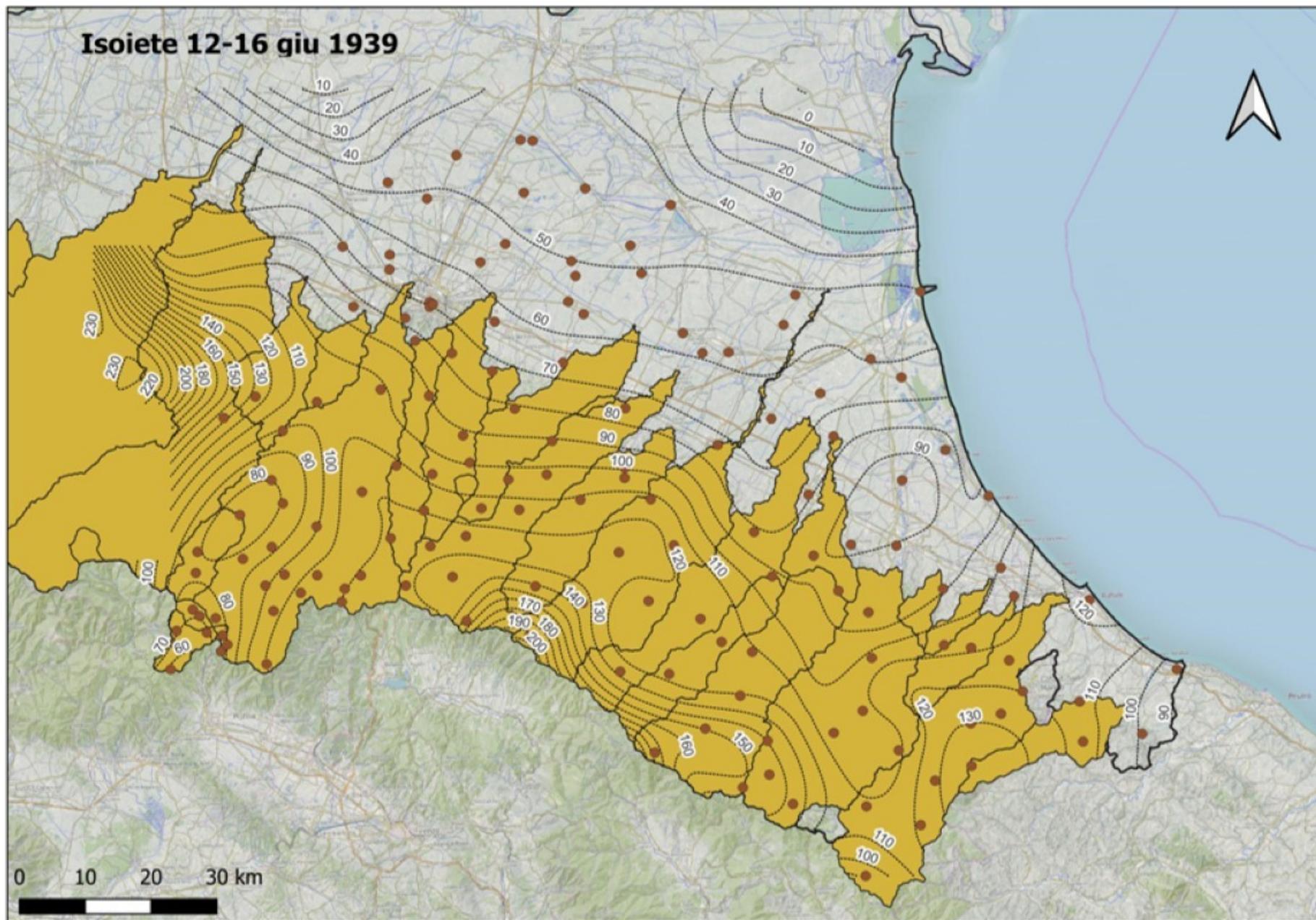


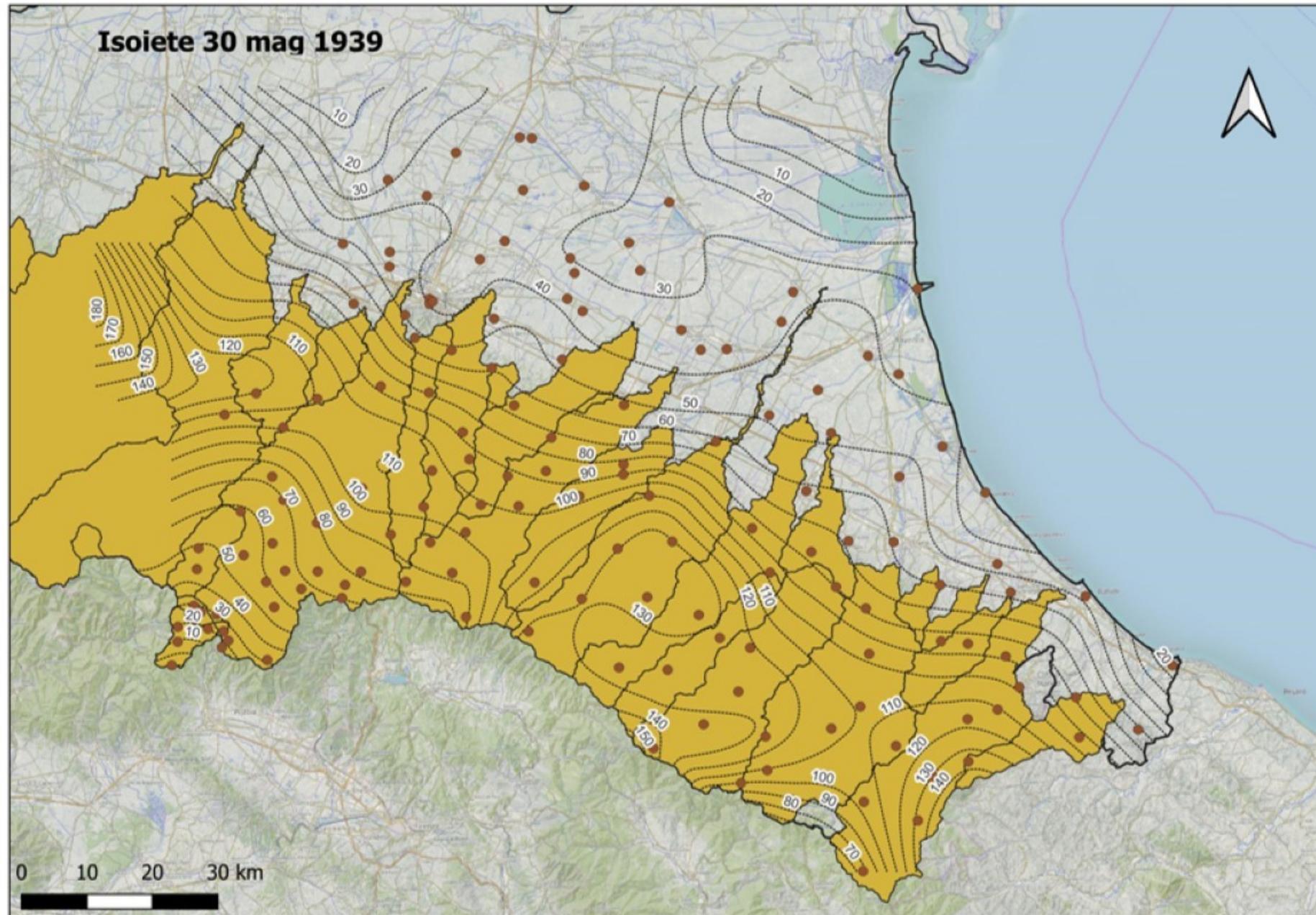
Piogge massime 2 giorni

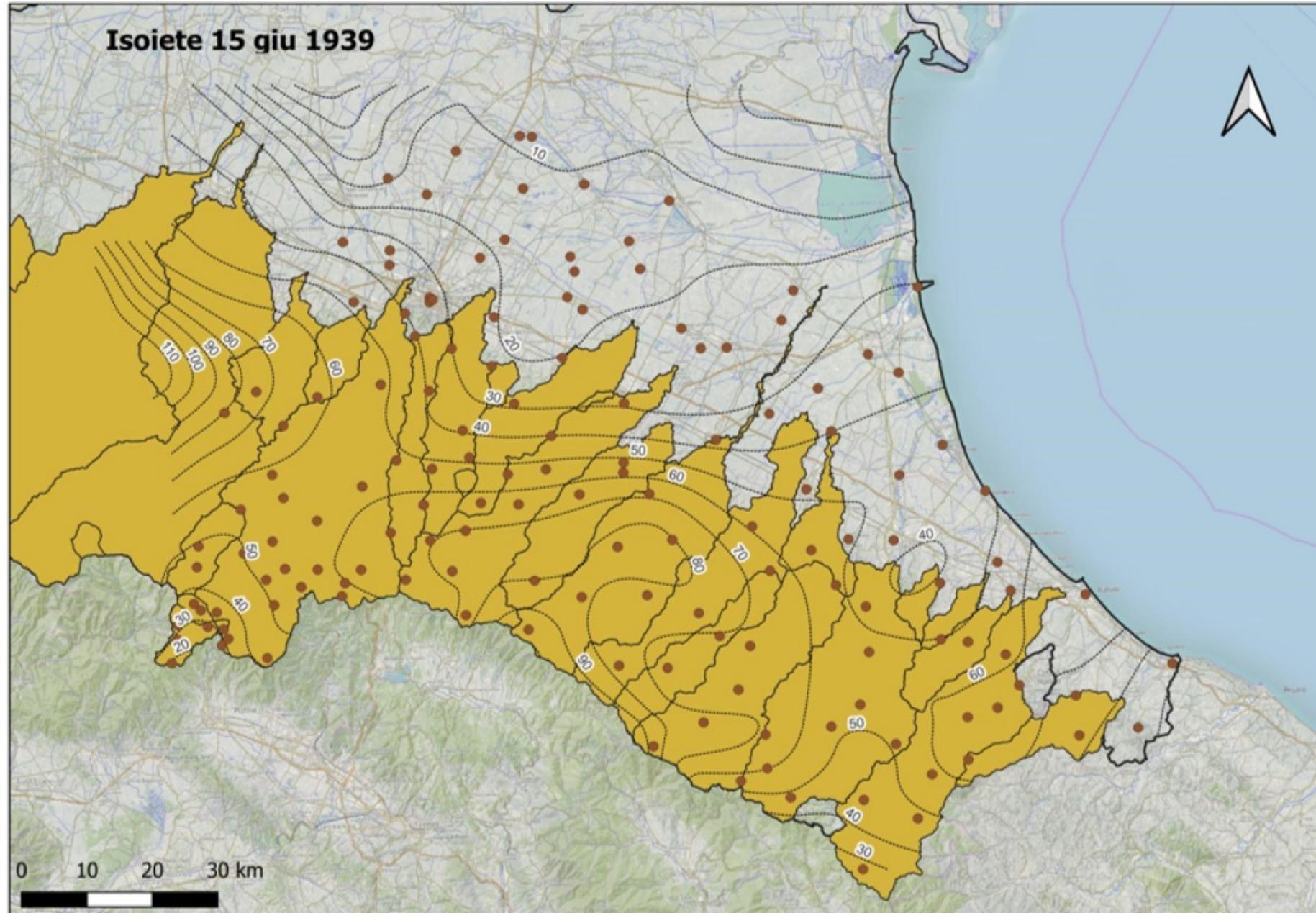


L'evento del 1939



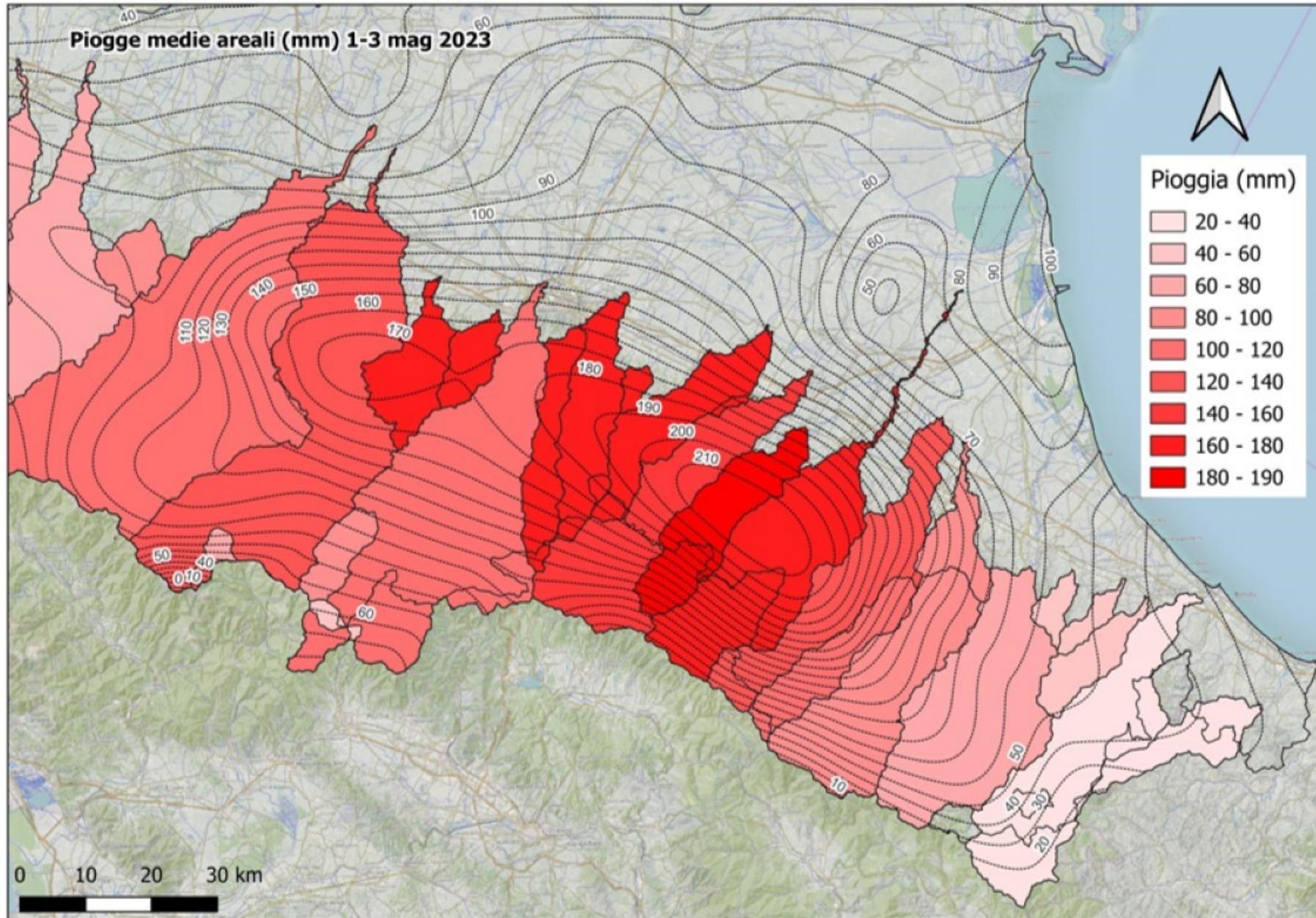




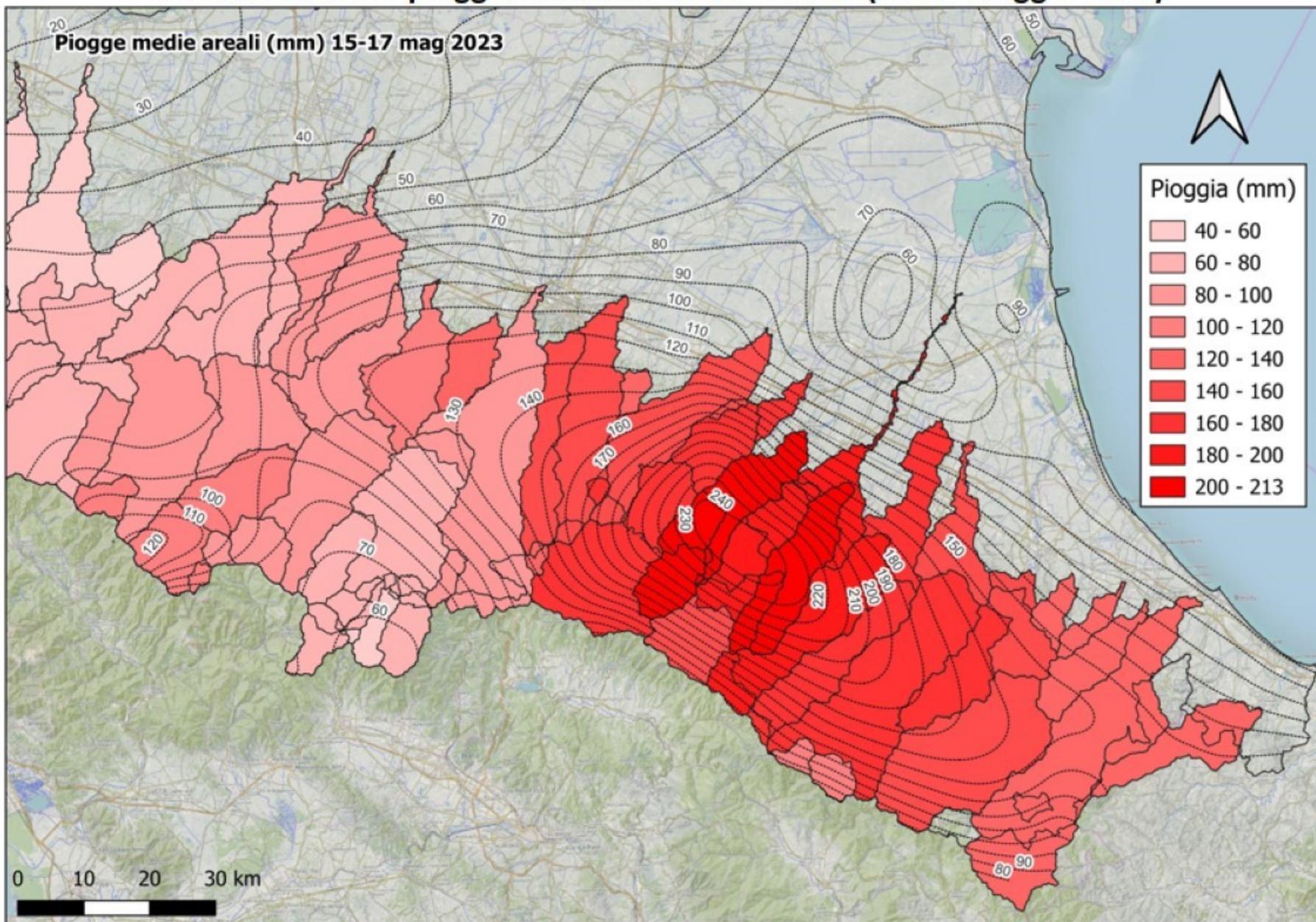


Valutazione piogge medie areali Evento 2023

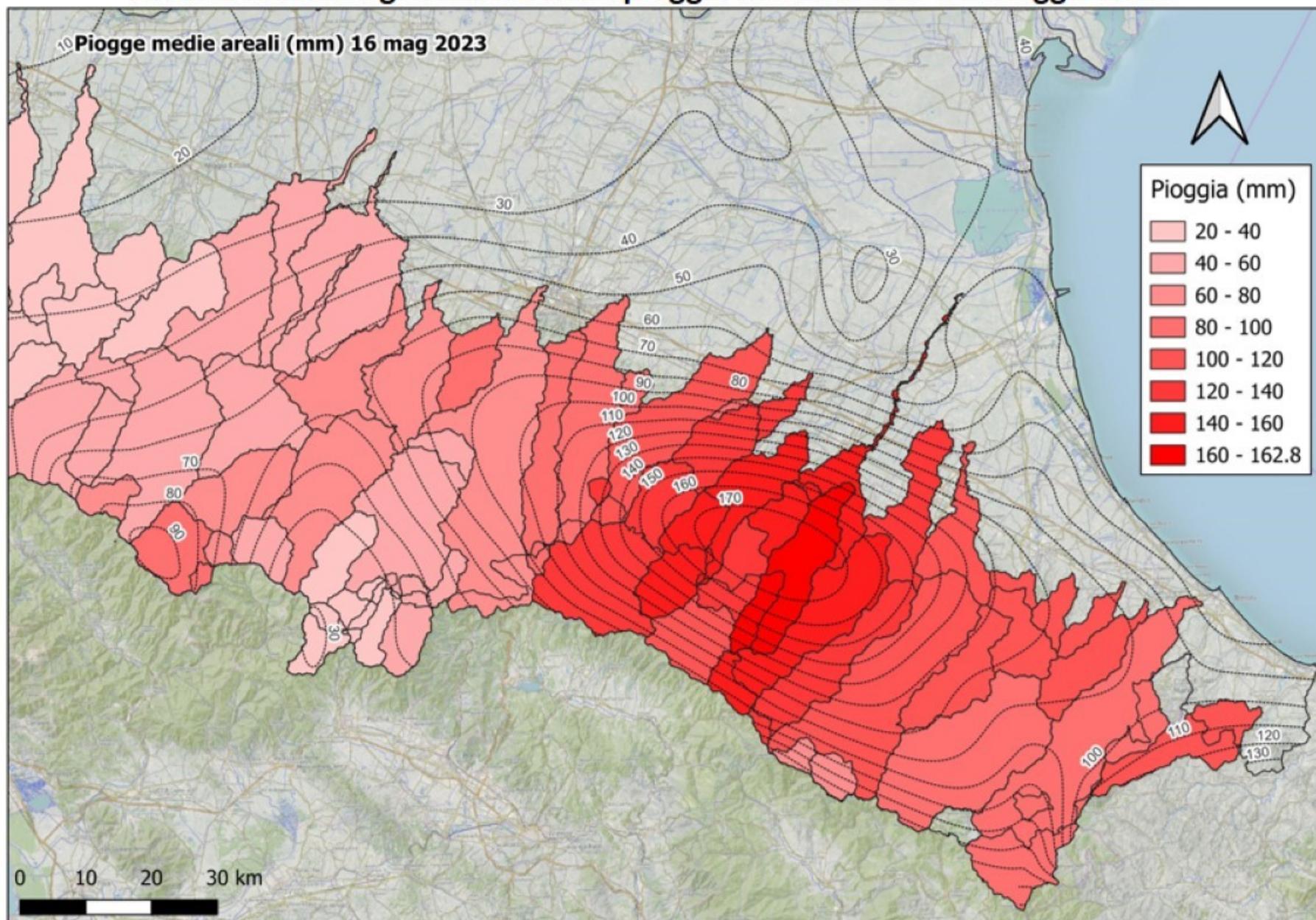
Altezza totale di pioggia media areale 1° evento (1-3 maggio 2023)



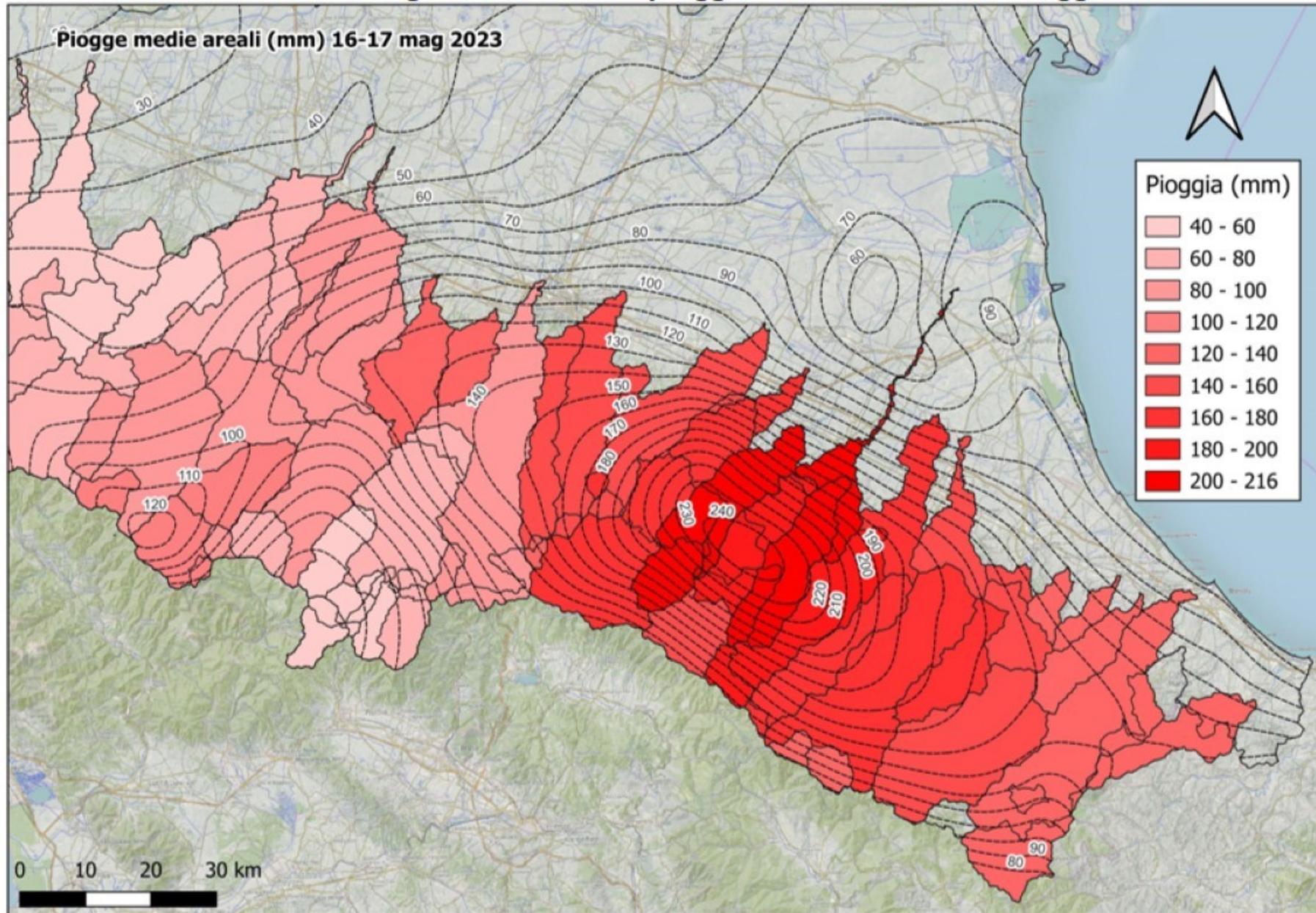
Altezza totale di pioggia media areale 2° evento (15-17 maggio 2023)



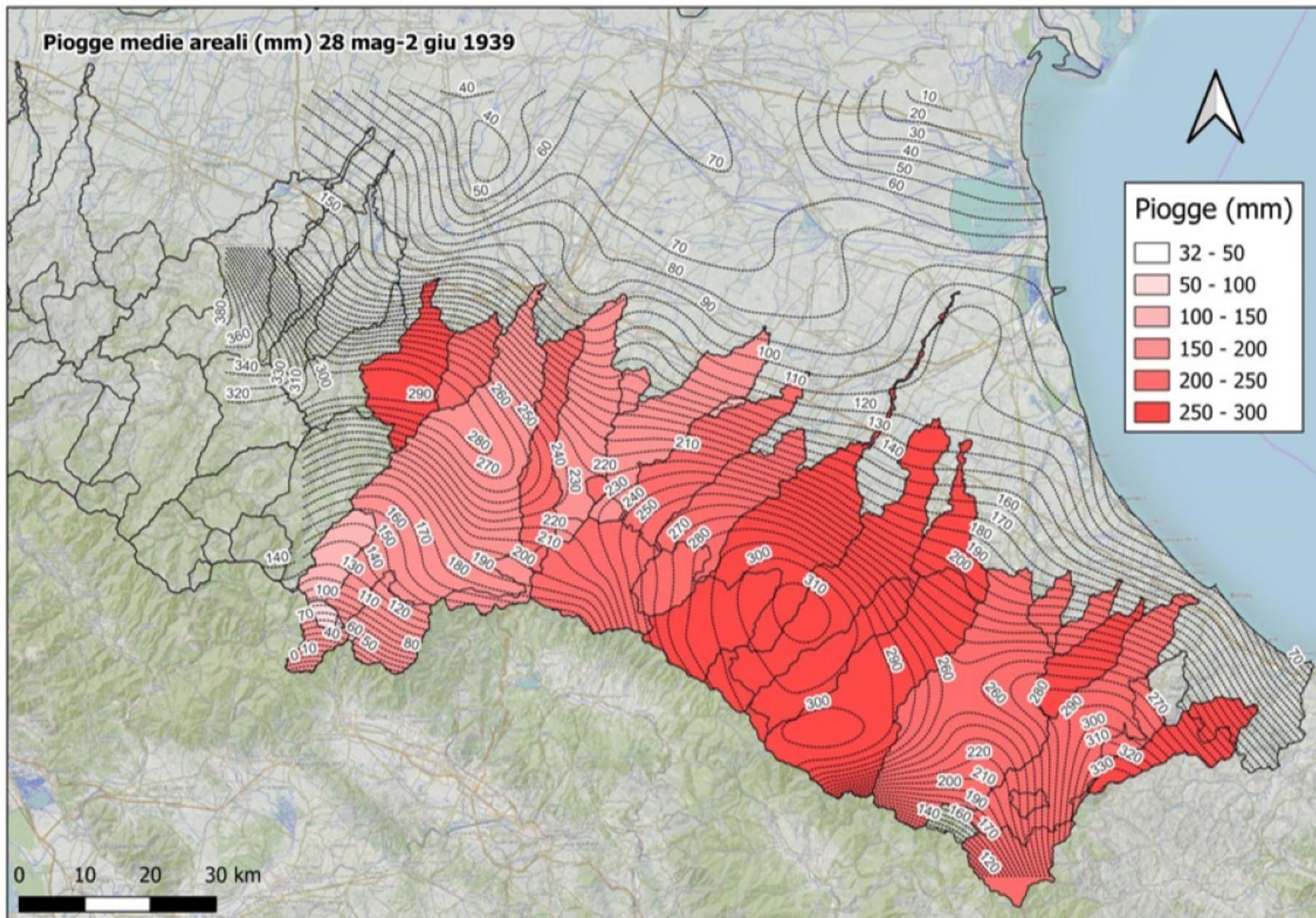
Altezza massima giornaliera della pioggia media areale del maggio 2023



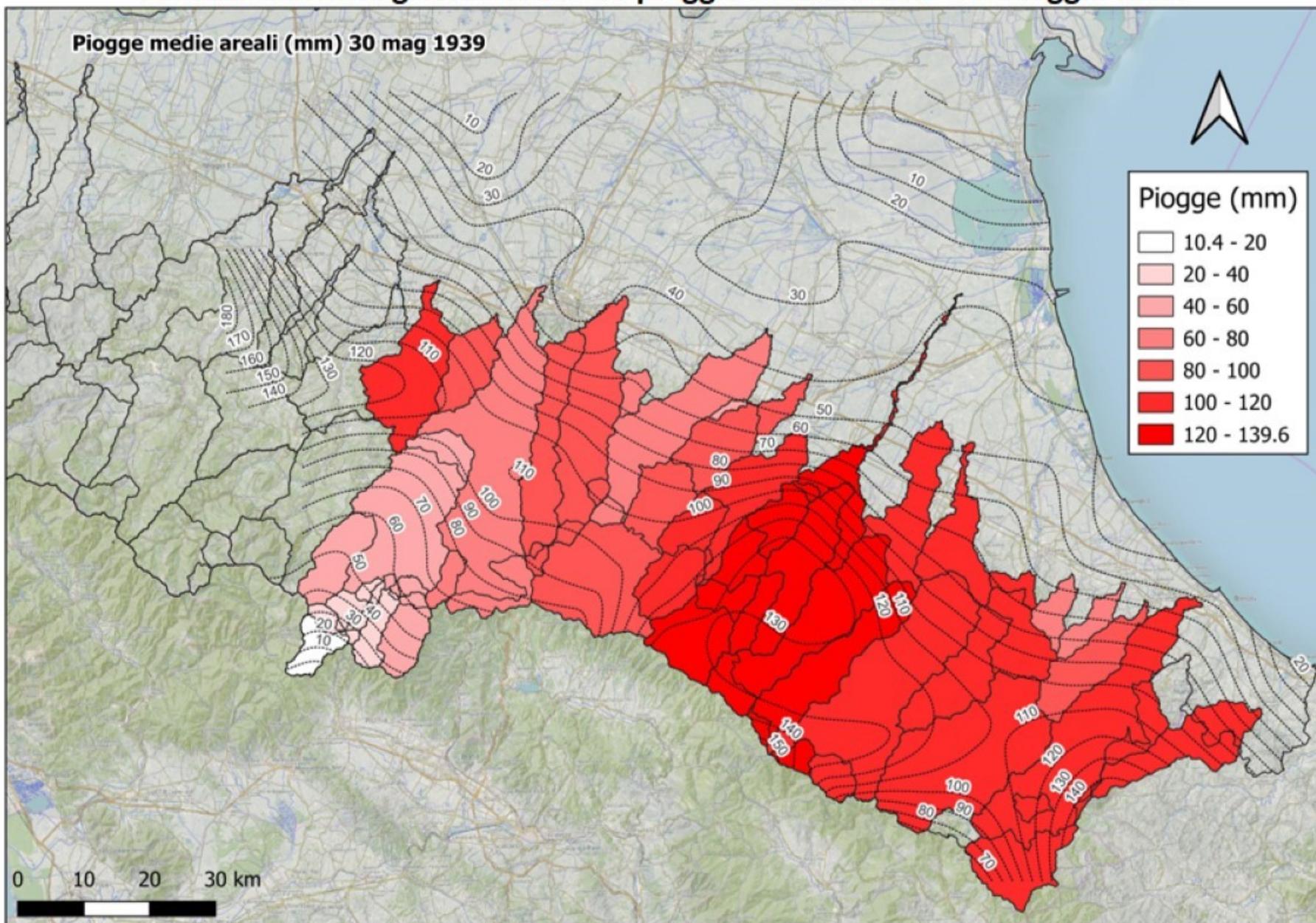
Altezza massima bigiornaliera della pioggia media areale del maggio 2023



Altezza totale di pioggia media areale evento maggio 1939

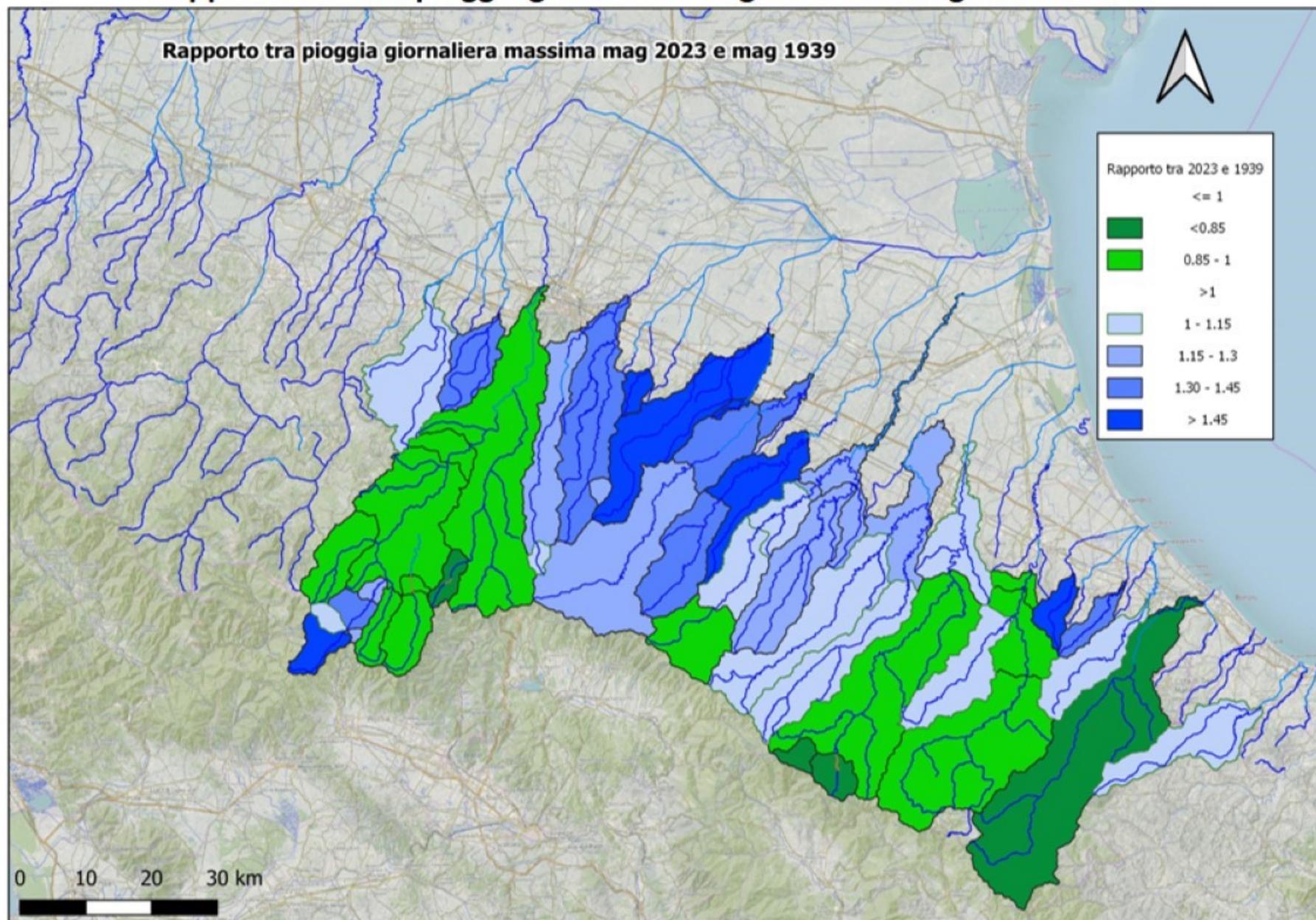


Altezza massima giornaliera della pioggia media areale del maggio 1939



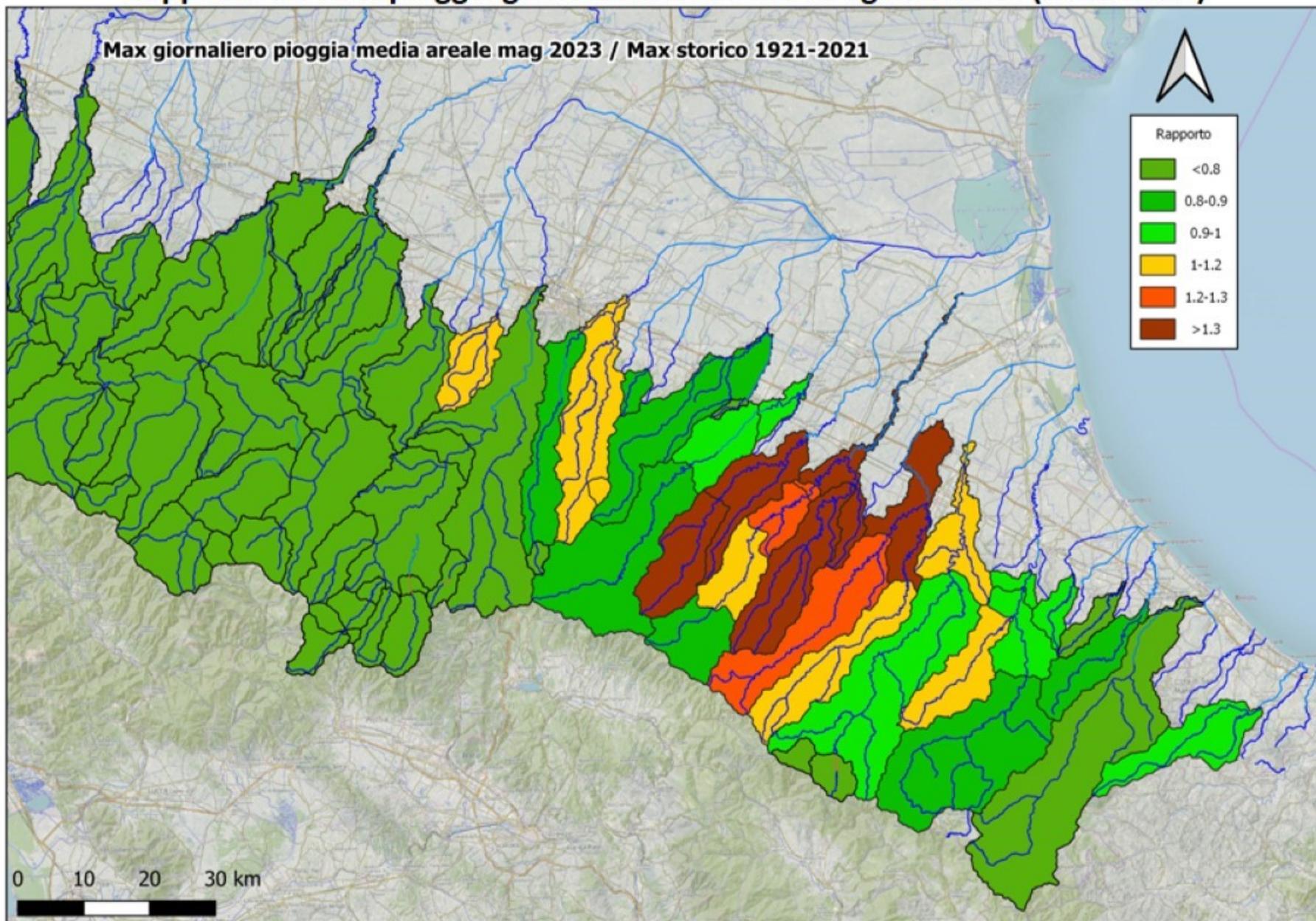
Sintesi confronto maggio 2023 – maggio 1939

Rapporto tra max pioggia giornaliera mag2023 e max 1g evento 1939

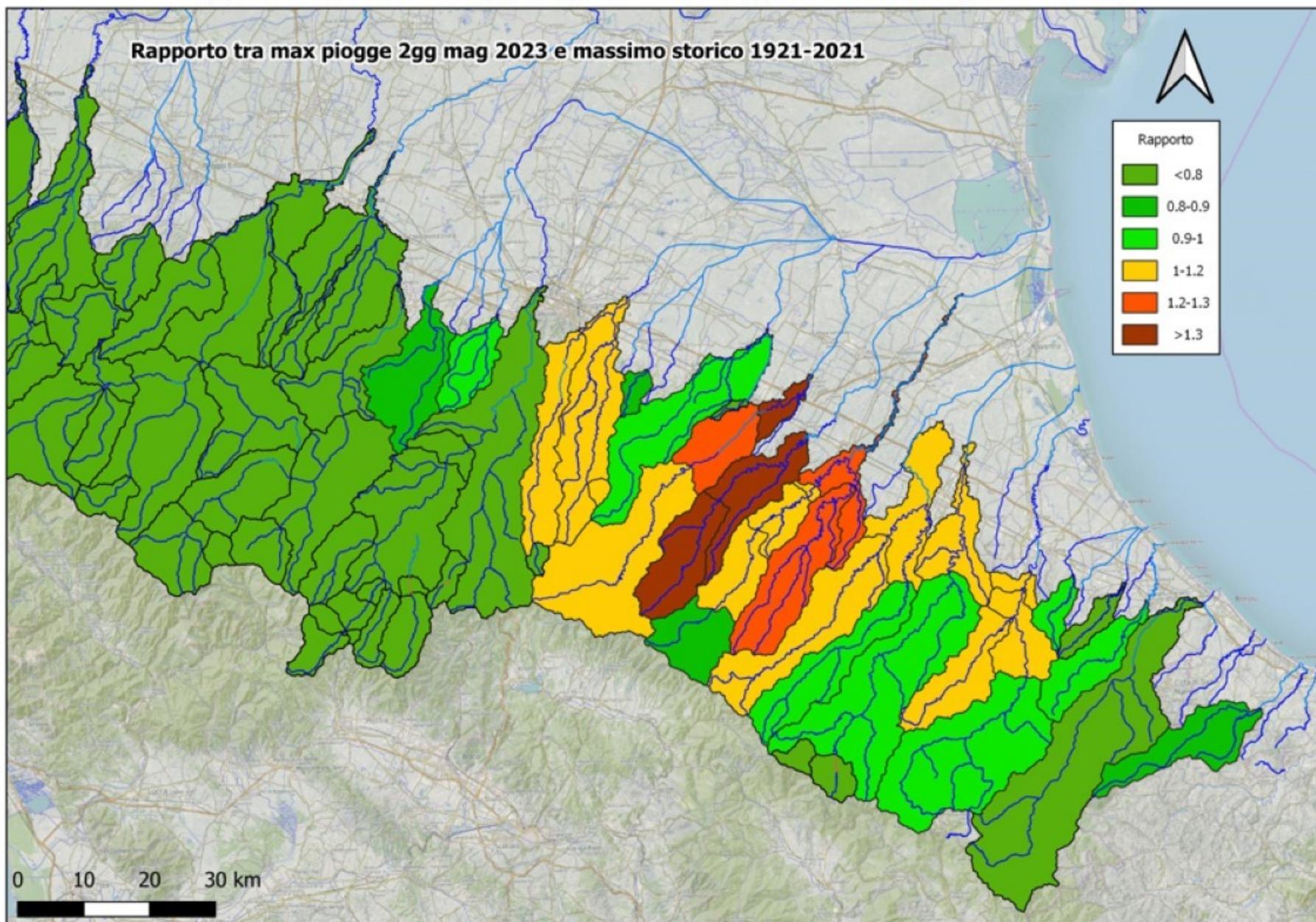


Sintesi confronto maggio 2023 – massimo storico precedente (pioggia massima giornaliera e bigiornaliera)

Rapporto tra max pioggia giornaliera 2023 e max Pgor storica (1921-2021)



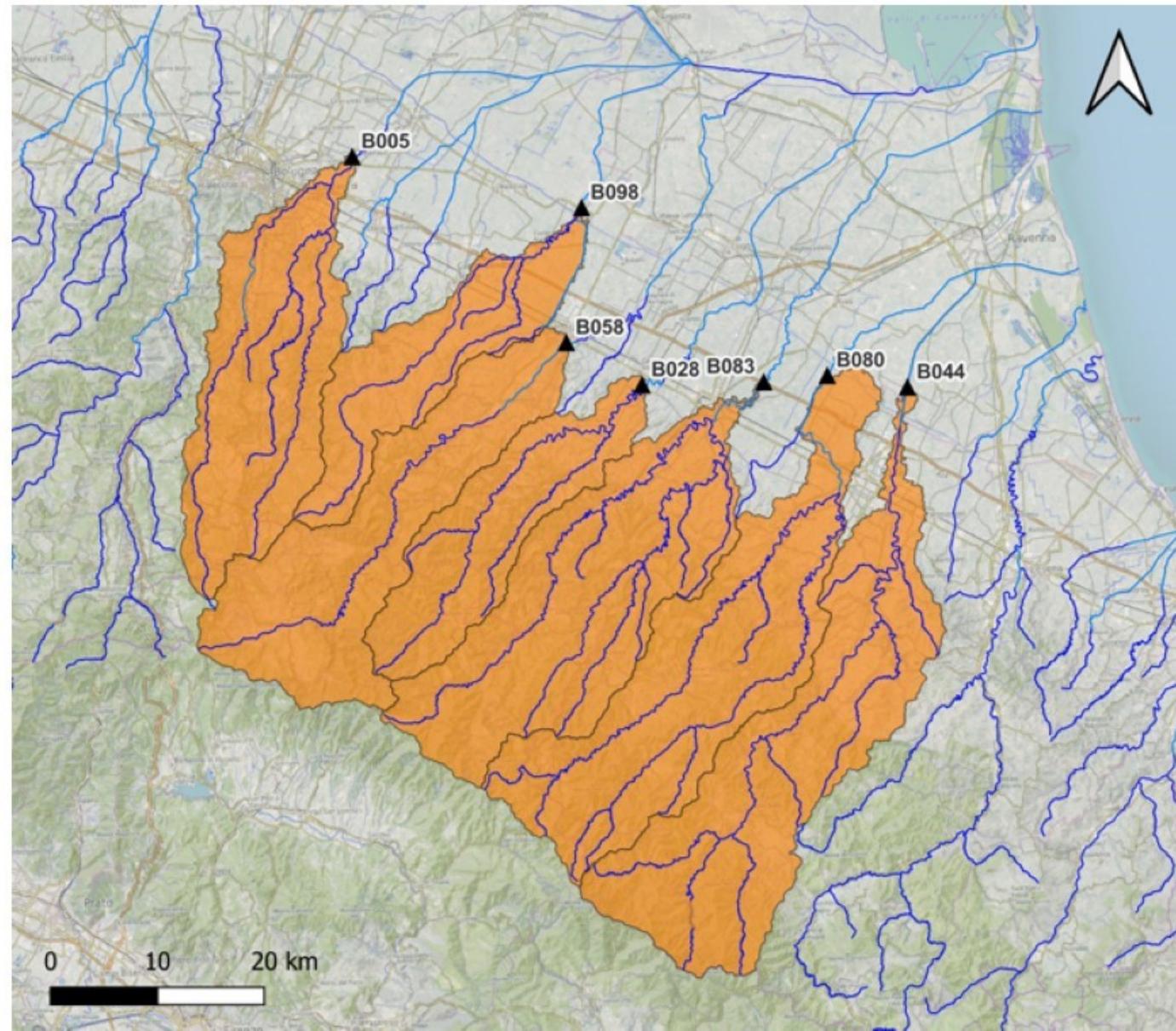
Rapporto tra max P 2gg mag 2023 e P 2gg max storica (1921-2021)

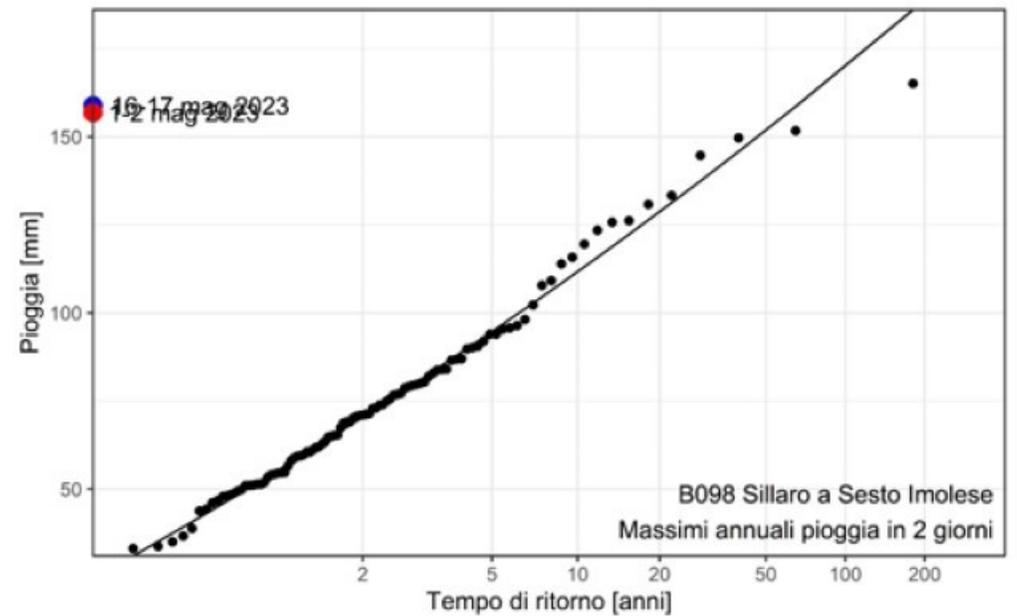
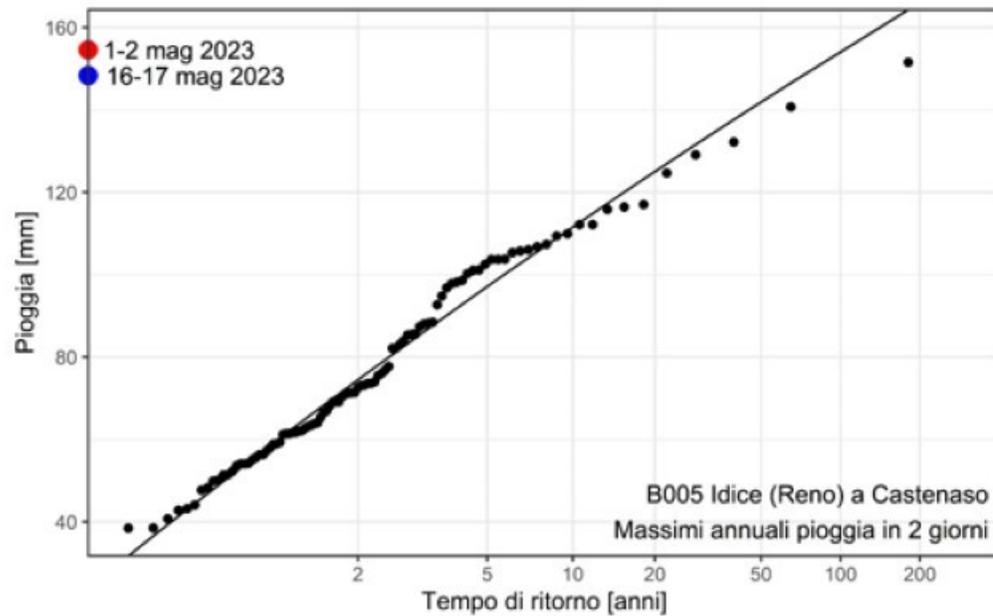
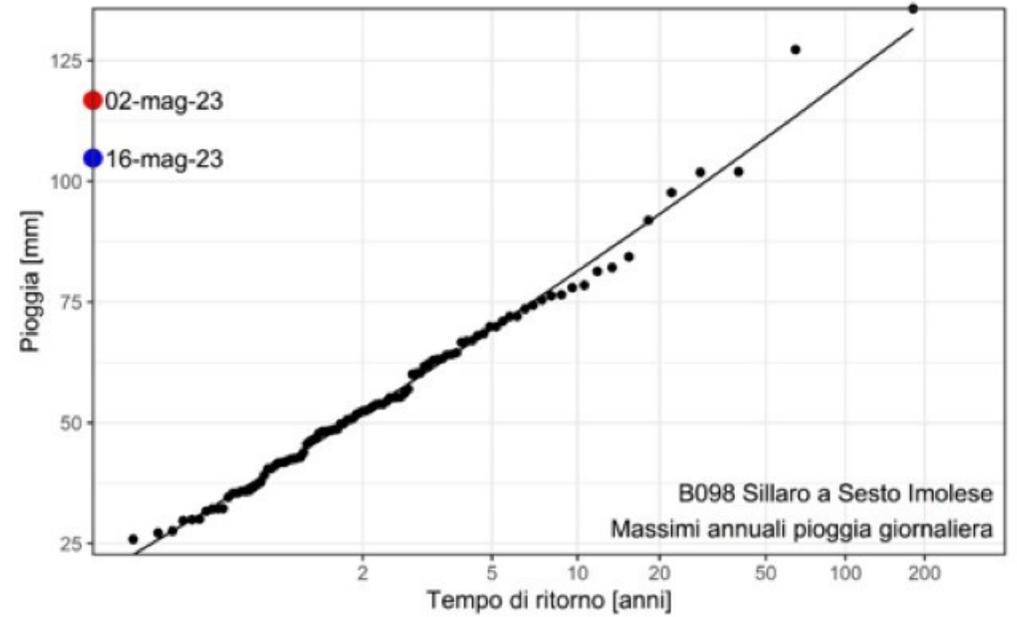
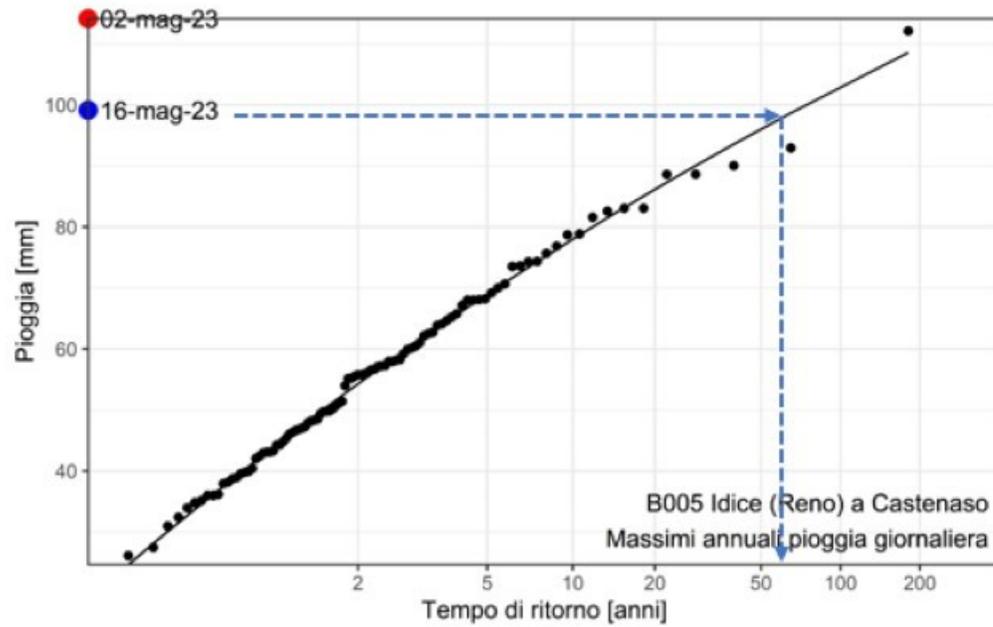


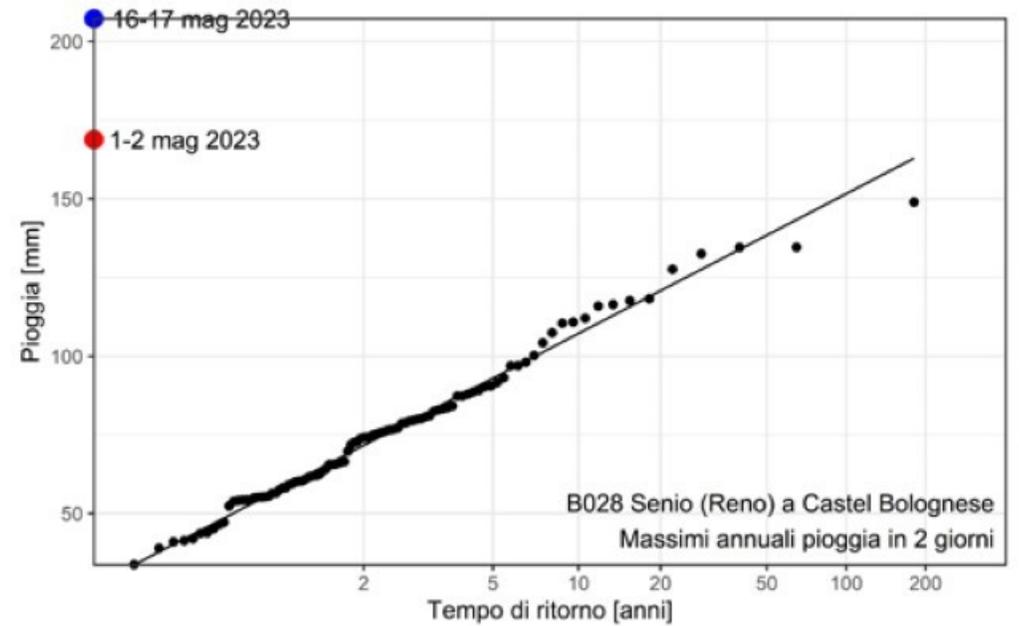
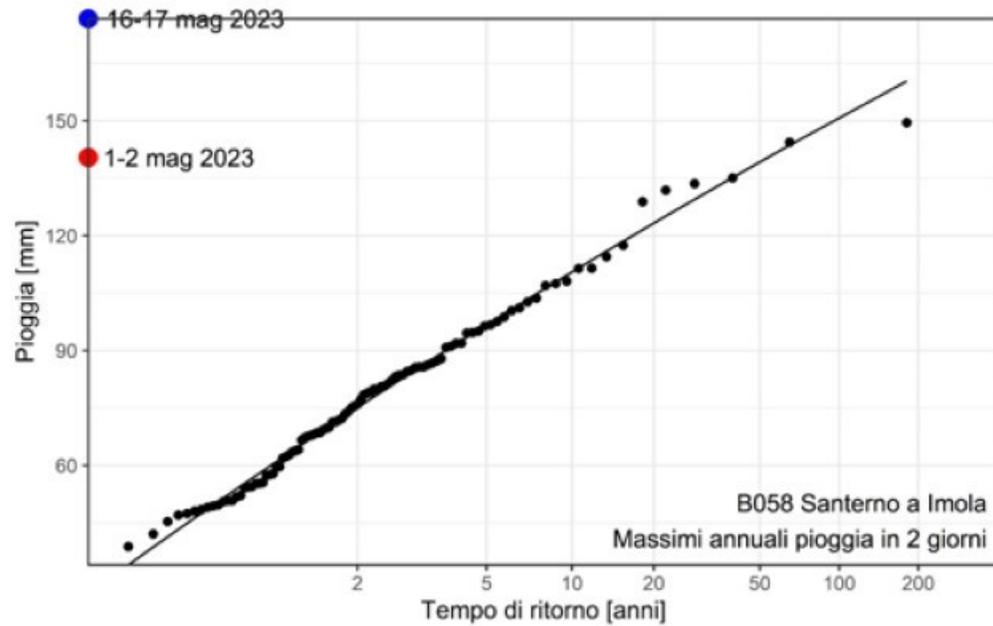
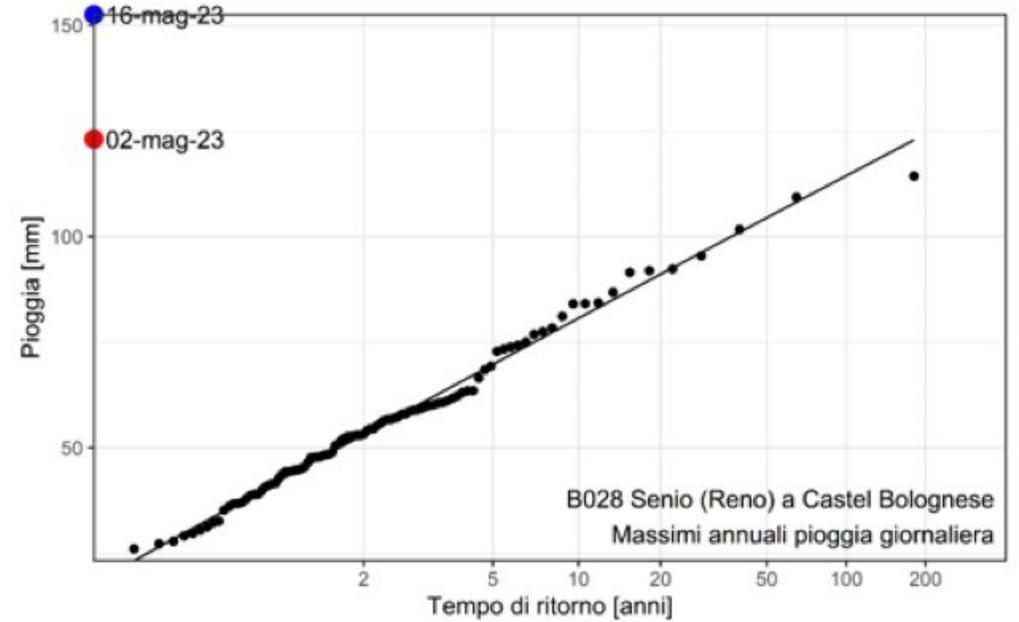
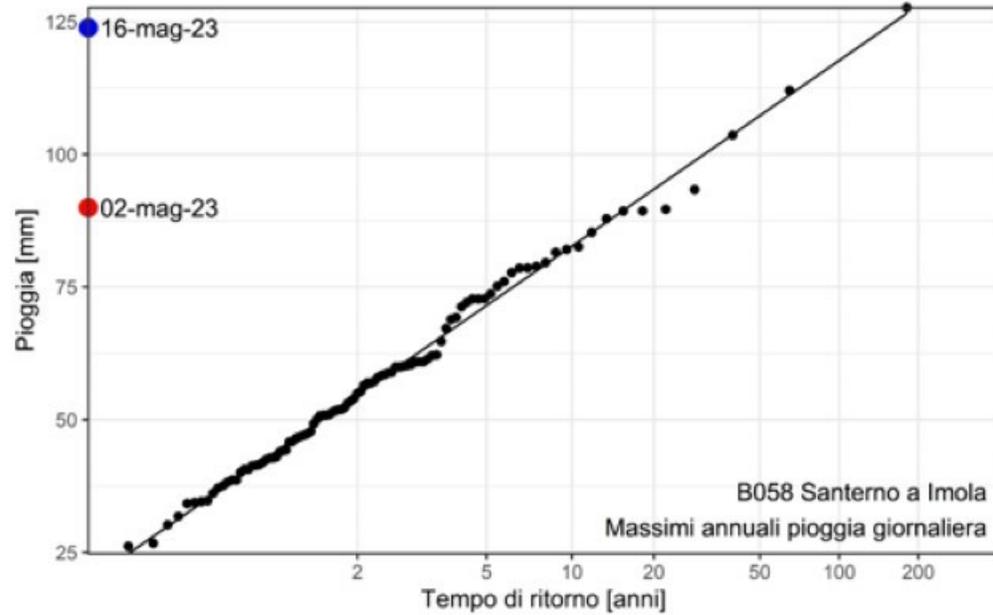
Tempo di ritorno delle piogge dell'evento del maggio 2023

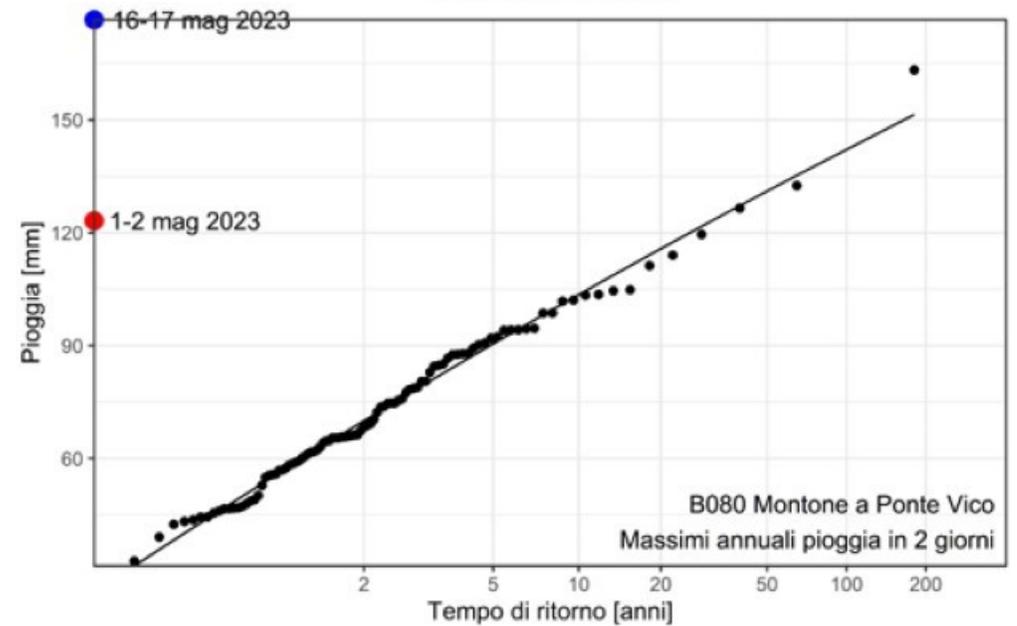
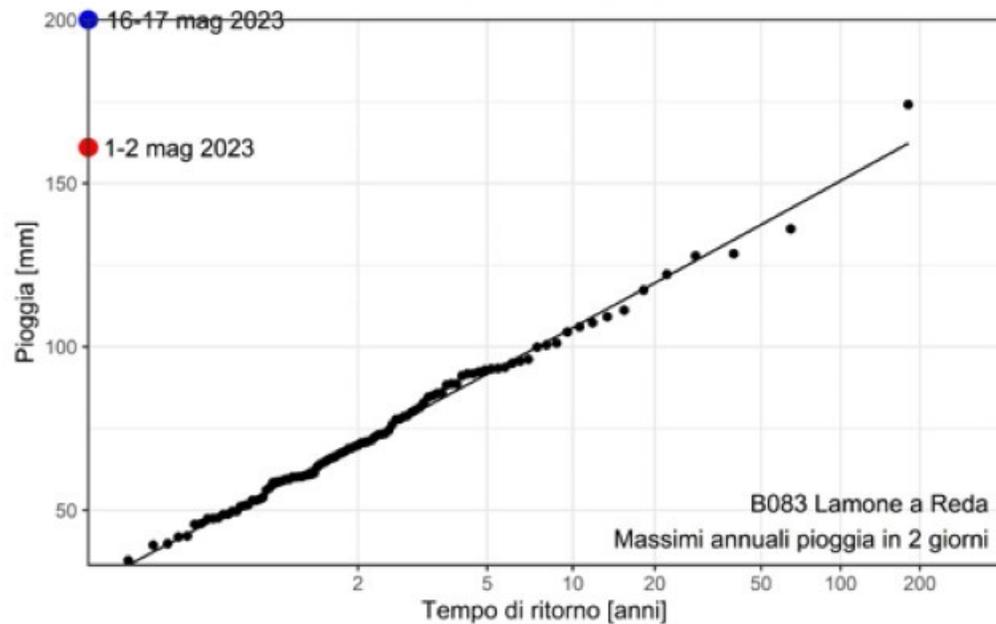
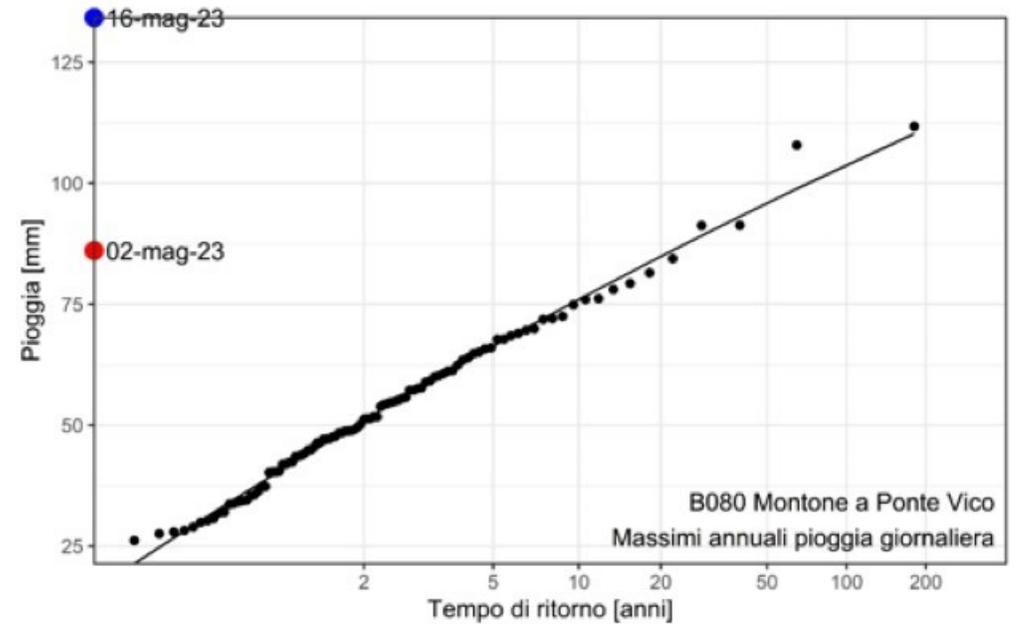
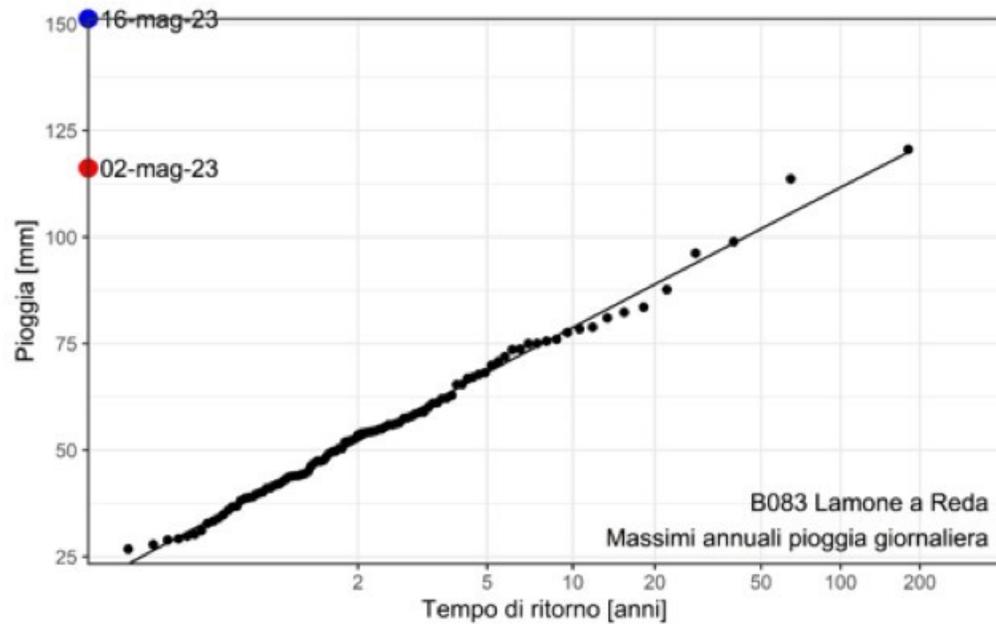
(base dati 1921-2023)

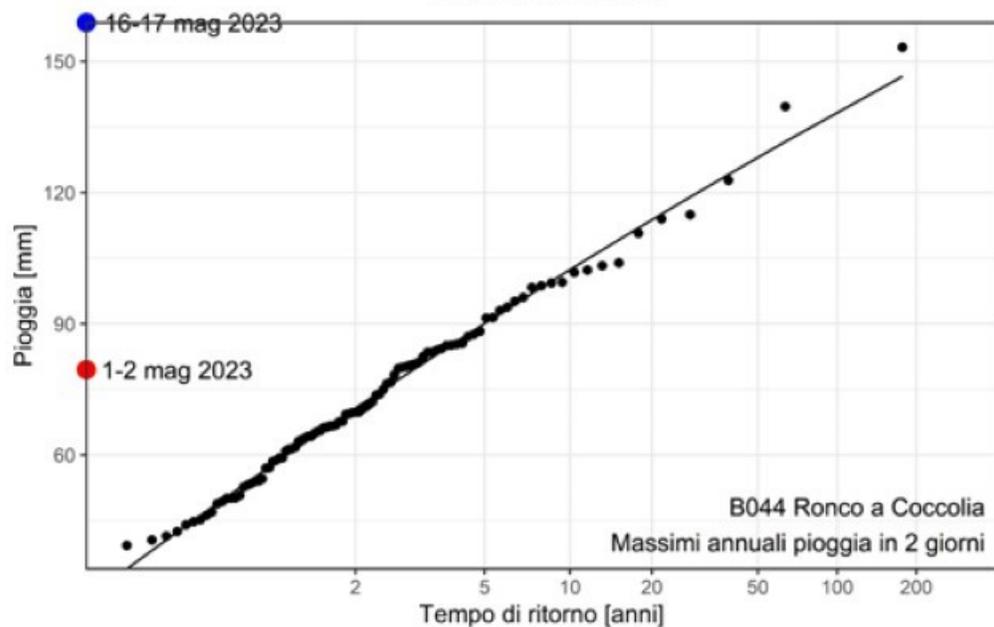
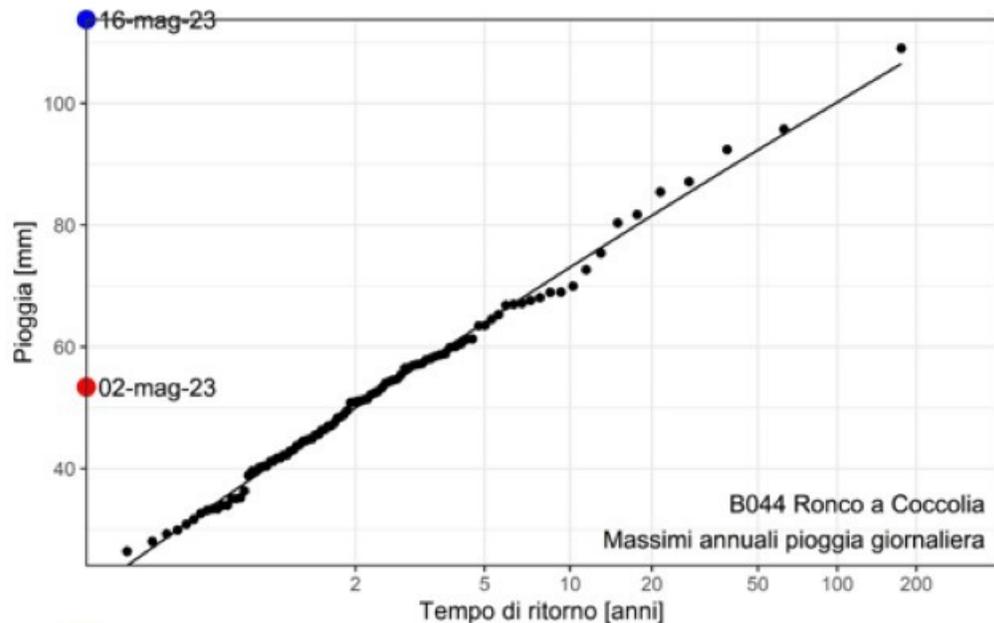
I 7 bacini rappresentativi







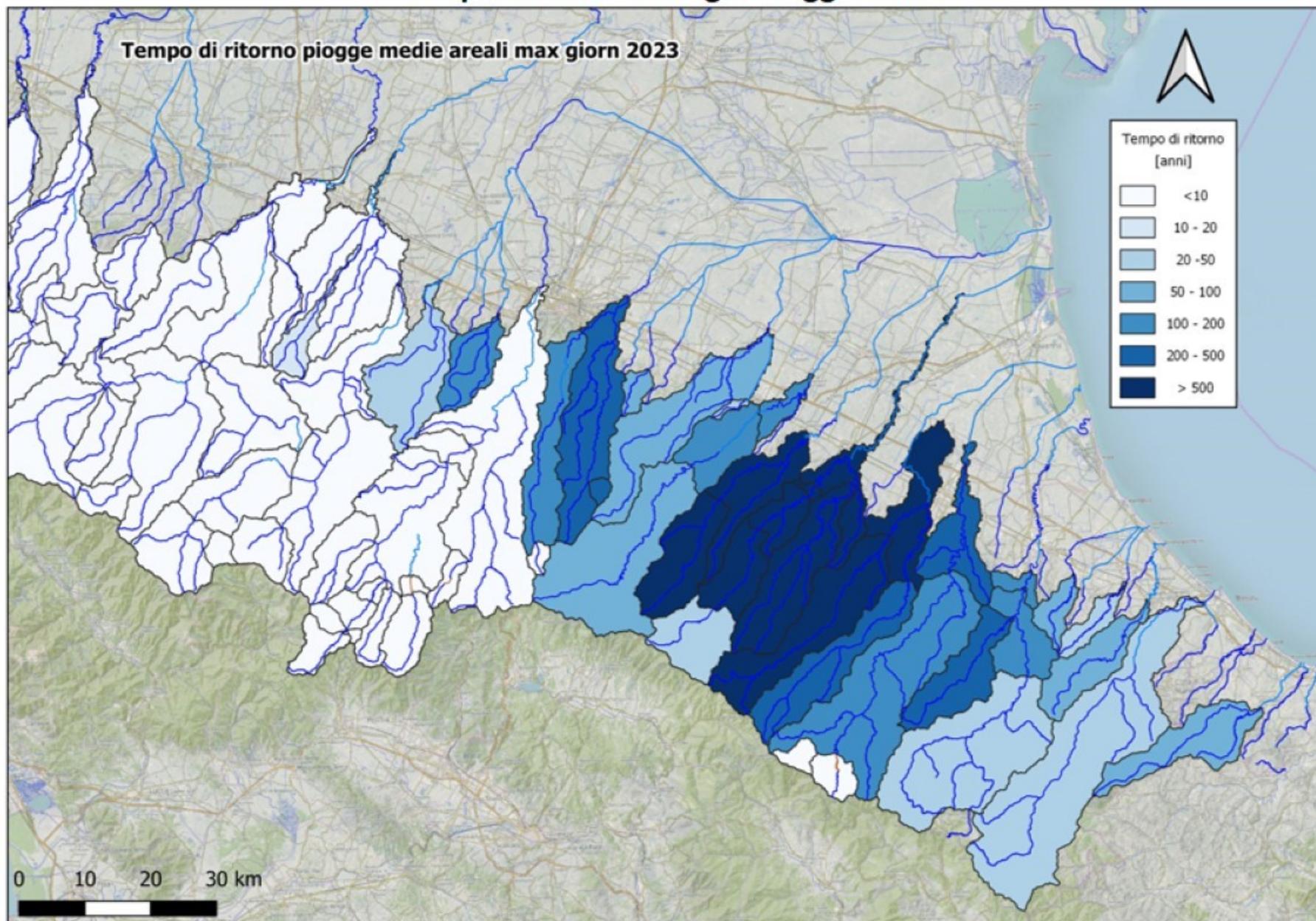




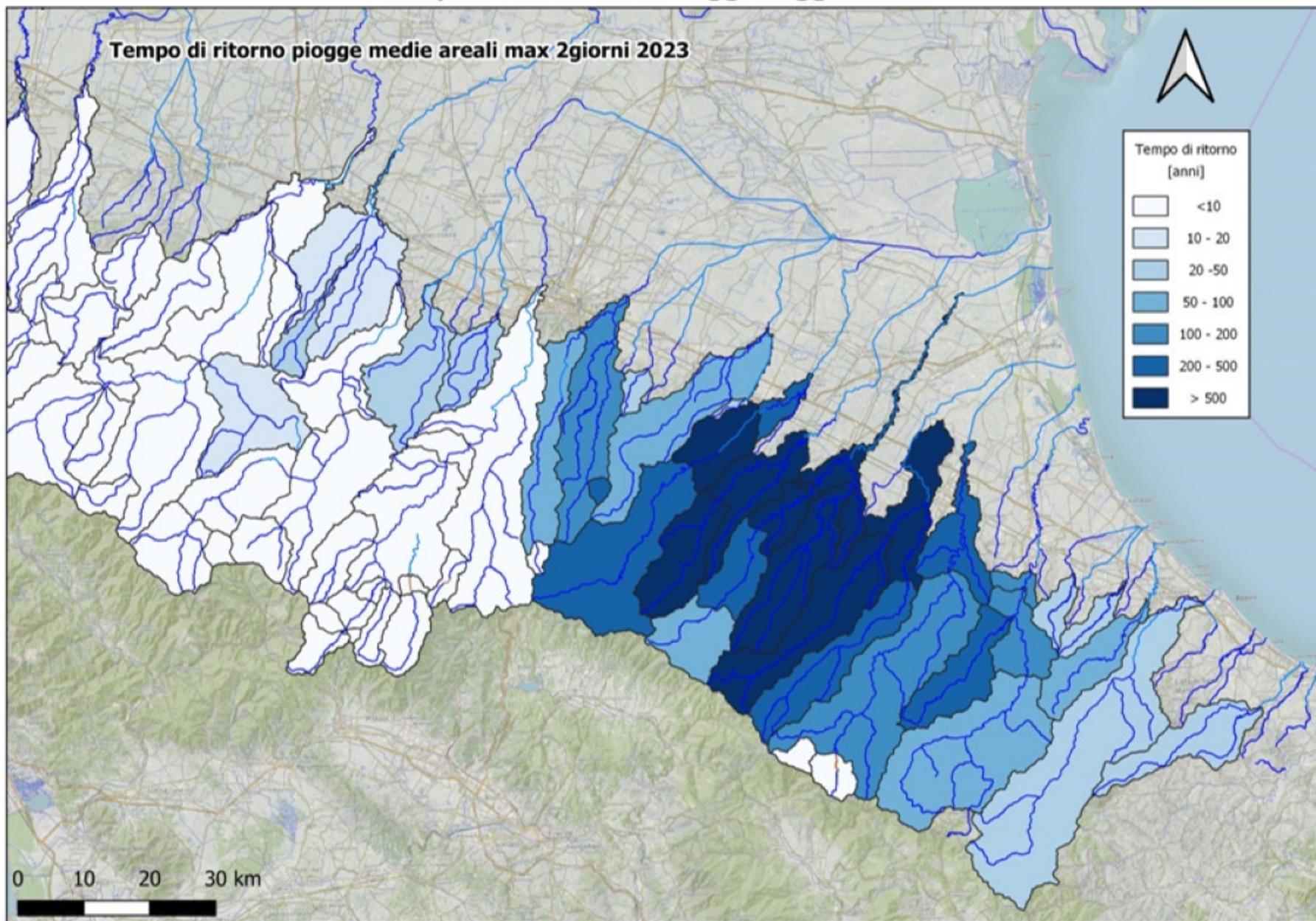
Stime del tempo di ritorno dei valori massimi giornalieri e in 2 giorni consecutivi delle altezze di pioggia medie areali dell'evento del maggio 2023

Codice	Nome	Area (Kmq)	T Pio1g [anni]	T Pio 2gg [anni]
B005	Idice (Reno) a Castenaso	393.1	334	102
B098	Sillaro a Sesto Imolese	247.3	78	65
B058	Santerno a Imola	416.2	151	515
B028	Senio (Reno) a Castel Bolognese	262.5	>> 500	>>500
B083	Lamone a Reda	520.2	>> 500	>>500
B080	Montone a Ponte Vico	543.4	>> 500	>>500
B044	Ronco a Coccolia	549.6	340	427

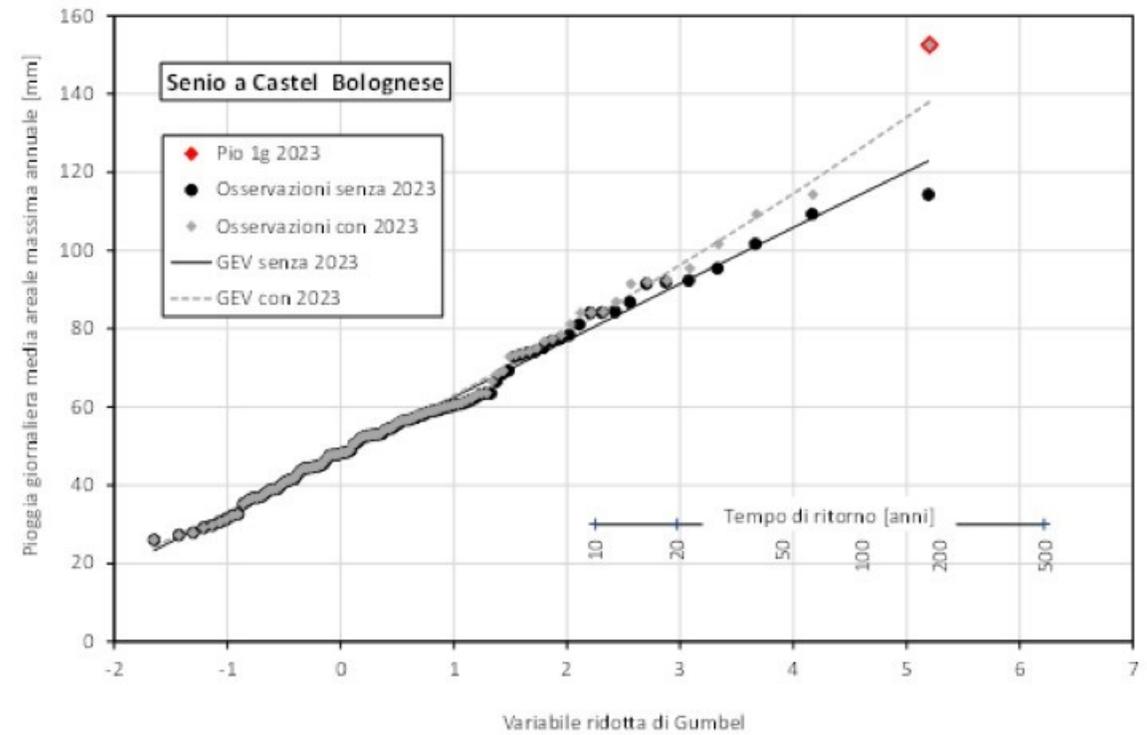
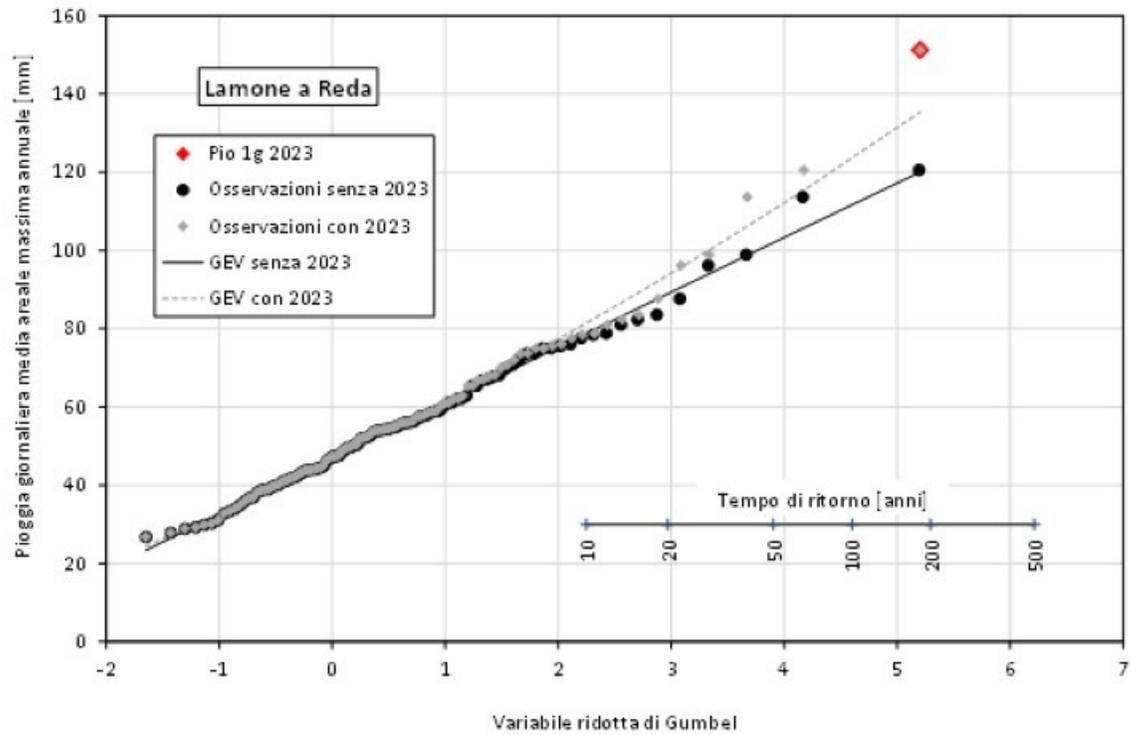
Tempo ritorno max Pgio maggio 2023



Tempo ritorno max P 2gg maggio 2023



Effetto della presenza del dato di pioggia del 2023 sulla stima del tempo di ritorno dell'evento



Stime del tempo di ritorno dei valori massimi giornalieri e in 2 giorni consecutivi delle altezze di pioggia medie areali dell'evento del maggio 2023.

Codice	Nome	Area (Kmq)	T Pio1g [anni]	T Pio 2gg [anni]
B005	Idice (Reno) a Castenaso	393.1	334	102
B098	Sillaro a Sesto Imolese	247.3	78	65
B058	Santerno a Imola	416.2	151	515
B028	Senio (Reno) a Castel Bolognese	262.5	>> 500	>>500
B083	Lamone a Reda	520.2	>> 500	>>500
B080	Montone a Ponte Vico	543.4	>> 500	>>500
B044	Ronco a Coccolia	549.6	340	427

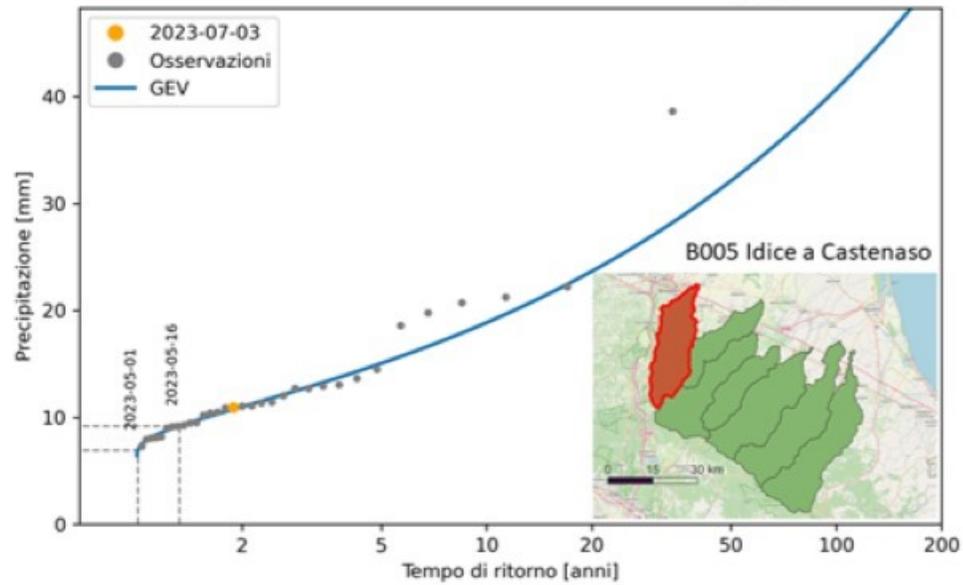
Stime del tempo di ritorno dei valori massimi giornalieri e in 2 giorni consecutivi delle altezze di pioggia medie areali dell'evento del maggio 2023.

Considerando il 2023

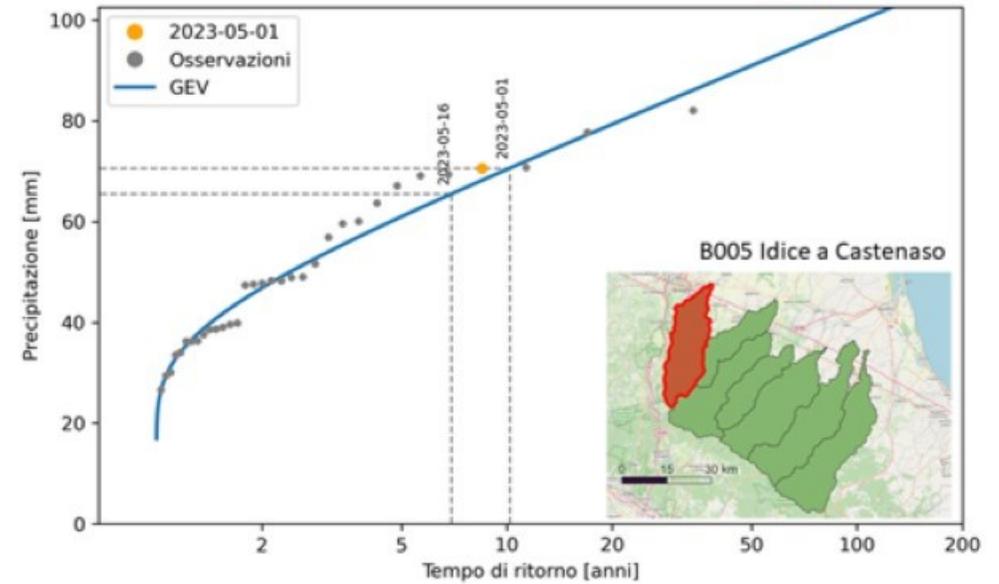
Codice	Nome	Area (Kmq)	T Pio1g [anni]	T Pio 2gg [anni]
B005	Idice (Reno) a Castenaso	393.1	166	75
B098	Sillaro a Sesto Imolese	247.3	61	54
B058	Santerno a Imola	416.2	100	215
B028	Senio (Reno) a Castel Bolognese	262.5	368	406
B083	Lamone a Reda	520.2	395	339
B080	Montone a Ponte Vico	543.4	413	302
B044	Ronco a Coccolia	549.6	166	191

Analisi del tempo di ritorno delle piogge a scala sub-giornaliera (base dati 1991-2023)

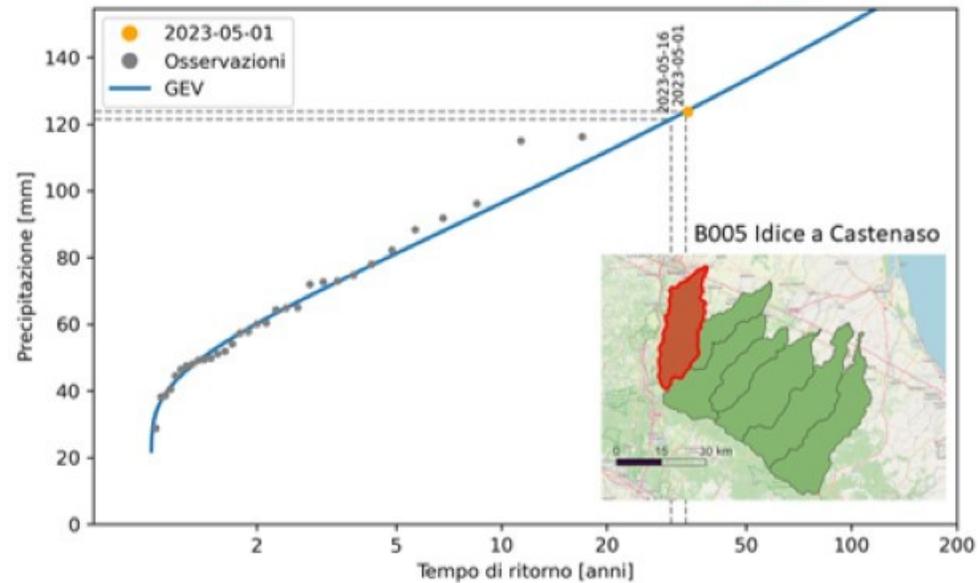
Durata 1 ora - OSSERVAZIONI: 1991-2023



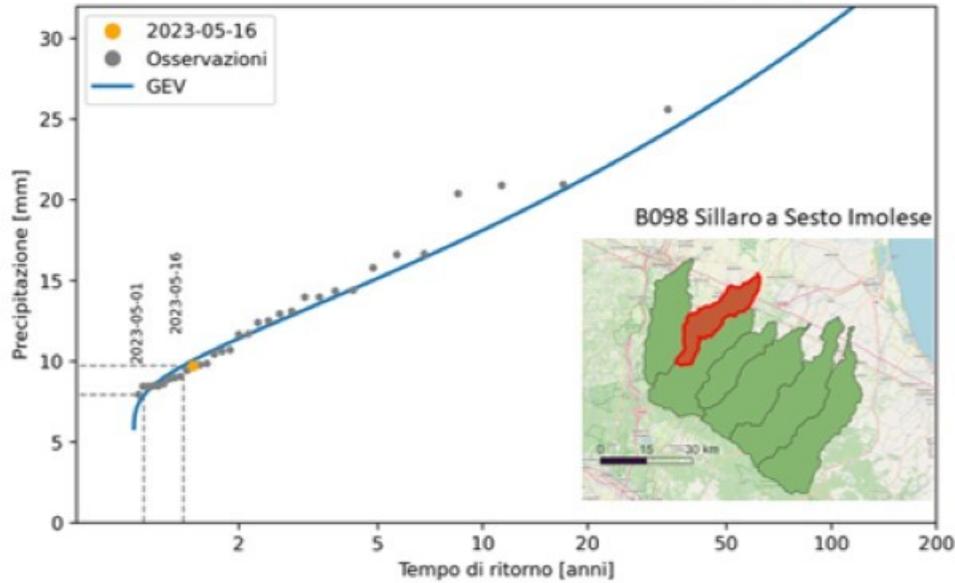
Durata 12 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



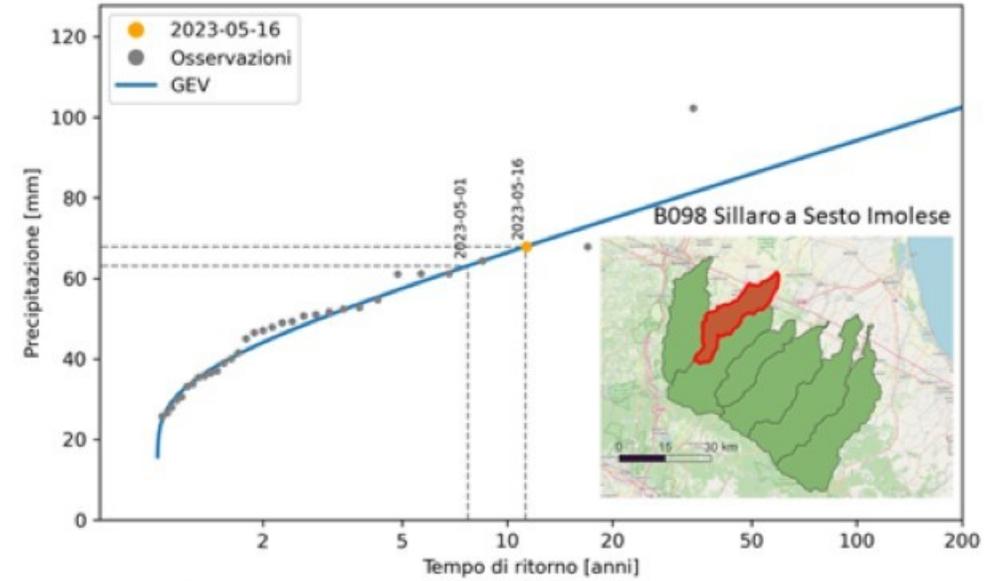
Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



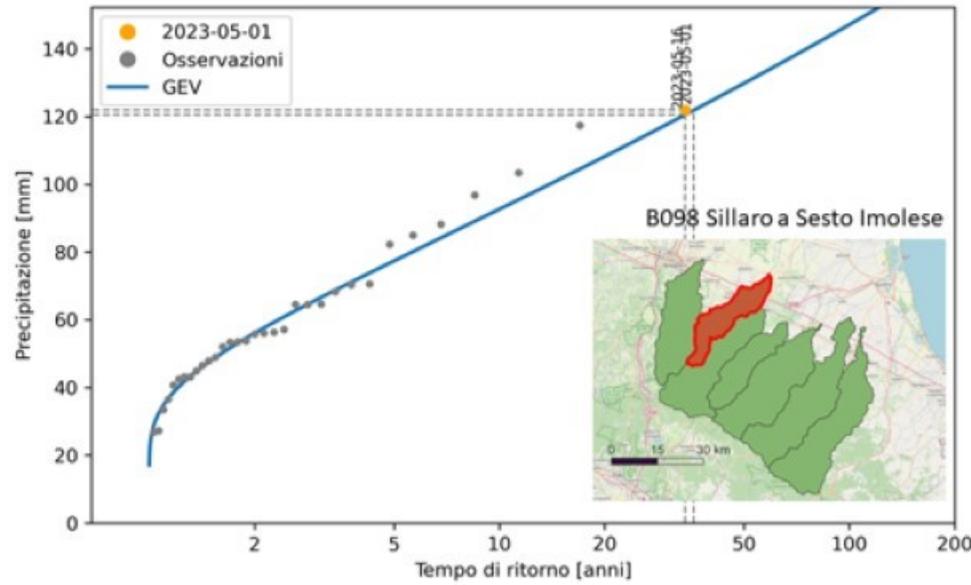
Durata 1 ora - OSSERVAZIONI: 1991-2023



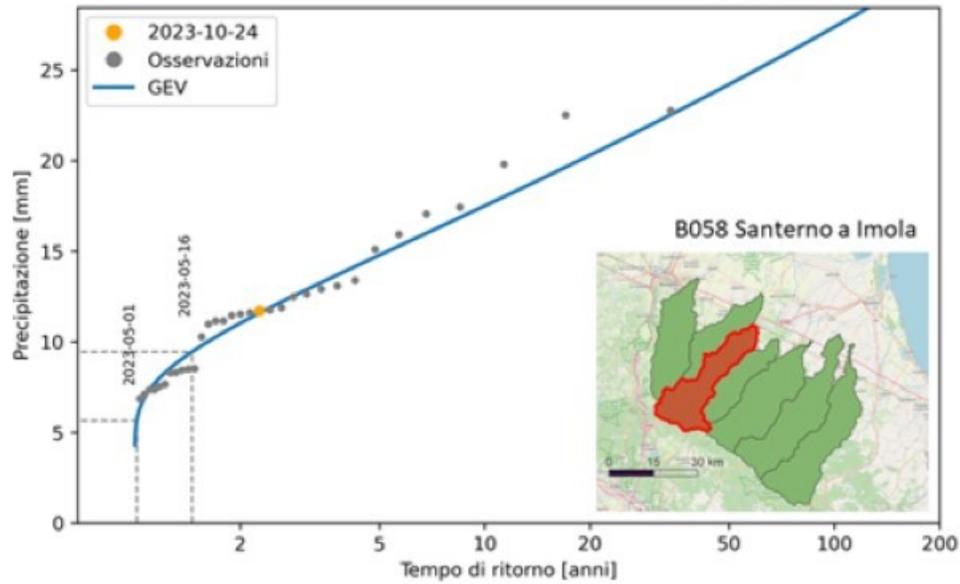
Durata 12 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



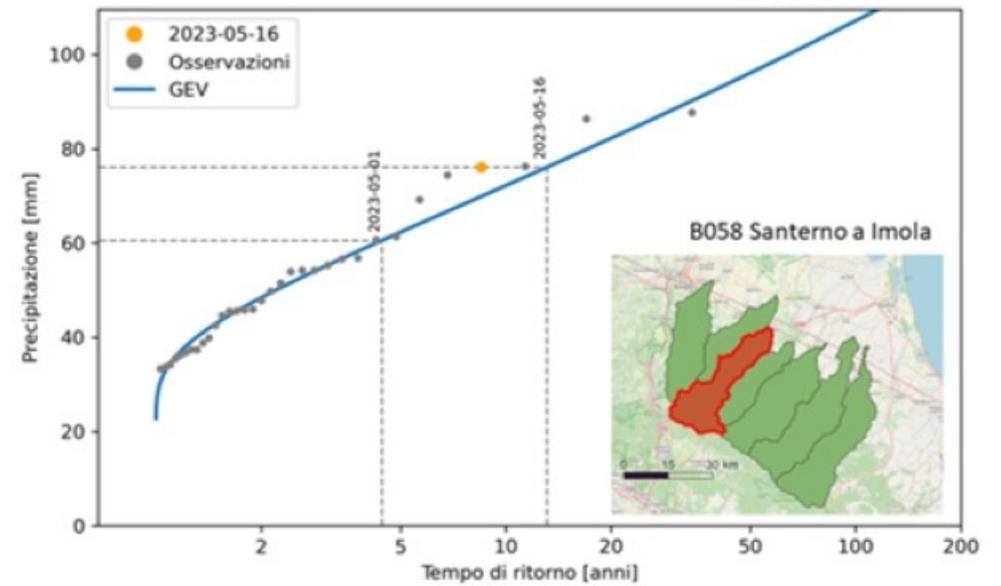
Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



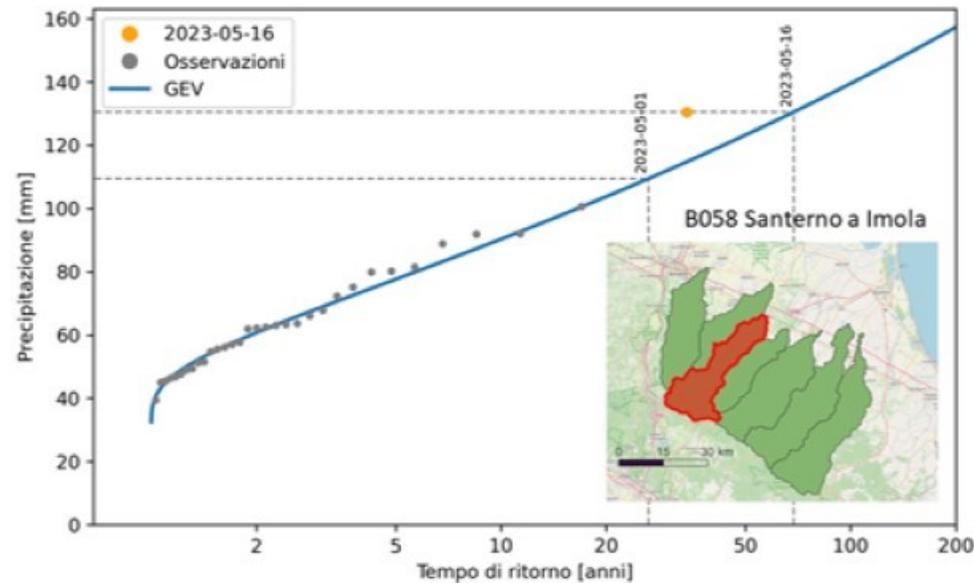
Durata 1 ora - OSSERVAZIONI: 1991-2023



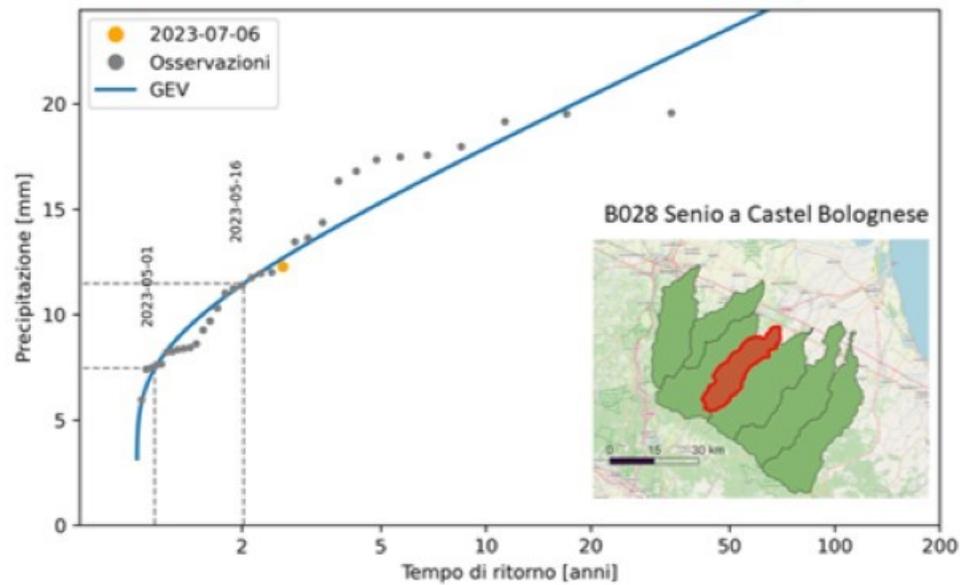
Durata 12 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



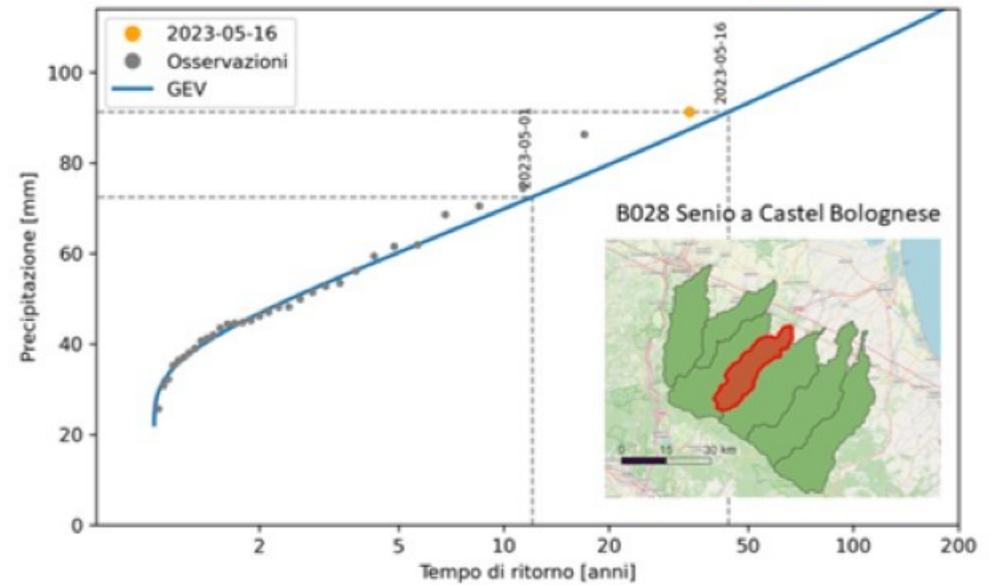
Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



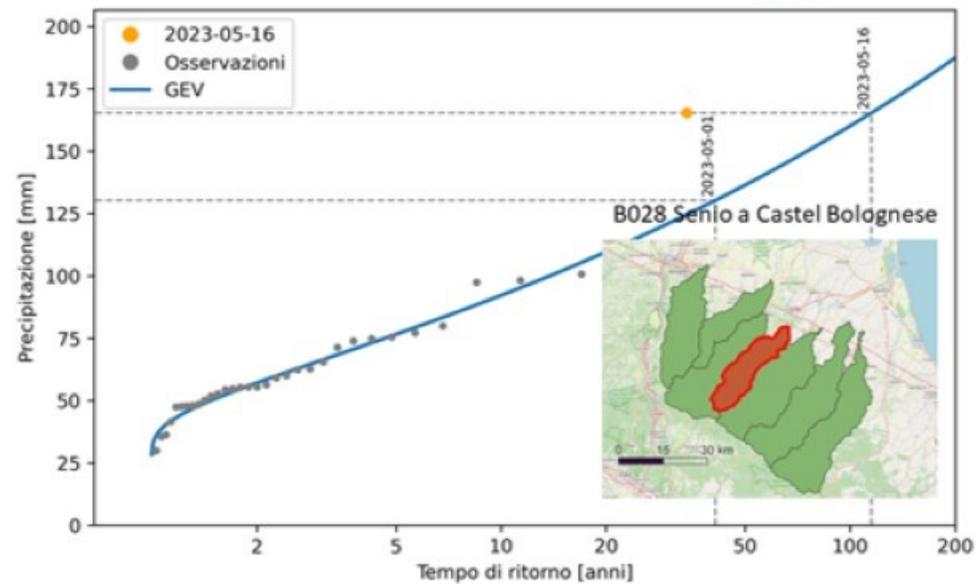
Durata 1 ora - OSSERVAZIONI: 1991-2023



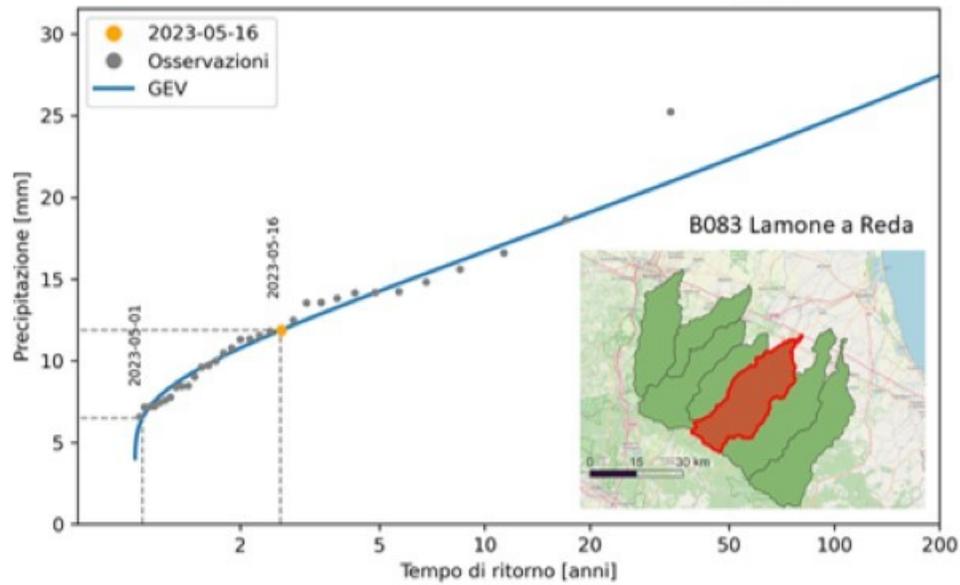
Durata 12 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



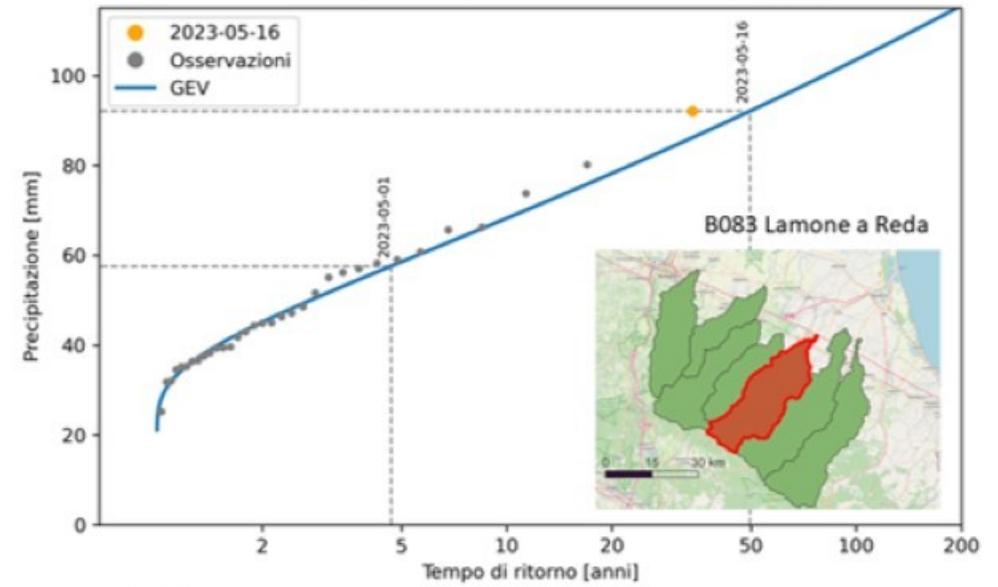
Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



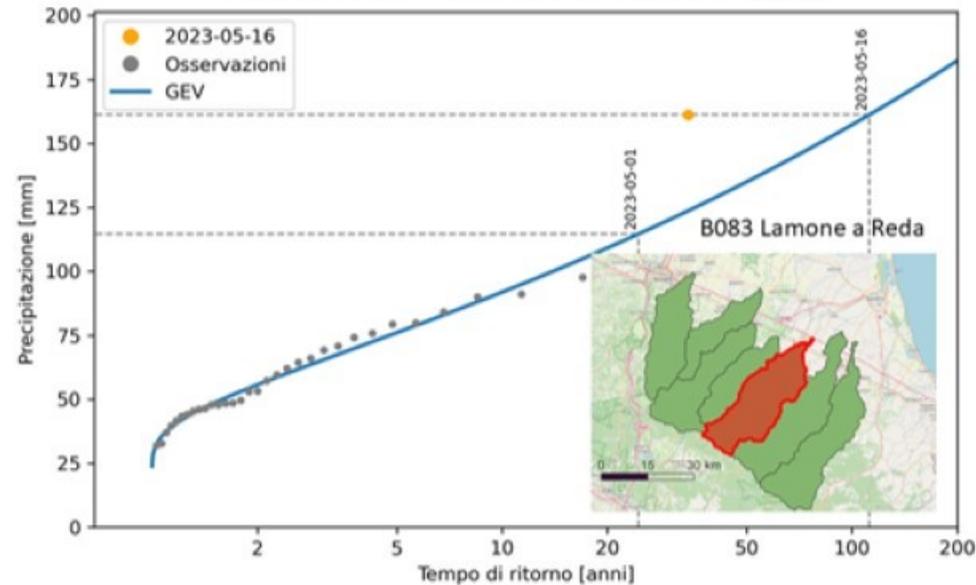
Durata 1 ora - OSSERVAZIONI: 1991-2023



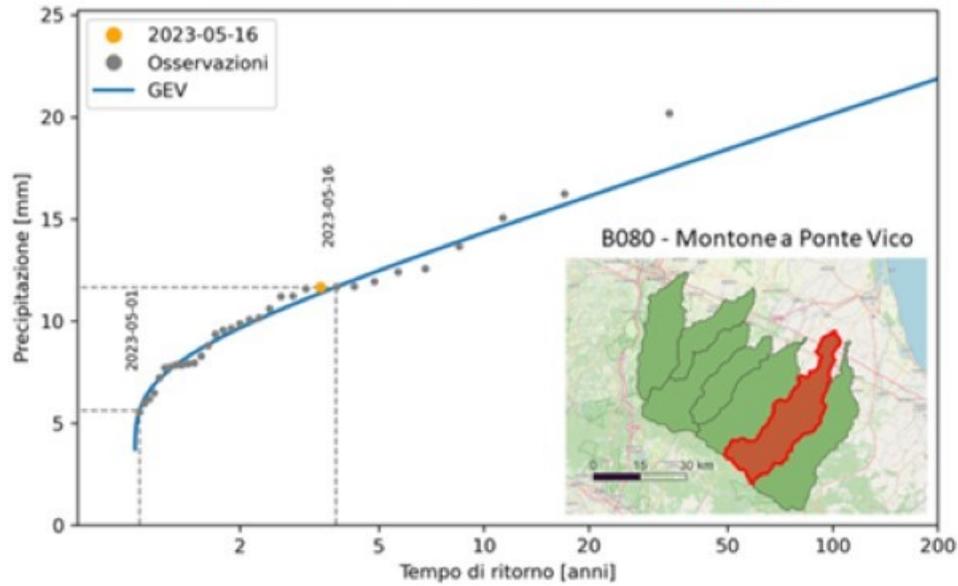
Durata 12 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



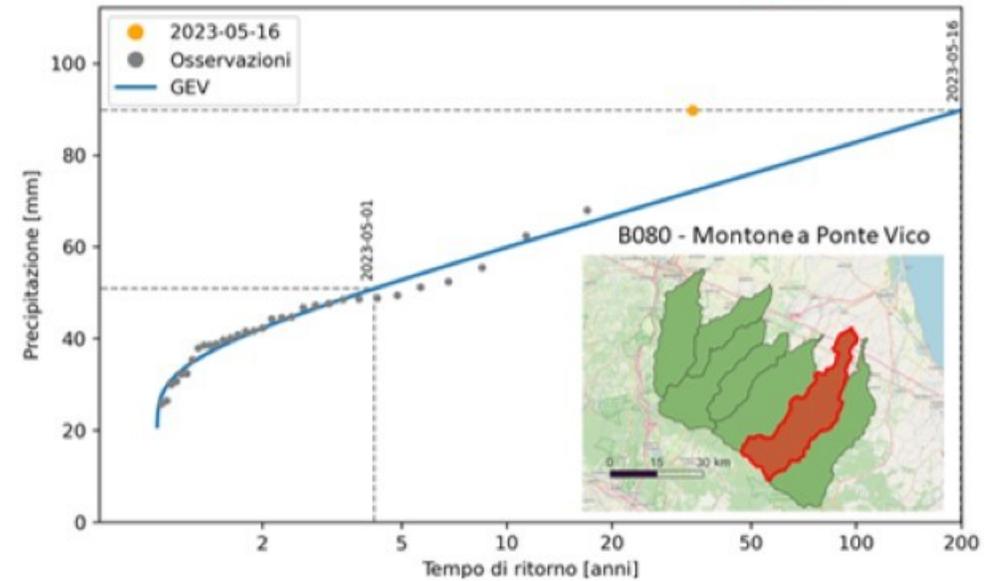
Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



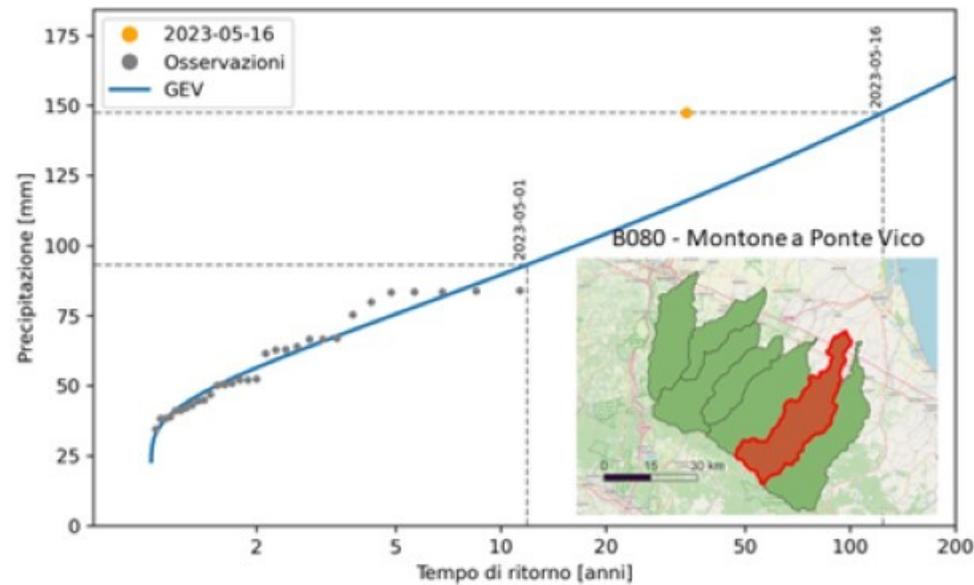
Durata 1 ora - OSSERVAZIONI: 1991-2023



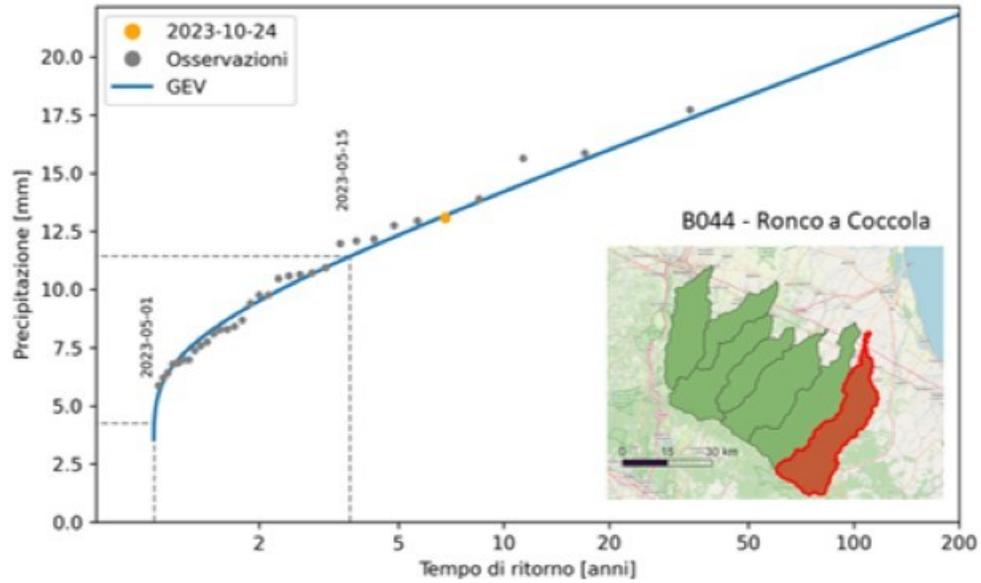
Durata 12 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



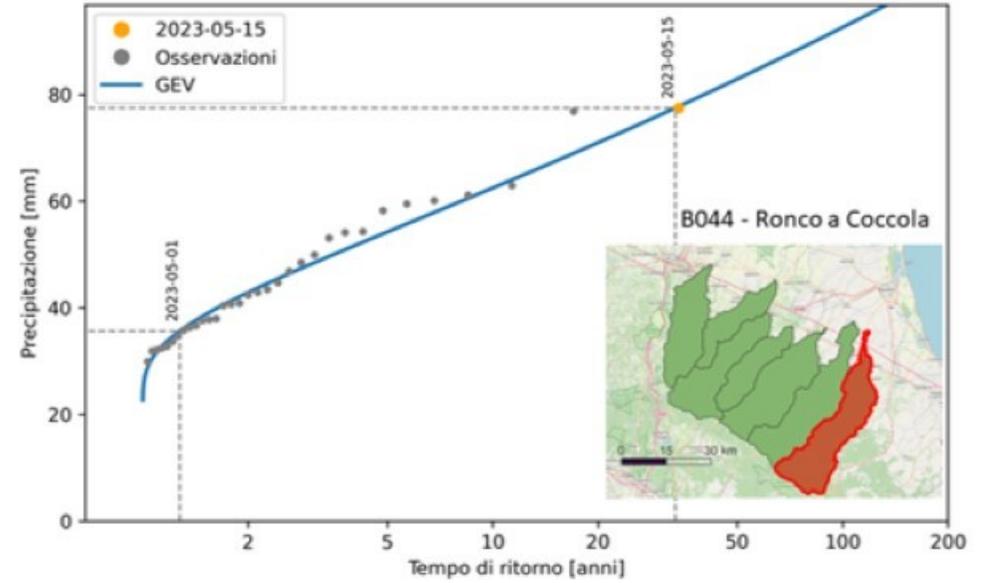
Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



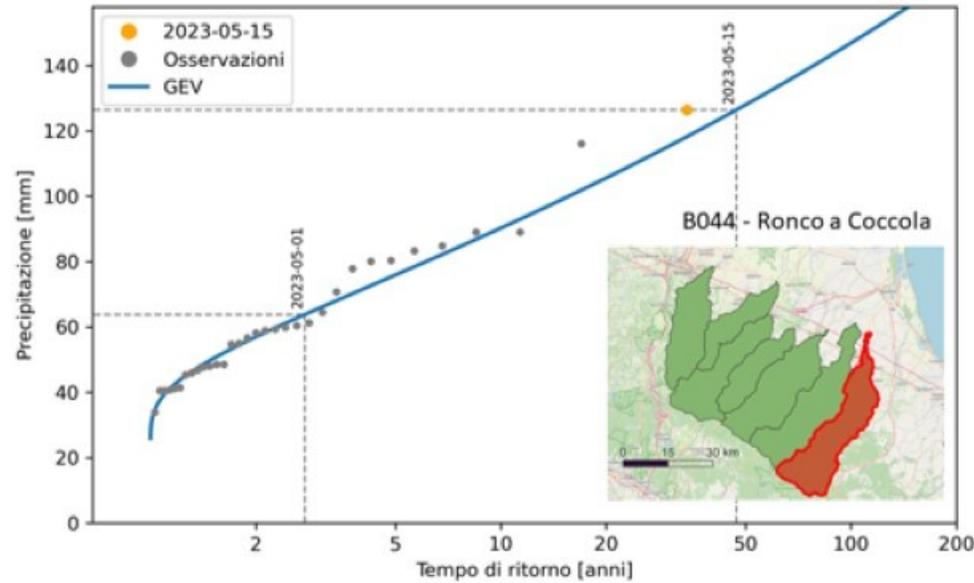
Durata 1 ora - OSSERVAZIONI: 1991-2023



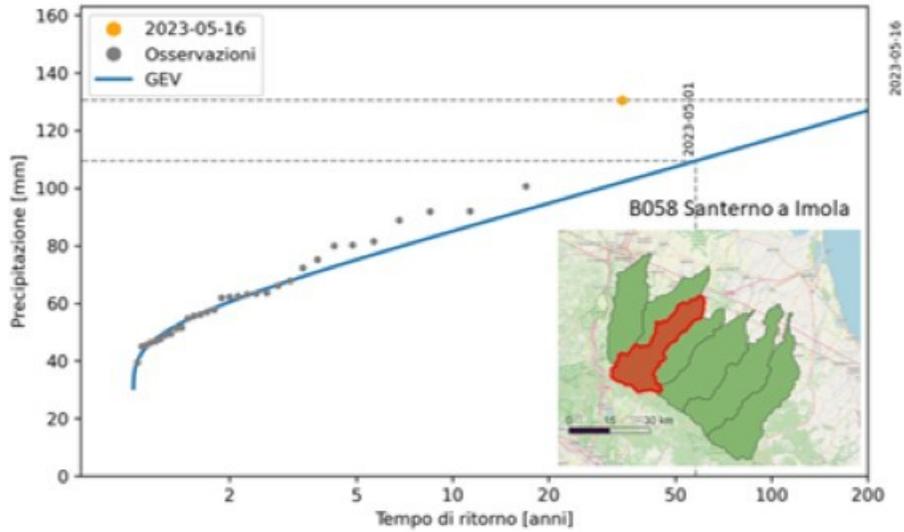
Durata 12 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023



Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2023

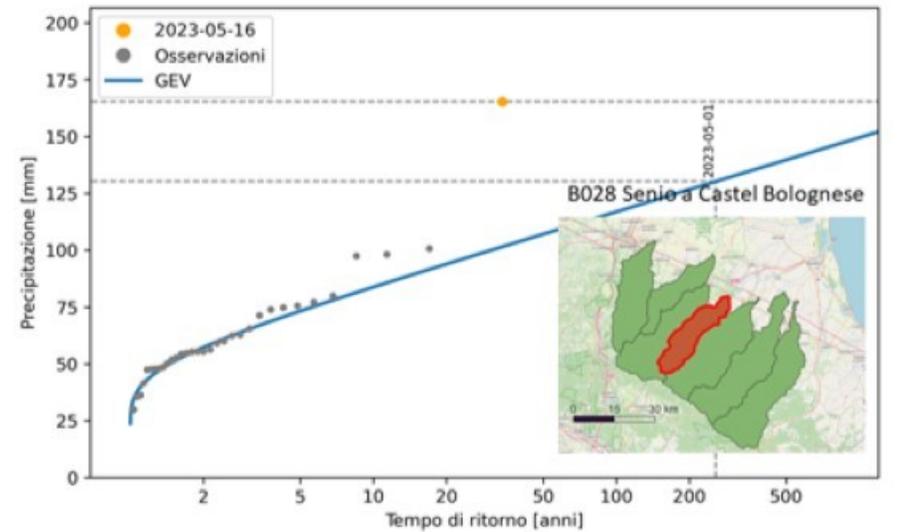


Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2022



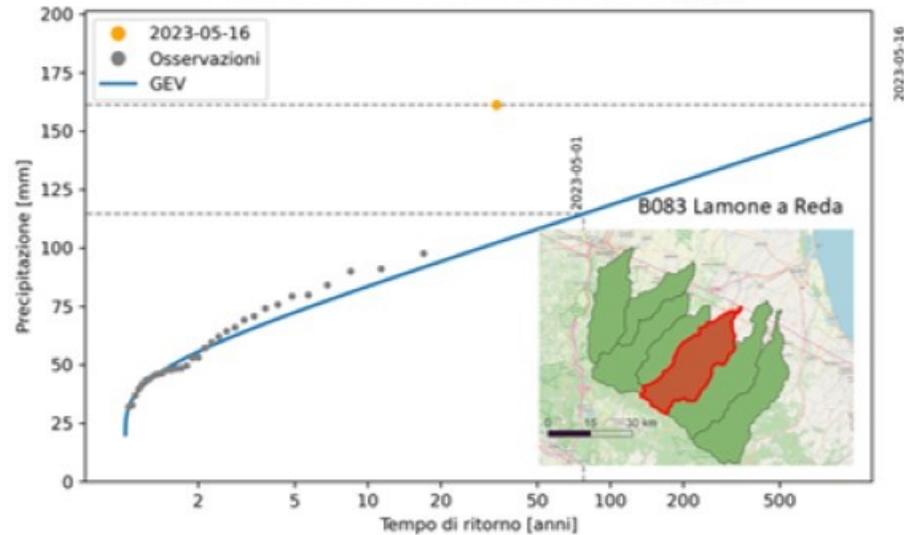
2023-05-16

Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2022



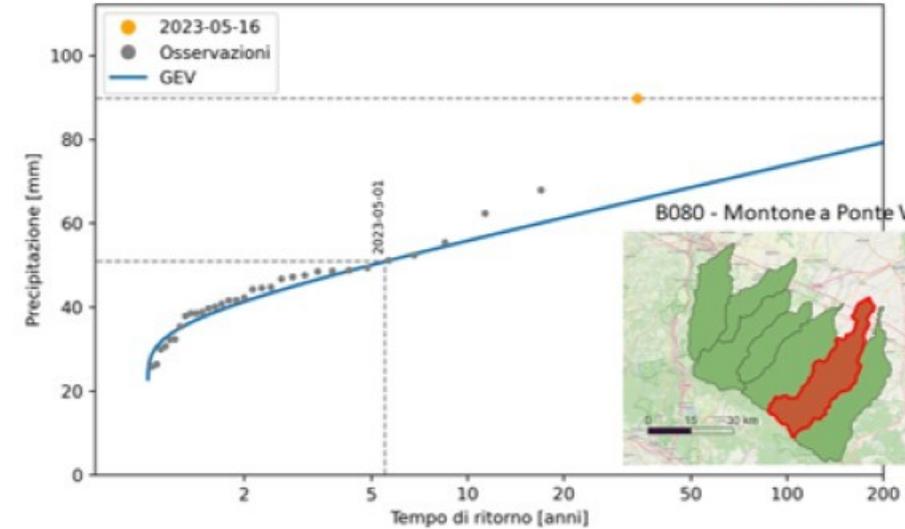
2023-05-16

Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2022



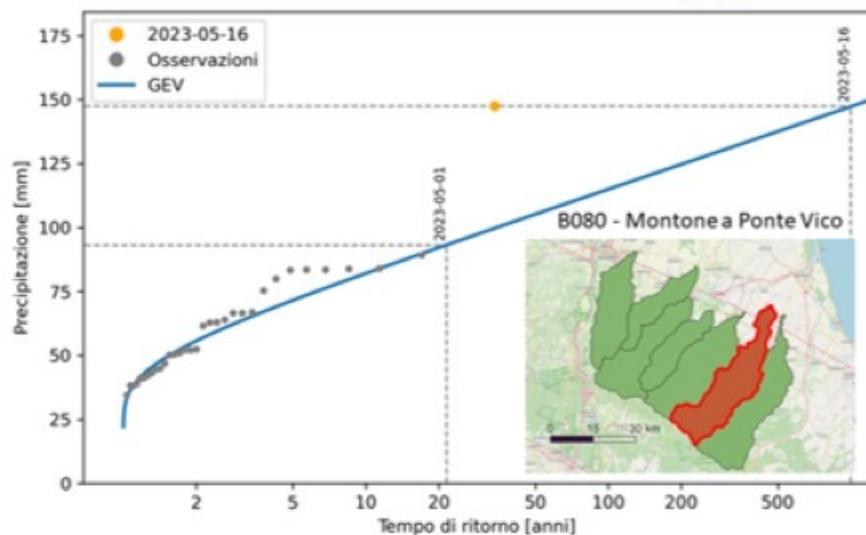
2023-05-16

Durata 12 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2022

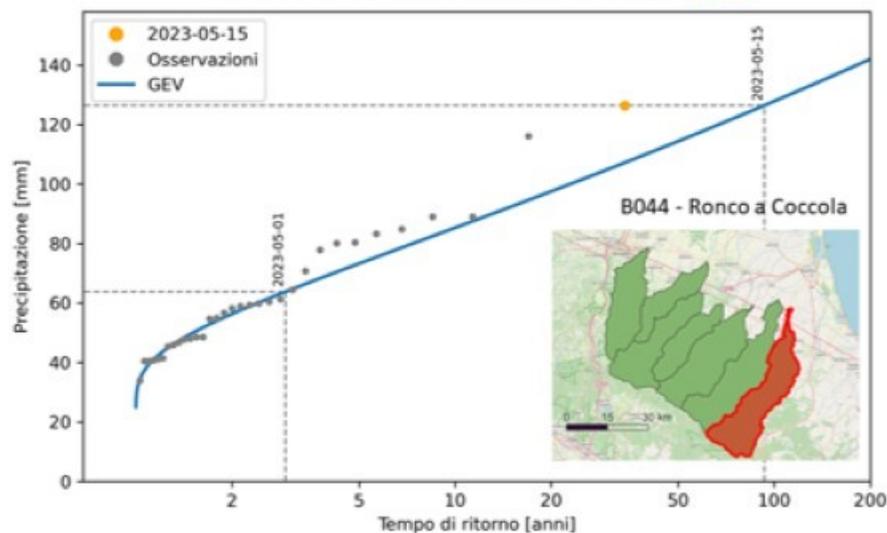


2023-05-16

Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2022



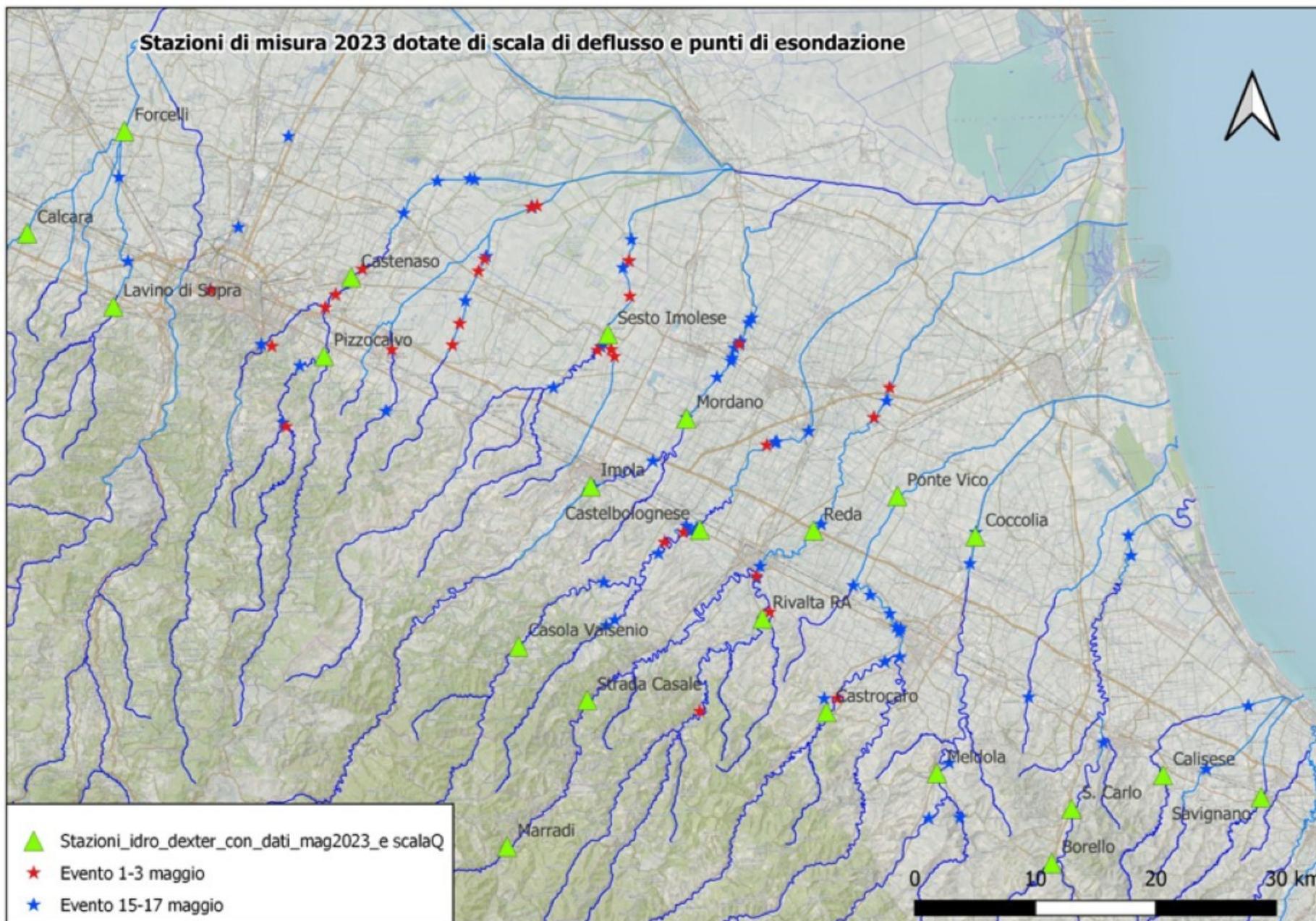
Durata 24 ore - OSSERVAZIONI: 1991-2022



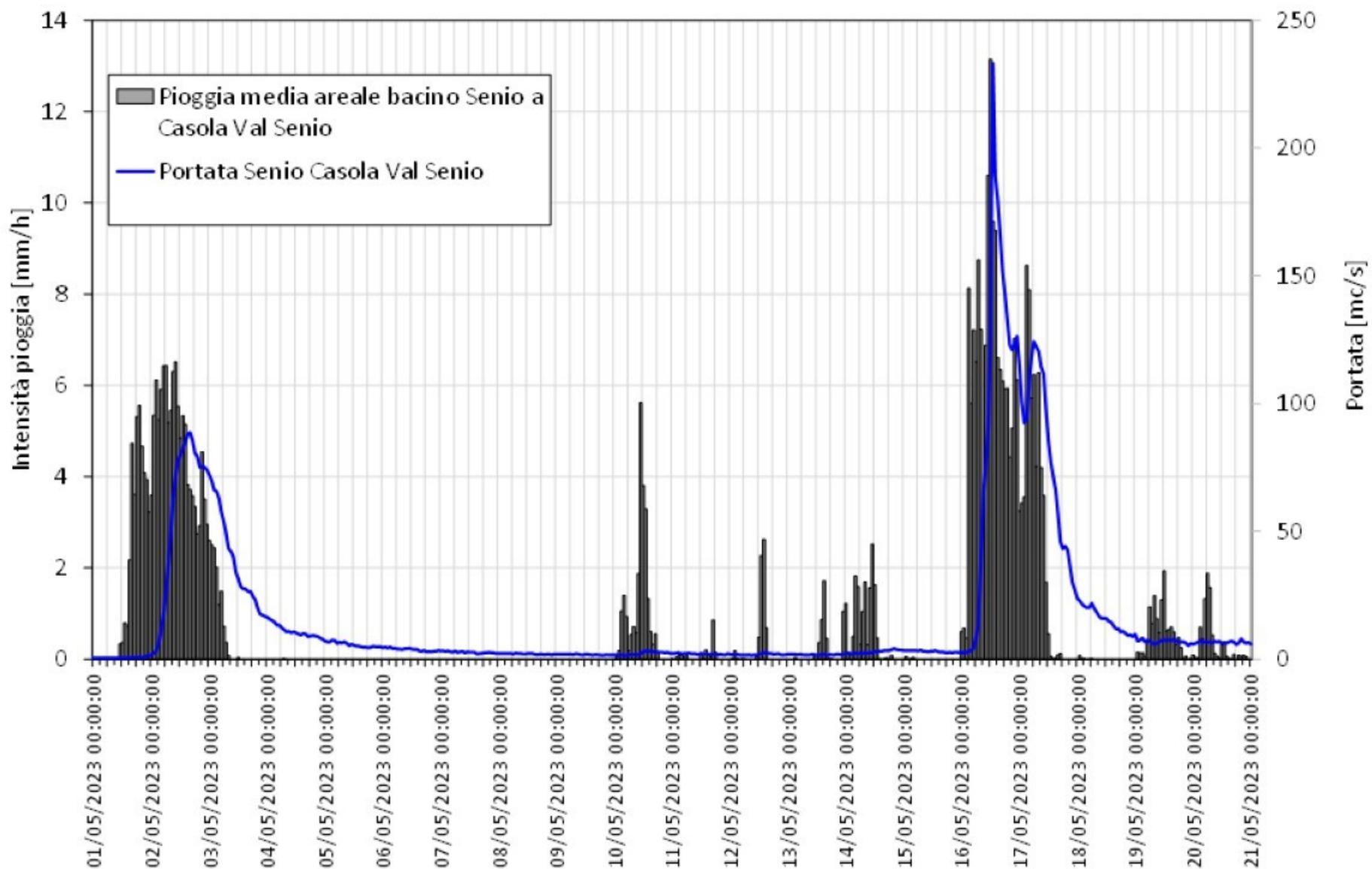
Stime del tempo di ritorno dei valori massimi in 24 ore delle altezze di pioggia medie areali dell'evento del maggio 2023.

Codice	Nome	Area (Kmq)	T Con 2023 [anni]	T Senza 2023 [anni]
B005	Idice (Reno) a Castenaso	393.1	30	50
B098	Sillaro a Sesto Imolese	247.3	10	30
B058	Santerno a Imola	416.2	70	260
B028	Senio (Reno) a Castel Bolognese	262.5	115	>> 500
B083	Lamone a Reda	520.2	110	>> 500
B080	Montone a Ponte Vico	543.4	125	>> 500
B044	Ronco a Coccola	549.6	50	95

Analisi sulle portate dell'evento del maggio 2023



Senio a Casola Val Senio (S=136 Km²)



Pio 1-3 mag = 167.41 mm
Pio 15-17 mag = 211.94 mm

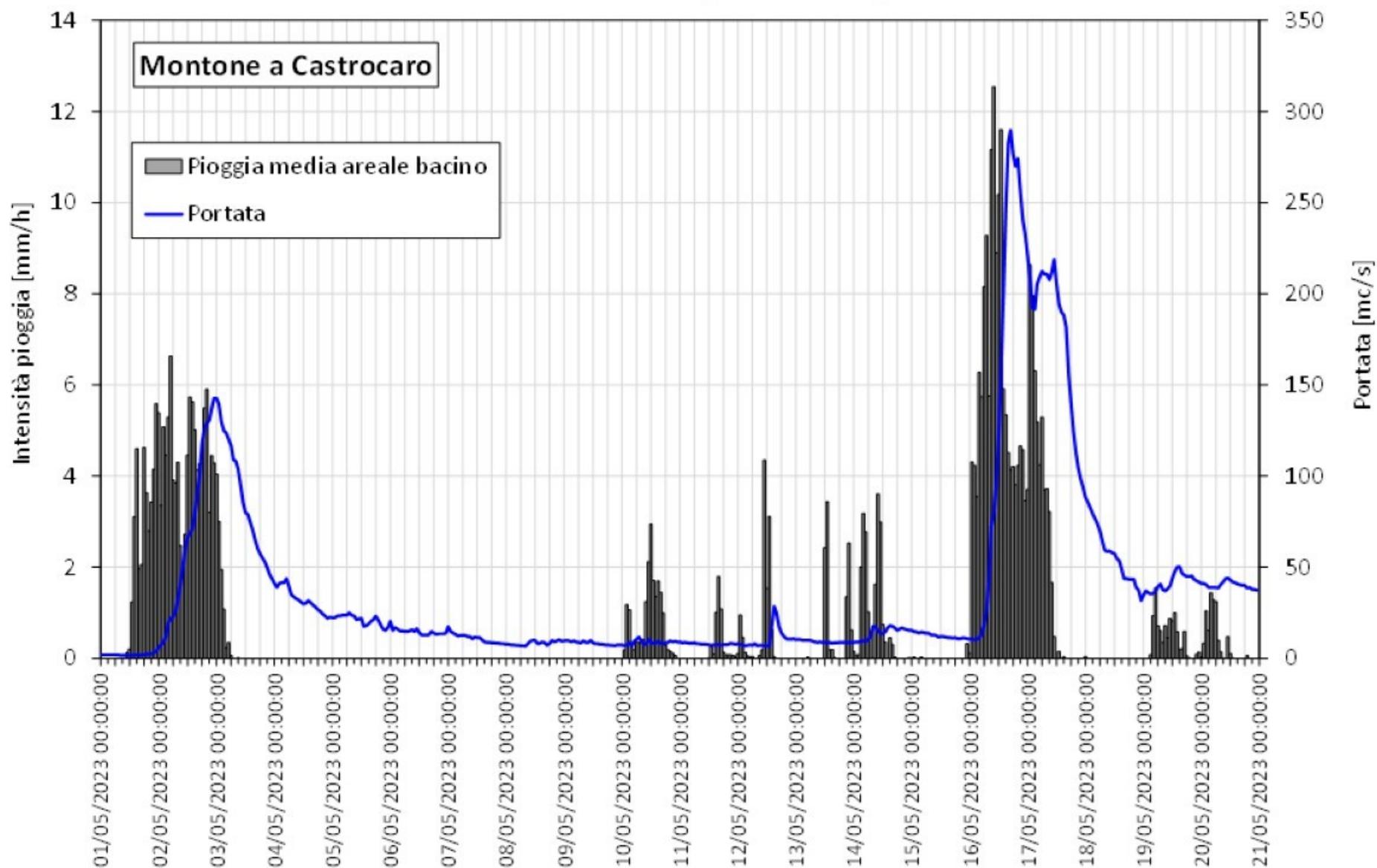
W_{pio} 1-3 mag = 22.77 Mmc
 W_{pio} 15-17 mag = 28.83 Mmc

W_D 1-5 mag = 9.70 Mmc
 W_D 15-19 mag = 16.89 Mmc

C_D 1° evento = 0.416
 C_D 2° evento = 0.589

C_D 2° evento / C_D 1° evento = 1.37

Montone a Castrocaro (S=237 Km²)



Pio 1-3 mag = 154.19 mm
Pio 15-17 mag = 201.25 mm

W_{pio} 1-3 mag = 36.47 Mmc
 W_{pio} 15-17 mag = 47.60 Mmc

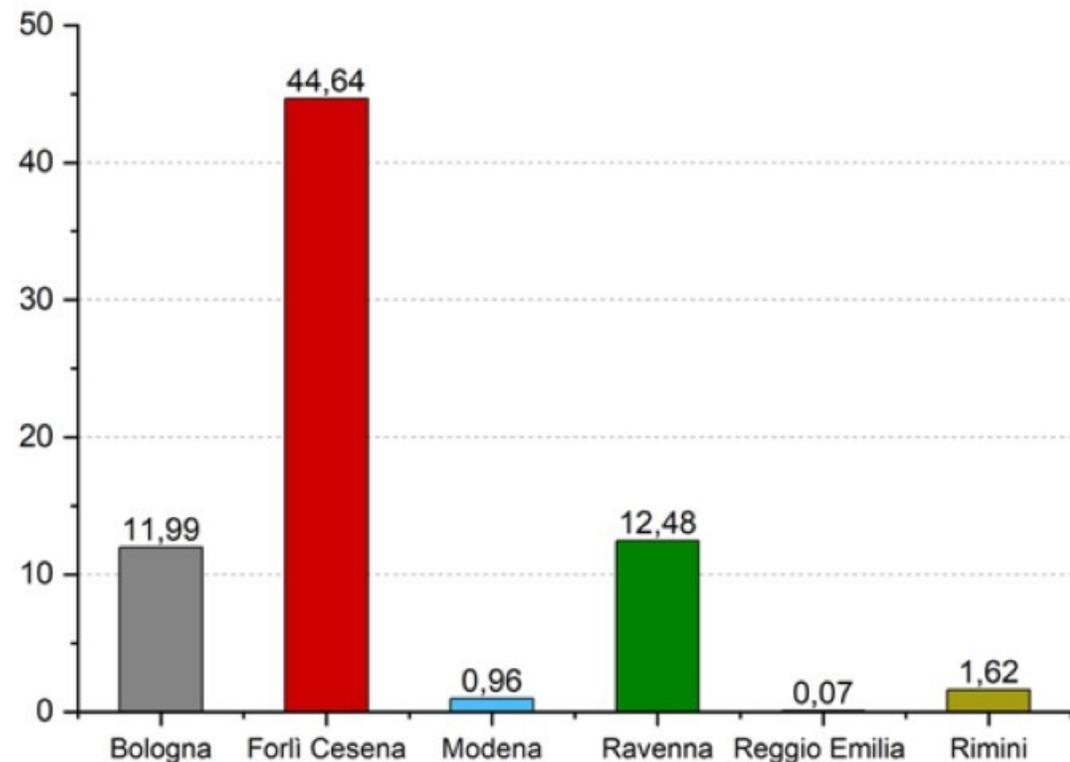
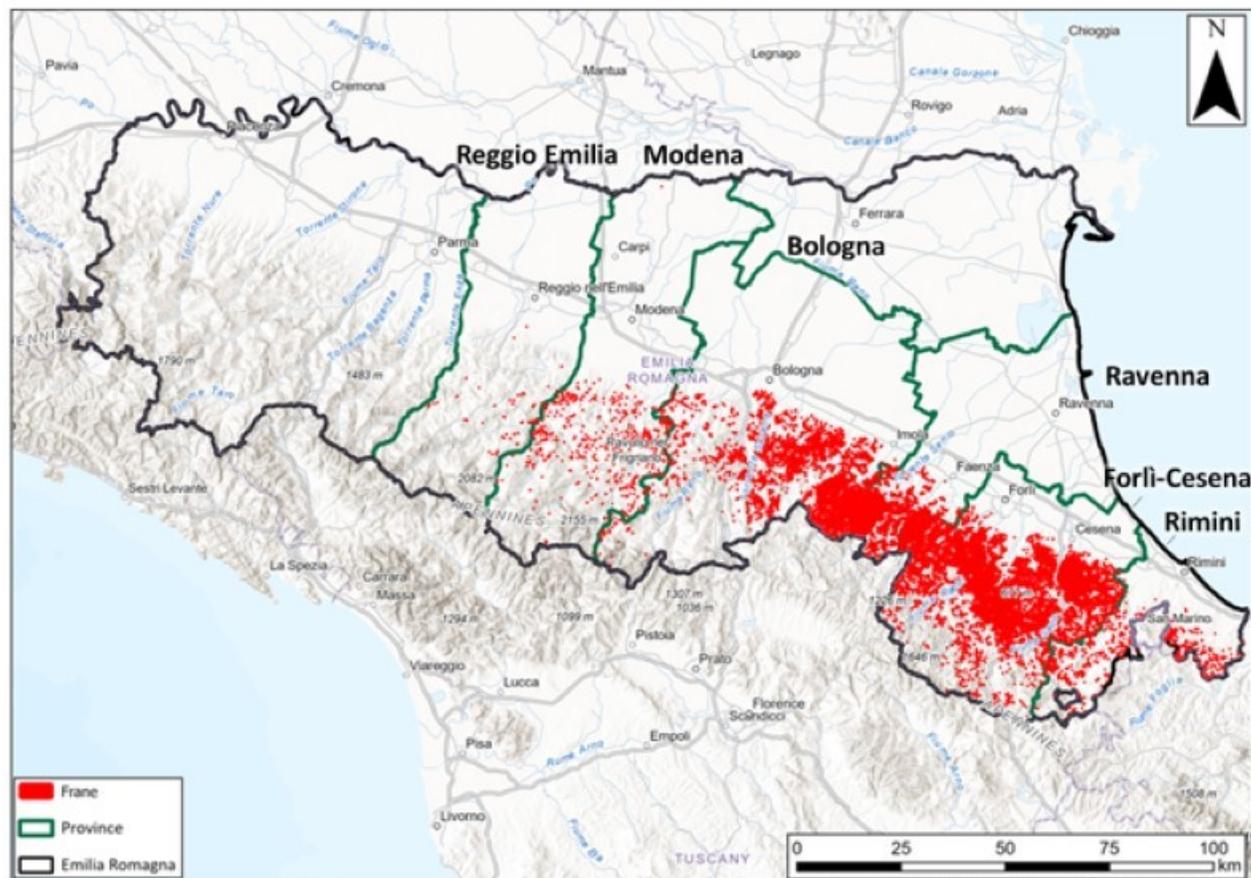
W_D 1-5 mag = 18.12 Mmc
 W_D 15-19 mag = 36.86 Mmc

C_D 1° evento = 0.497
 C_D 2° evento = 0.774

C_D 2° evento / C_D 1° evento = 1.56

CARATTERIZZAZIONE DEI MOVIMENTI GRAVITATIVI DI VERSANTE

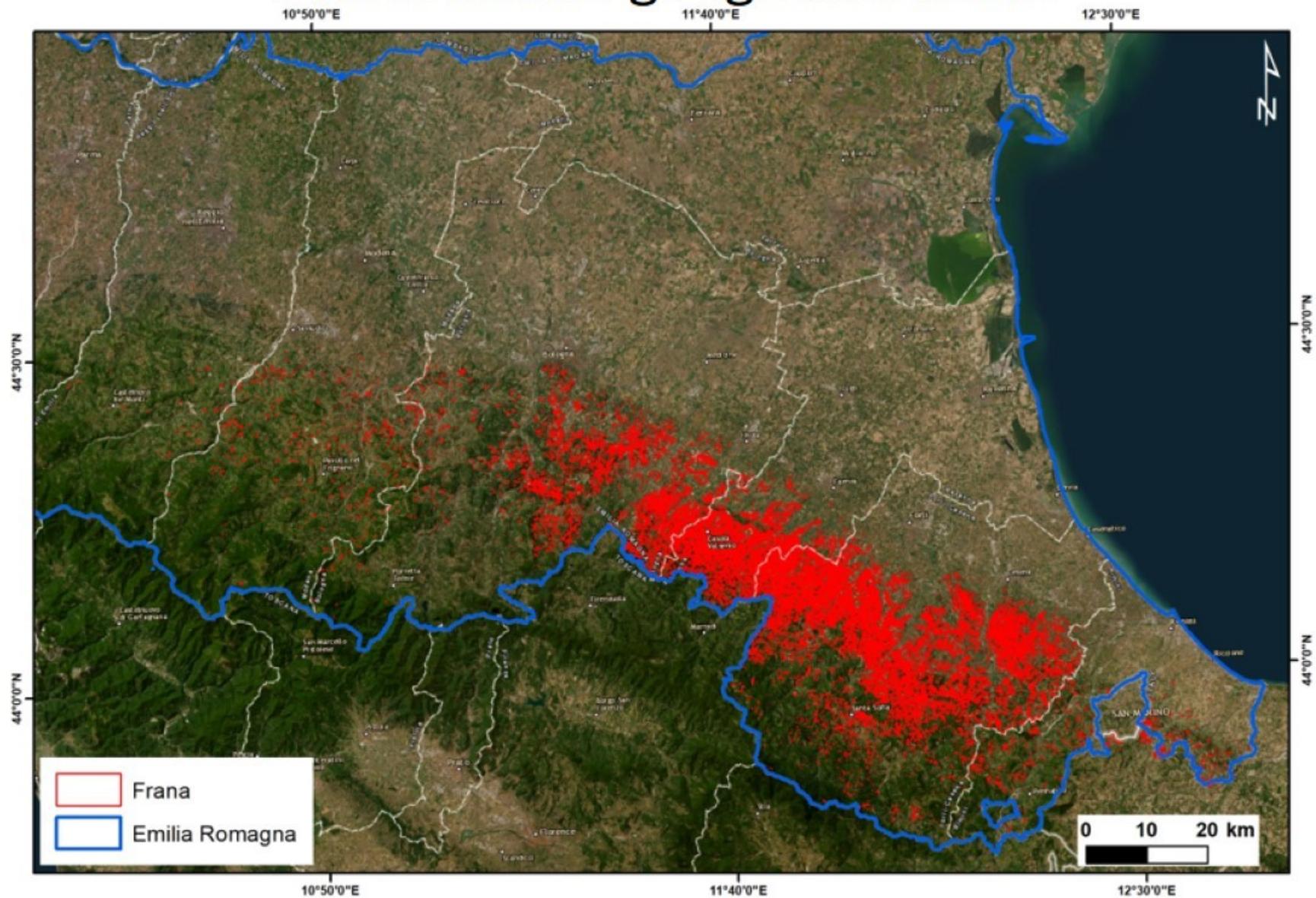
Distribuzione geografica frane



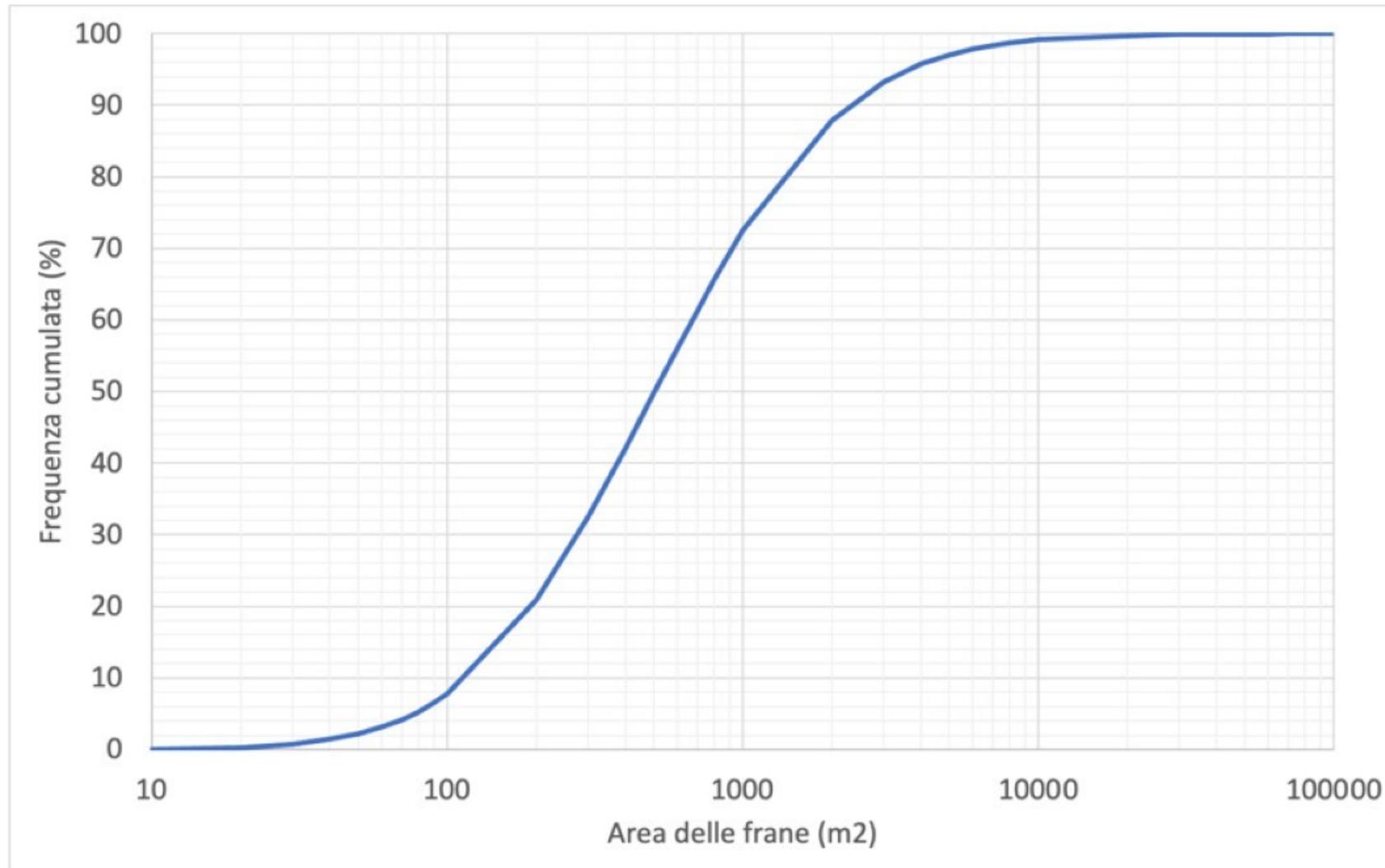
- 65.598 frane mappate
- 72,21 km² di area in frana totale
- 115 comuni coinvolti su 330 (34,8%)

- 6 province su 9 coinvolte
- Provincia più colpita: Forlì-Cesena

Distribuzione geografica frane



Distribuzione dell'area delle frane

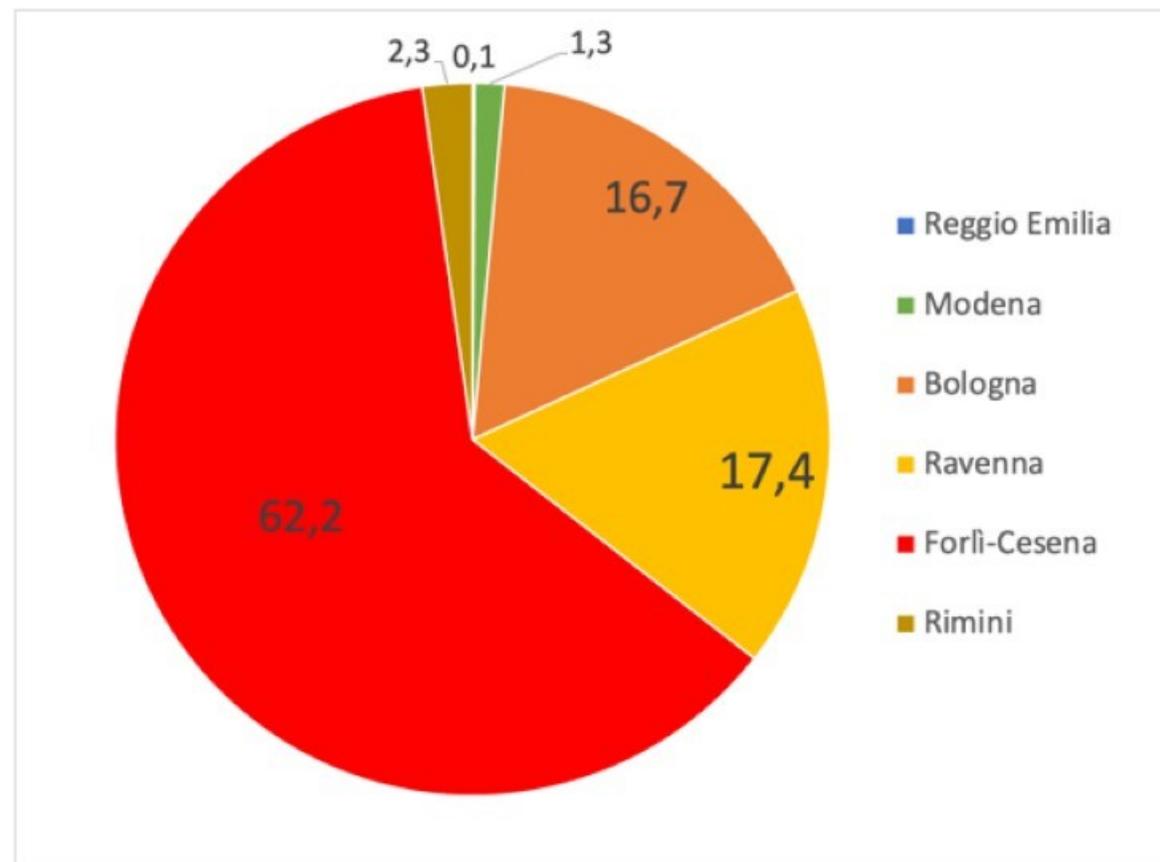
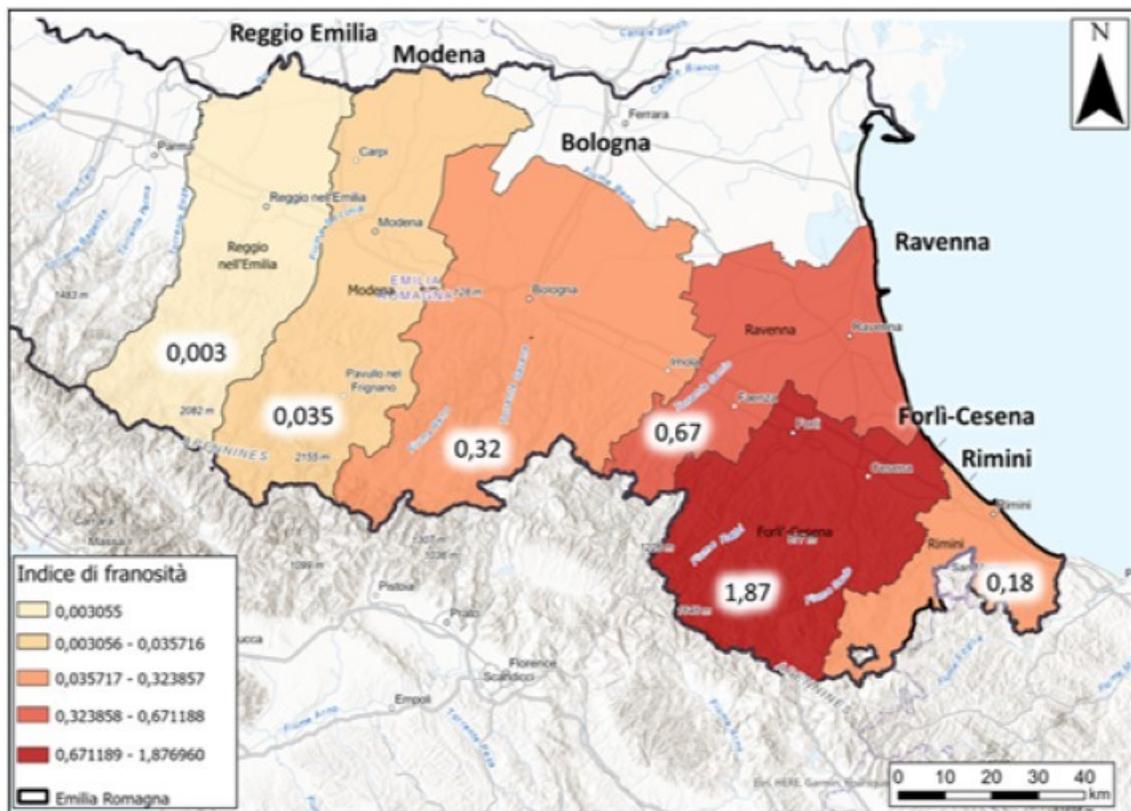


Area media = 1100,9 m²

Numero frane con area
≤1000 m² = 47.556 (72,5%)

Numero frane con area
>10.000 m² = 576 (0,9%)

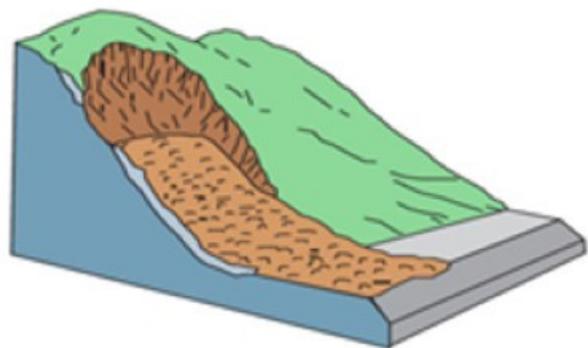
Indice di franosità



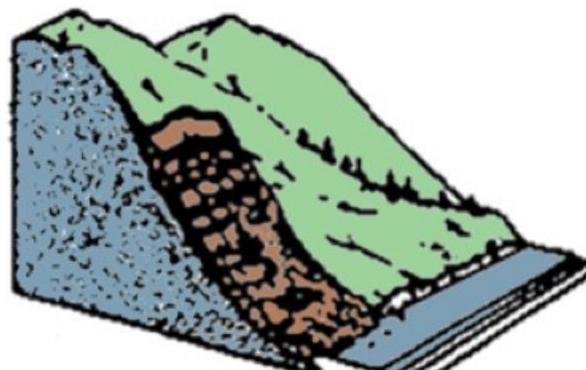
Indice di franosità: rapporto tra l'area in frana (72,21 km²) e area totale delle 6 province coinvolte (13.784 km²) pari a 0,52%.

Distribuzione per provincia della percentuale dell'area in frana complessiva.

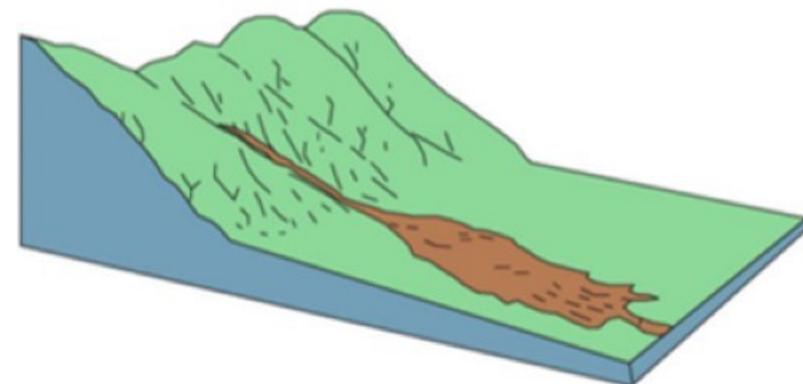
Tipologie di frana



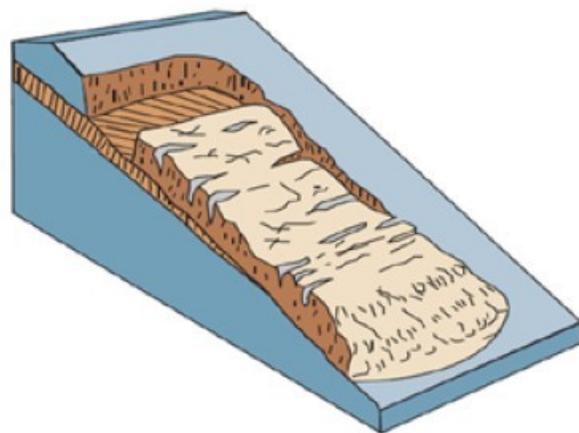
scorrimento rapido di terra e/o detrito
(*Debris avalanche* o *Soil avalanche*)



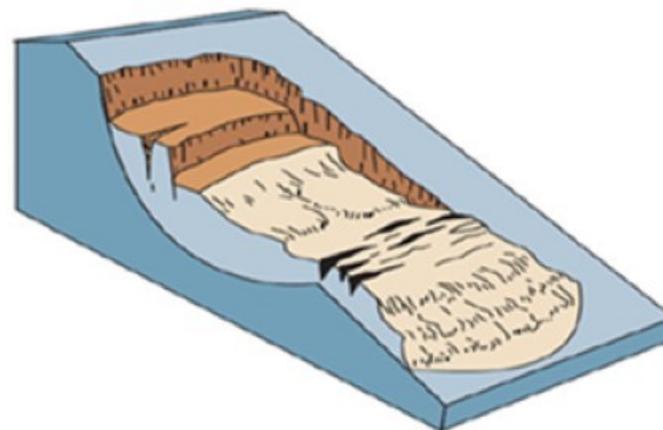
colata di detrito non canalizzata
(*unchannalized debris flow*)



colata di detrito canalizzata
(*channalized debris flow*)



scorrimento traslativo e rotazionale (*earth or debris slides* e *earth or debris slumps*)



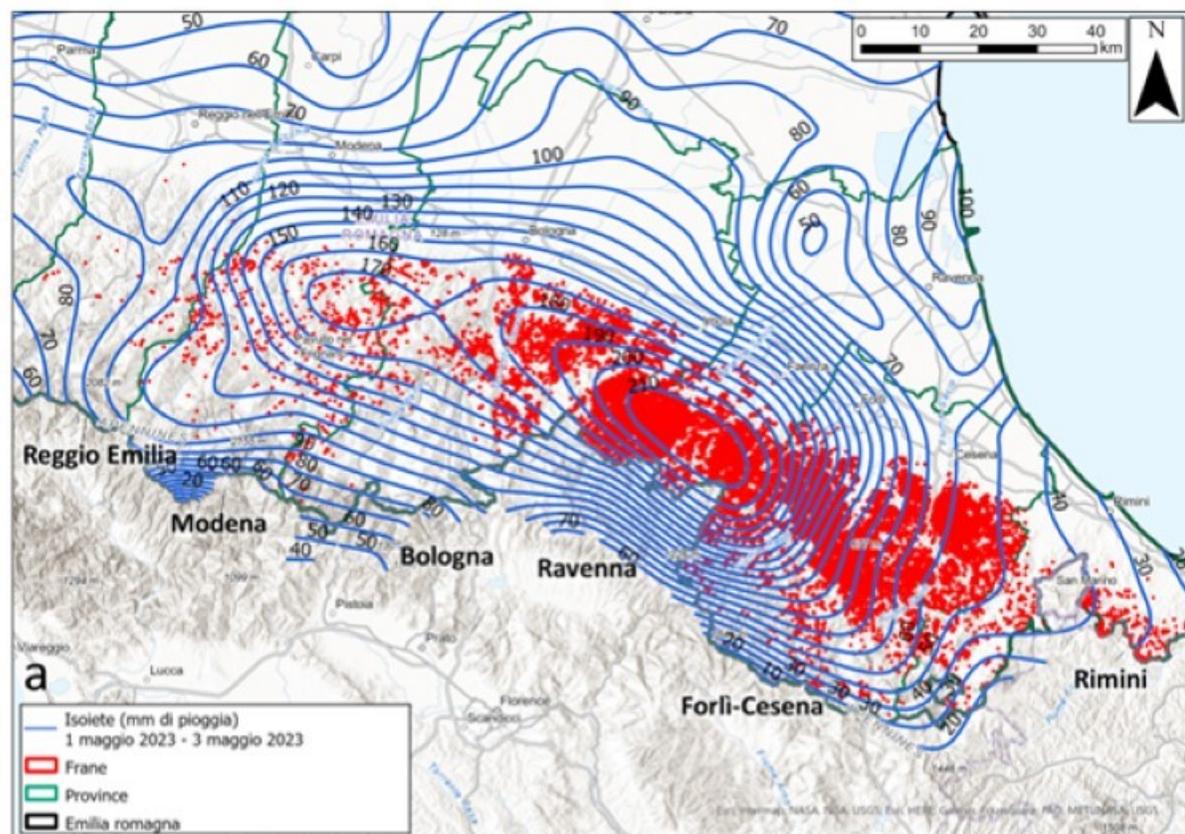
Tipologie di frana



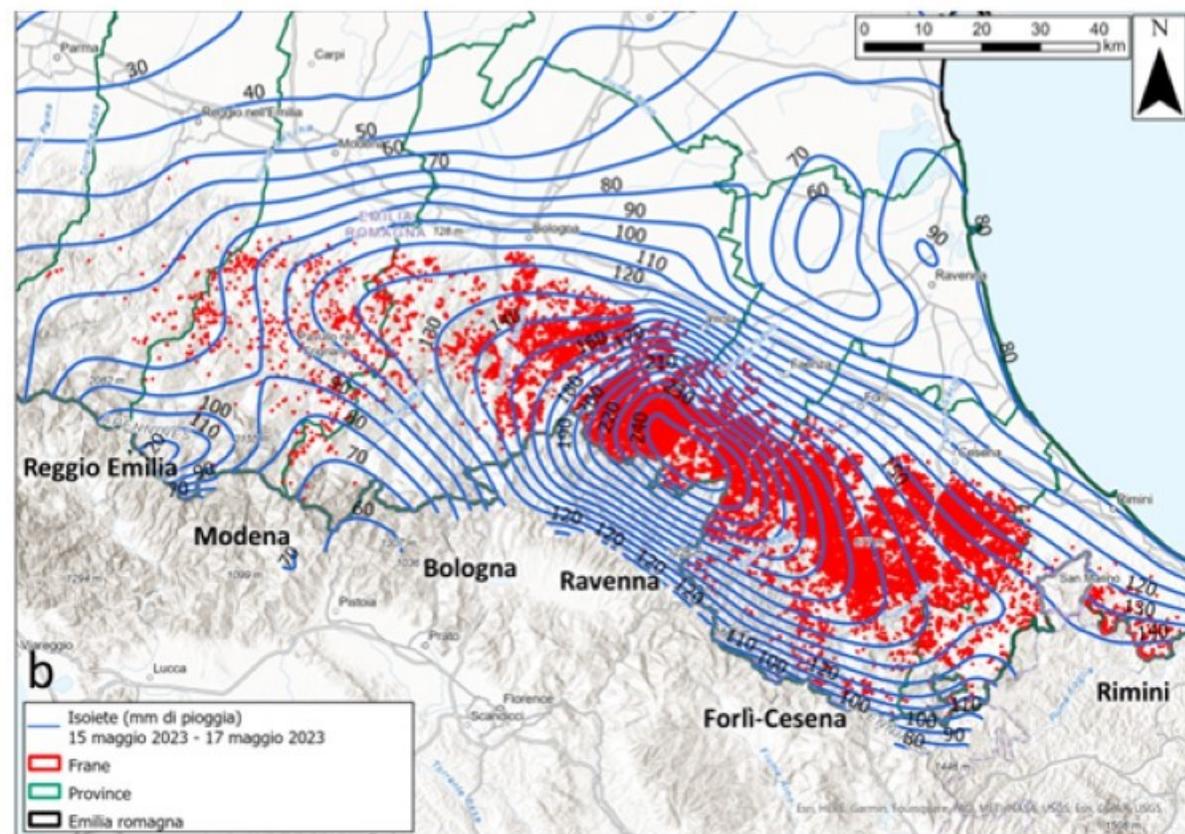
- scivolamenti rapidi in terra o detrito, di dimensioni medio-piccole, avvenuti su versanti ripidi, generalmente boscati
- colate in terra o detrito (canalizzate o non canalizzate), di dimensioni molto variabili avvenuti su versanti ripidi e coltre superficiale interessata con spessore limitato a decimetri o pochi metri
- scivolamenti in roccia, su piano di strato avvenuti su versanti, generalmente poco inclinati a franapoggio

Confronto con le isoiete dell'evento

- Maggiore densità di frana su aree con quantità massime di pioggia caduta nelle province di Bologna, Ravenna e Forlì-Cesena
- Secondo evento (15-17 maggio) caratterizzato da maggiore intensità ed estensione, per condizioni iniziali di totale saturazione, data la replica sequenziale dopo pochi giorni dal primo evento (1-3 maggio 2023)

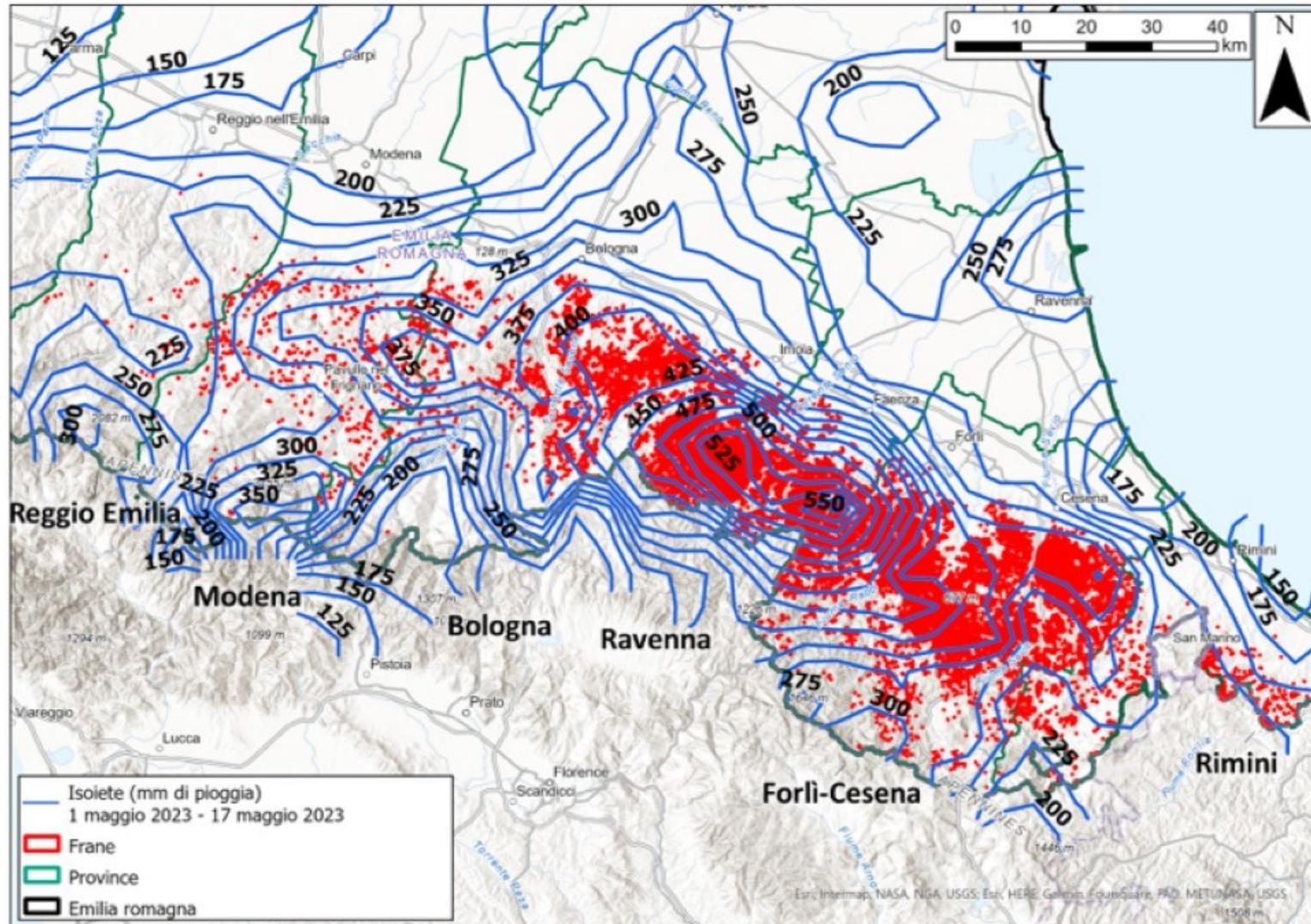


1-3 maggio 2023 con picchi massimi di 210 mm



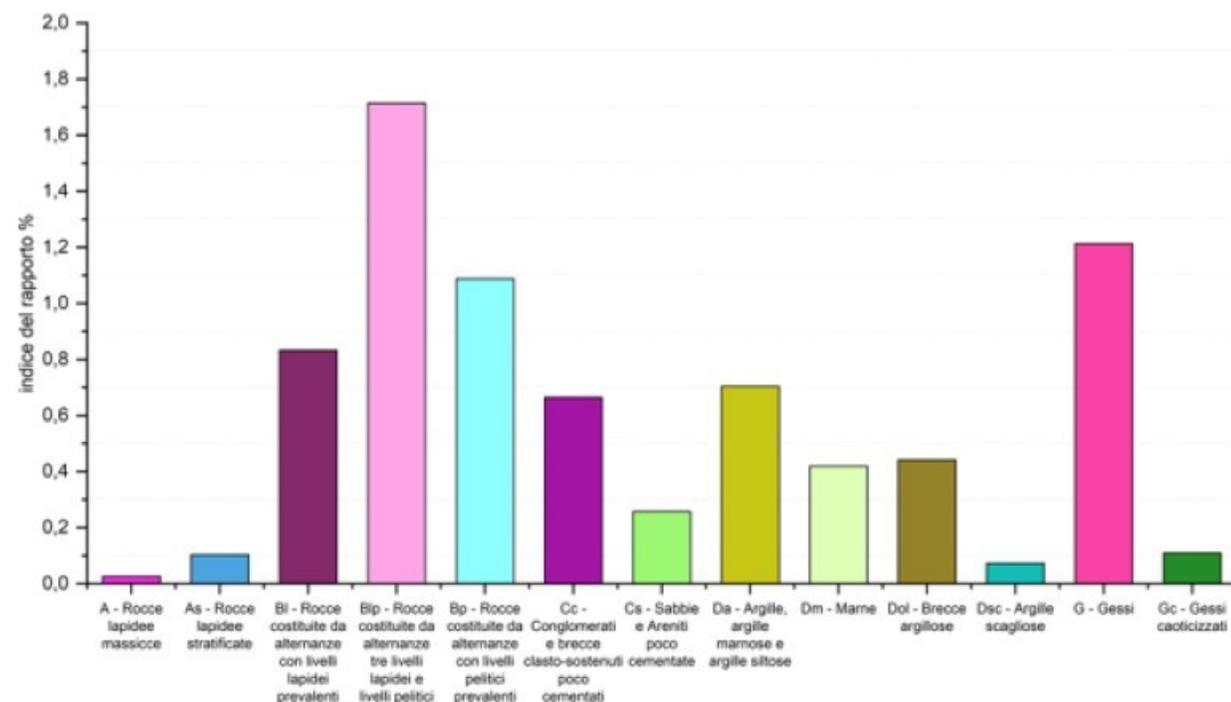
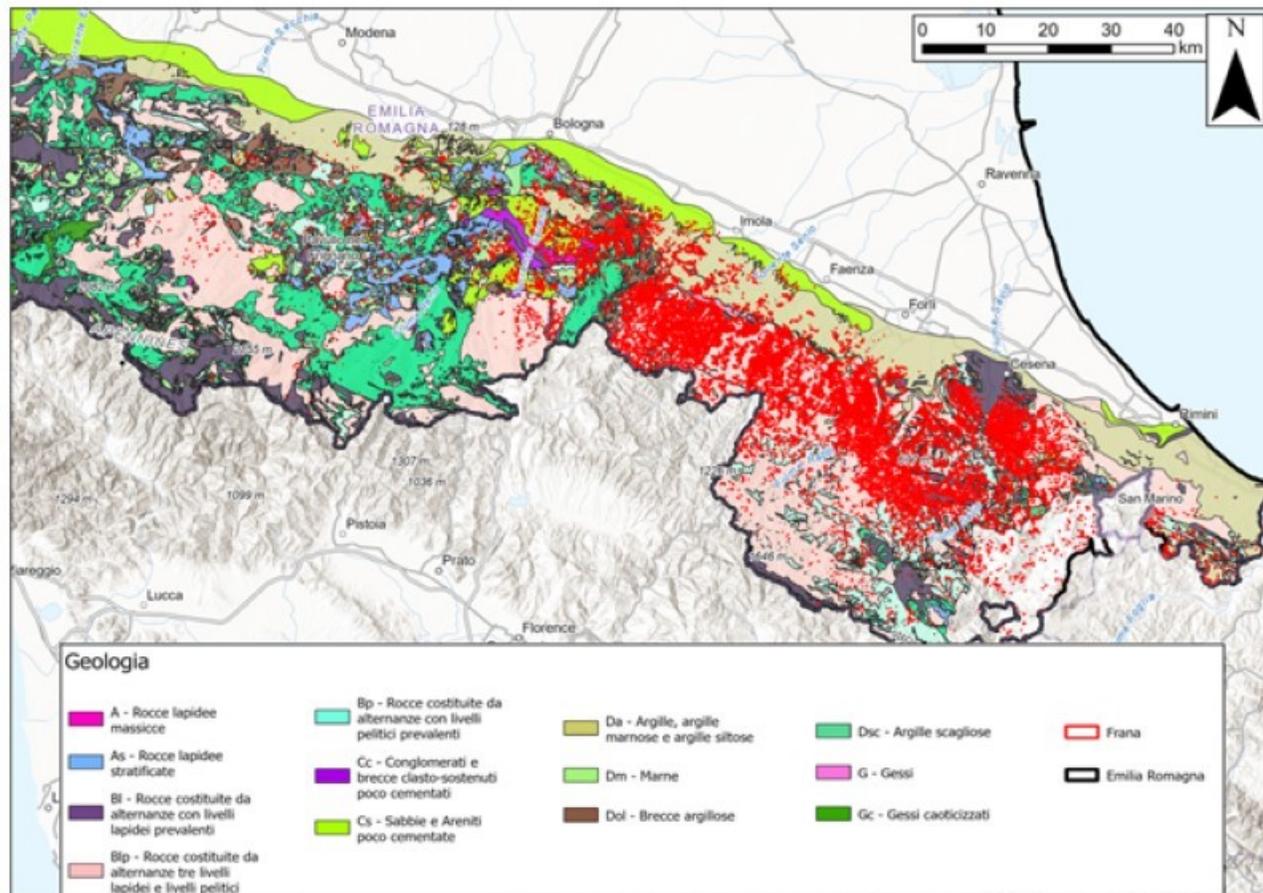
15-17 maggio 2023 con picchi massimi di 240 mm

Confronto con le isoiete dell'evento



maggio 2023 totale

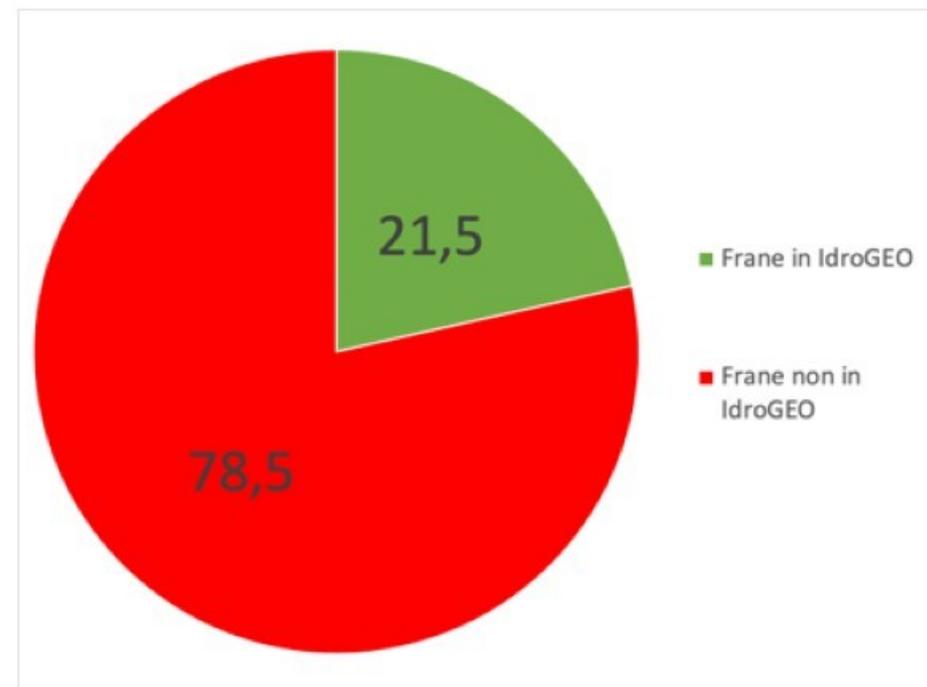
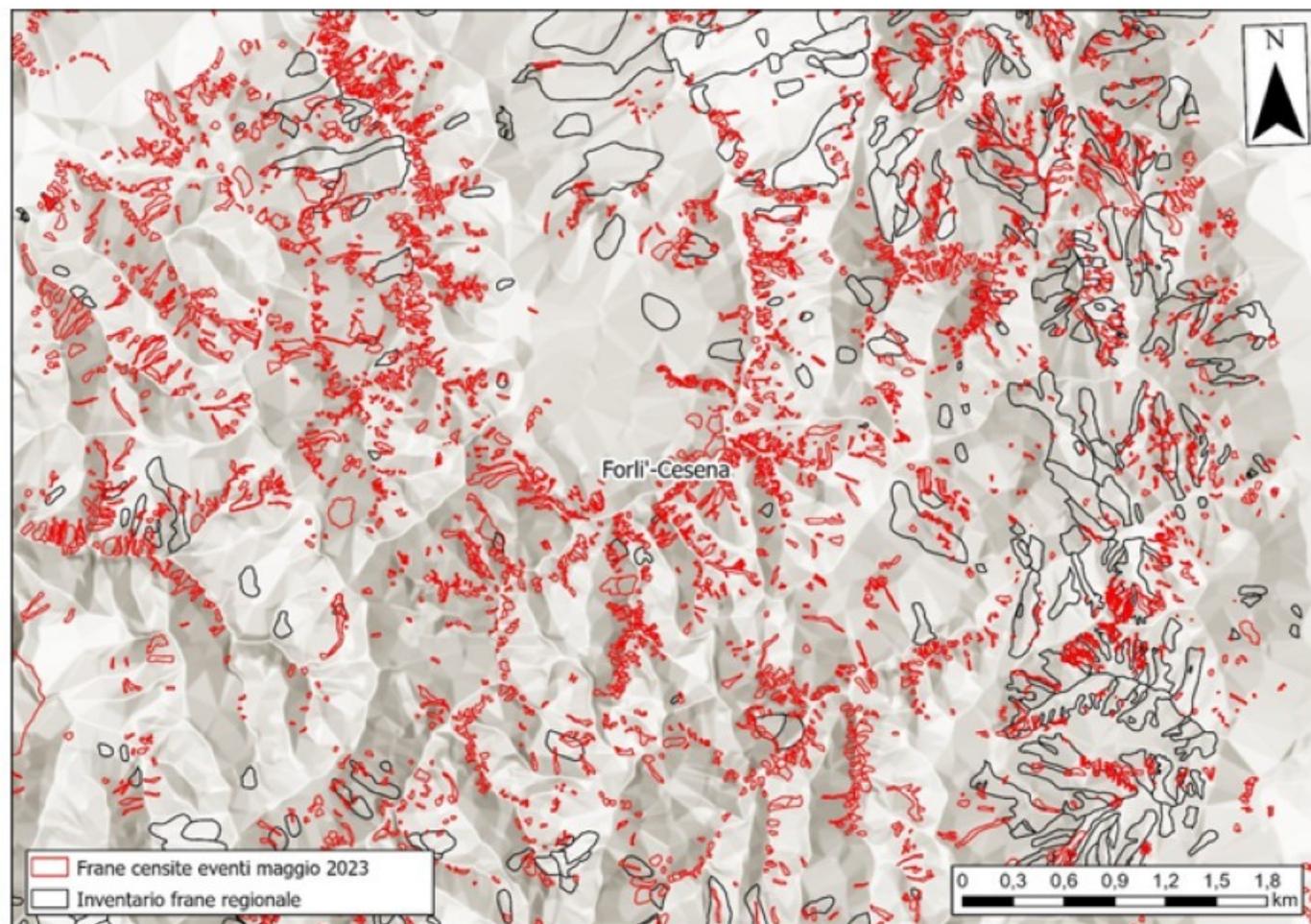
Confronto frane e litologia



Distribuzione dell'estensione areale in km² delle frane in relazione alle unità litologiche affioranti

- Stretta dipendenza delle frane con le Formazioni a litologia prevalentemente arenacea e/o strutturalmente complesse
- Maggiore area franata su rocce di tipo Flysch, costituite da alternanze tra livelli lapidei e livelli pelitici (47,5% del totale)

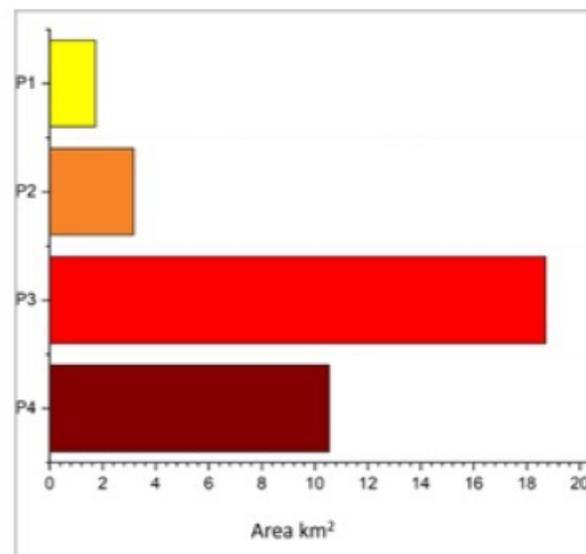
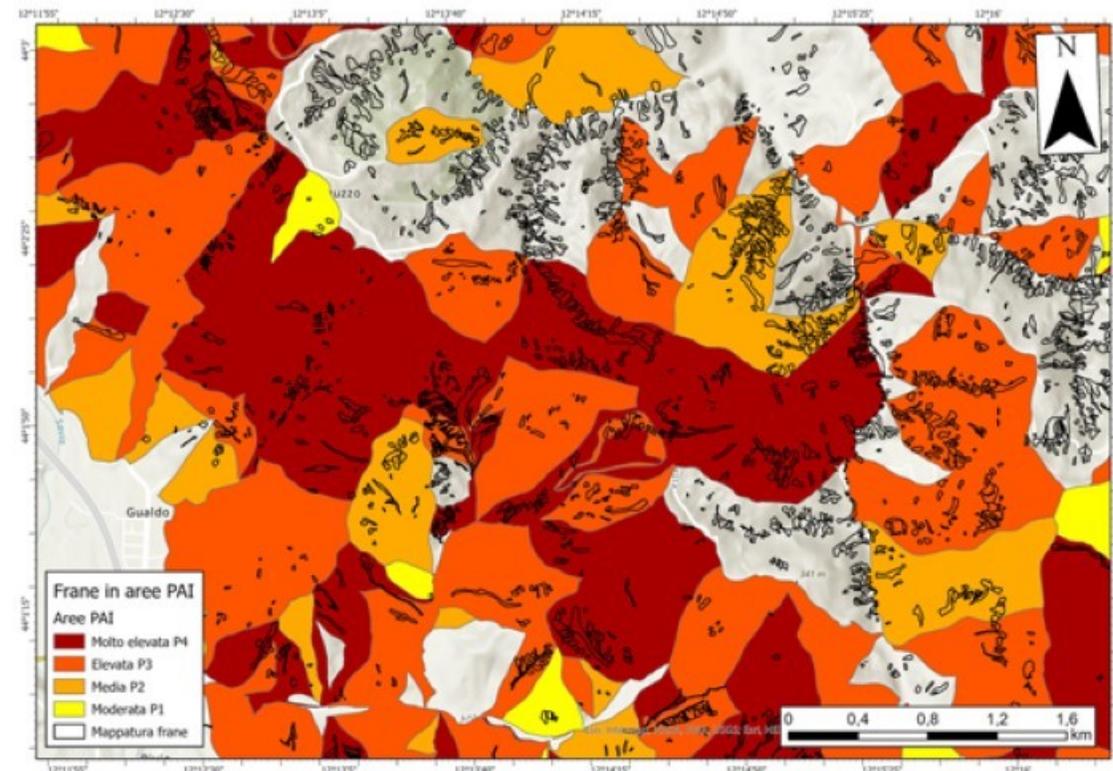
Confronto con la mappa inventario regionale delle frane



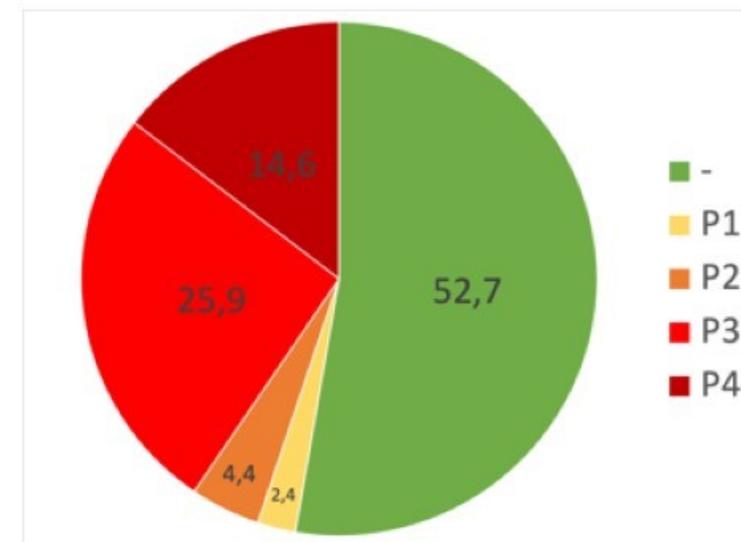
Distribuzione in percentuale delle aree in frana censite ricadenti nella mappa inventario regionale delle frane e nel geoportale IdroGeo di ISPRA

- Elevatissima densità di frane di neoformazione e di modeste dimensioni al di fuori delle vaste aree franose già note
- 78,5% delle frane avvenute ricade al di fuori della mappa inventario delle frane già note

Confronto frane e aree a pericolosità idrogeologica



Distribuzione areale delle frane rispetto alle aree PAI

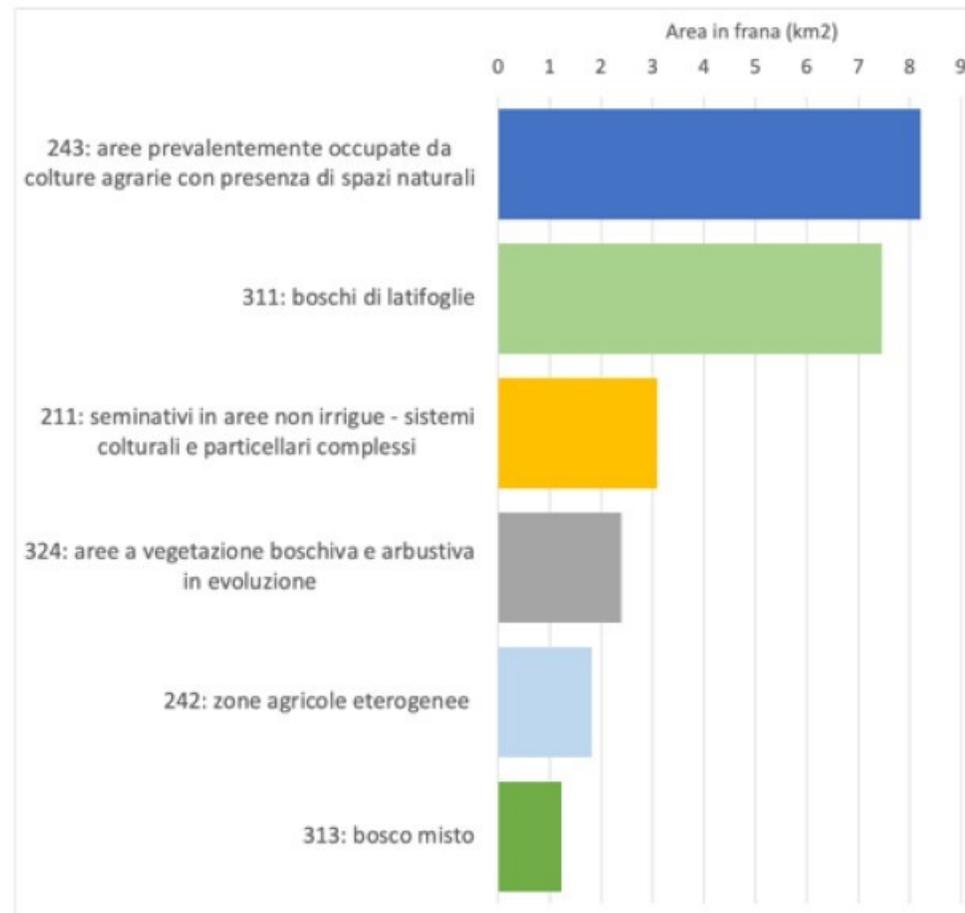
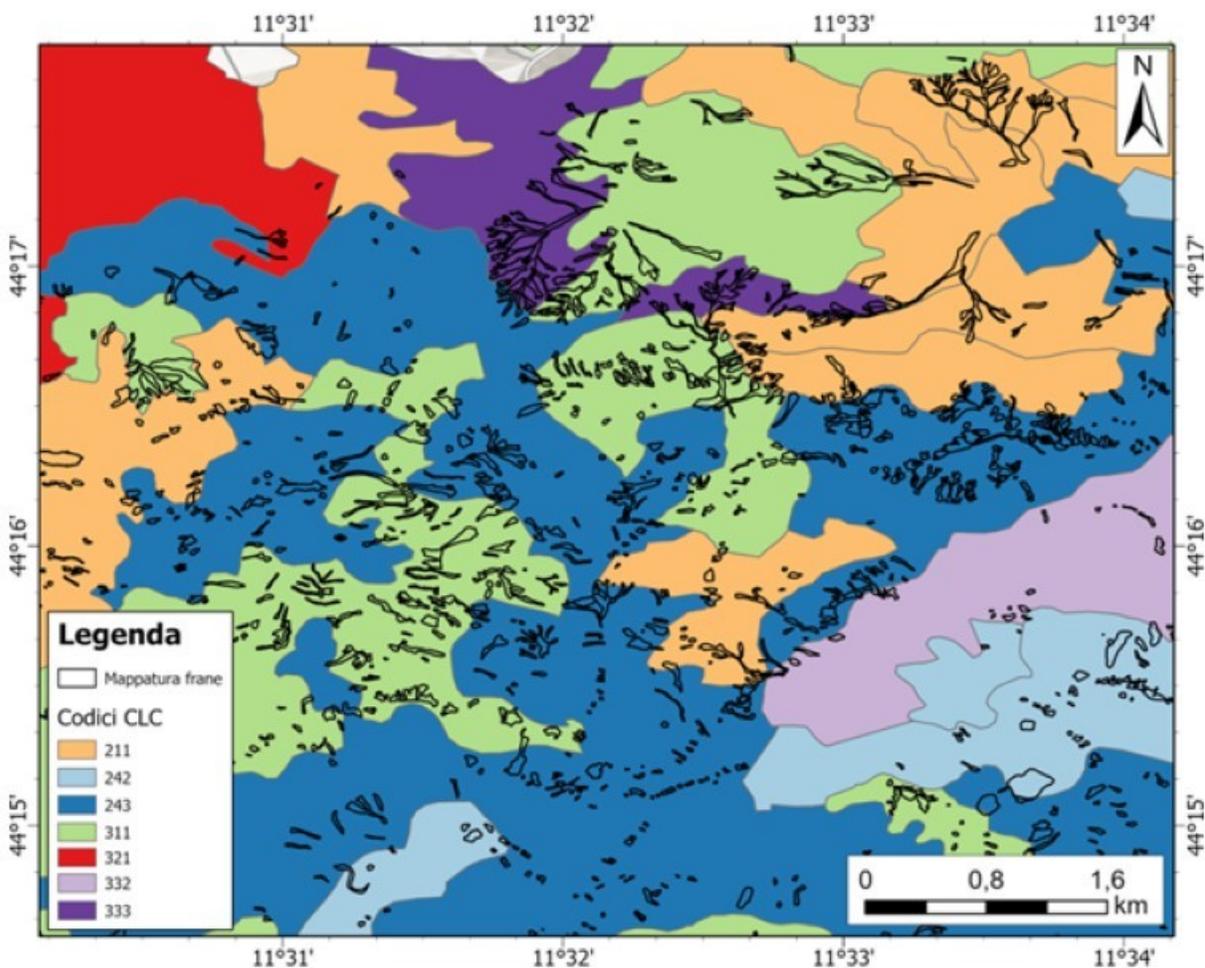


Distribuzione in percentuale dell'area in frana rispetto alle aree PAI

- Area totale in frana inclusa o intersecante le perimetrazioni di pericolosità PAI di 34,15 km² (47,3%)
- 52,7% delle frane ricade in aree non classificate PAI
- 40,5% delle frane ricade nelle classi P3 e P4

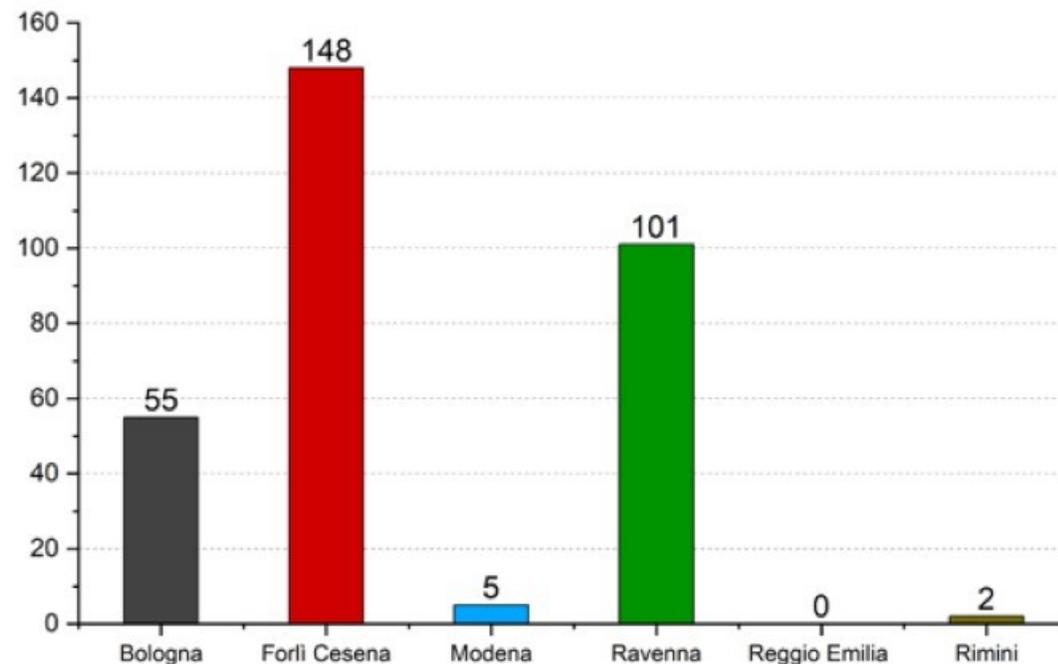
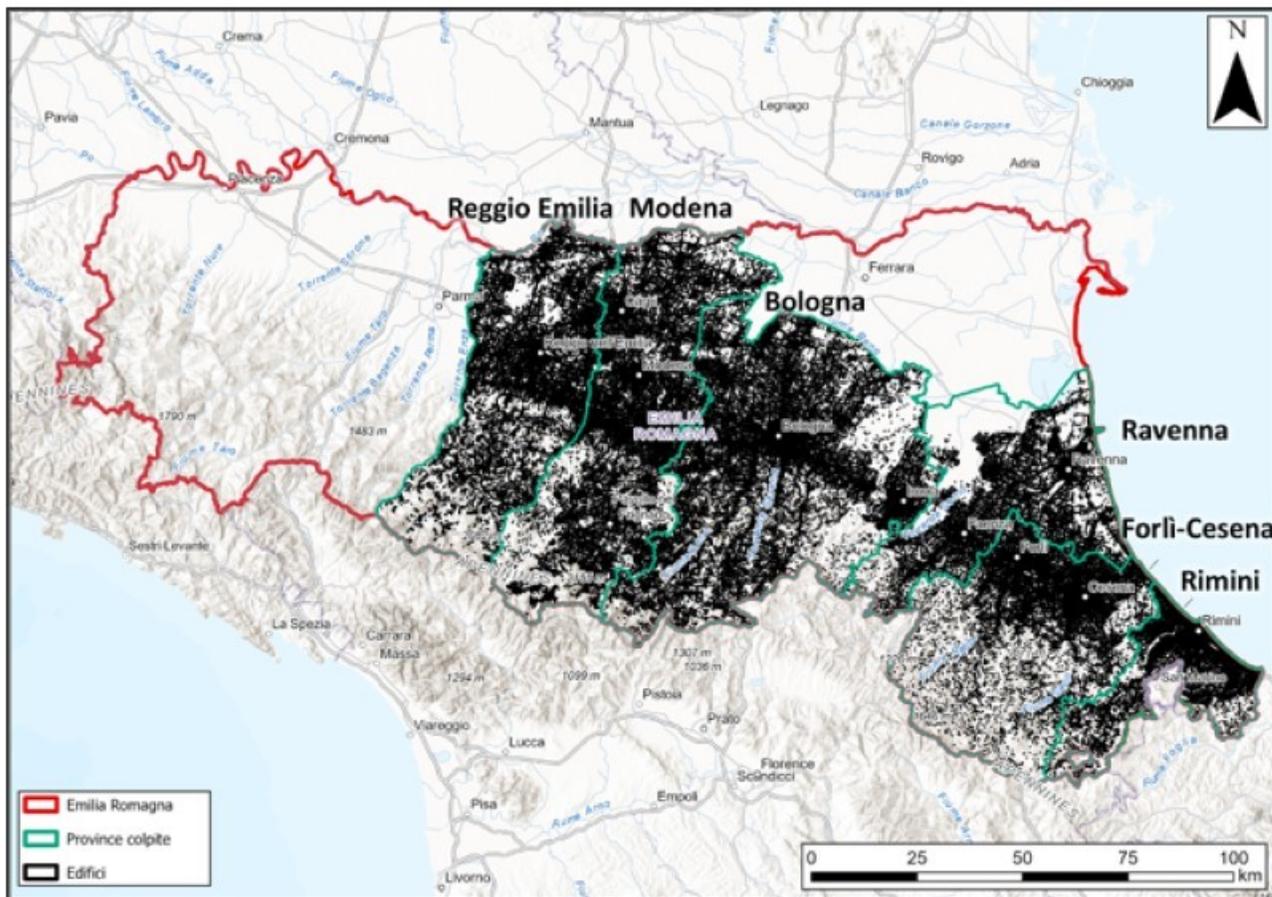
Classe di pericolosità	Area in frana (km ²)	Area in frana (%)
-	38,06	52,7
P1	1,72	2,4
P2	3,17	4,4
P3	18,71	25,9
P4	10,54	14,6
Totale	72,21	100,0

Confronto frane e uso del suolo



- Intersezione in ambiente GIS tra frane censite e la mappa dell'uso del suolo CORINE Land Cover aggiornata al 2018
- Maggioranza delle frane censite su territori agricoli in aree rurali e su aree boscate

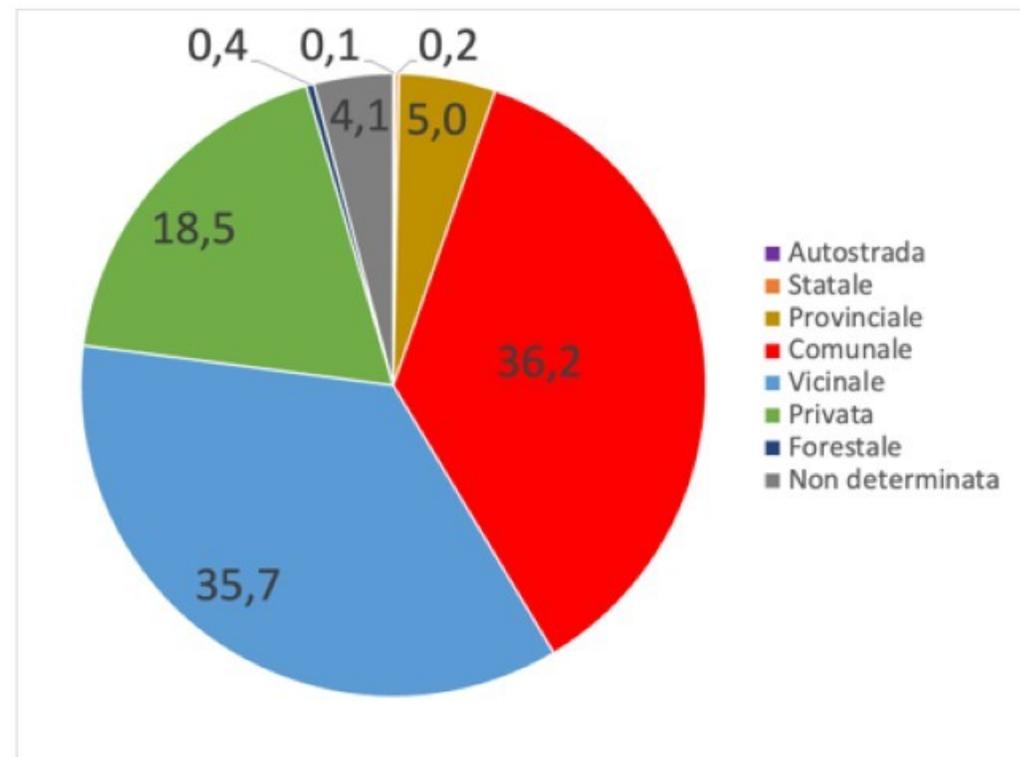
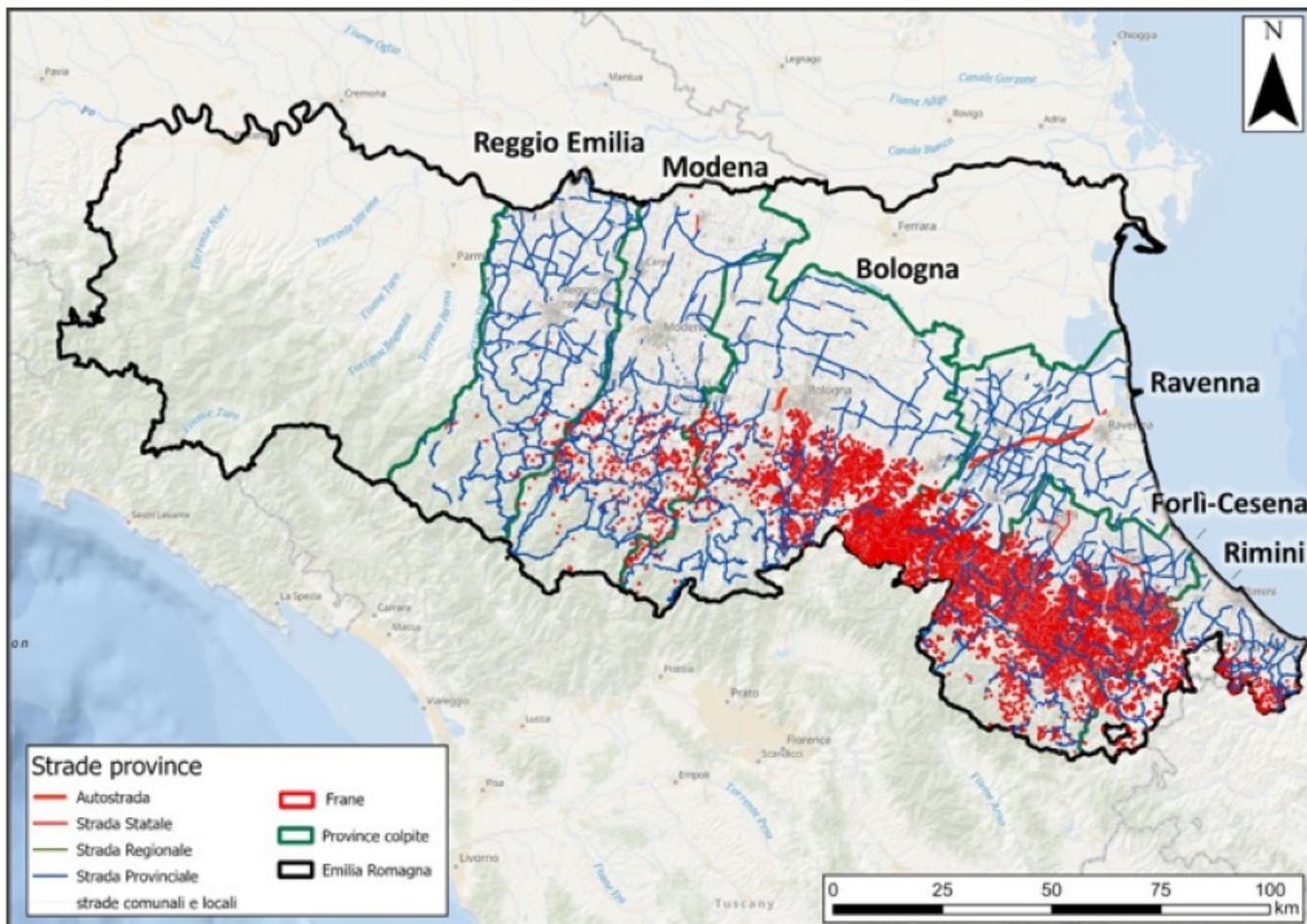
Impatto sugli edifici



Numero edifici coinvolti da frana

- Confronto con database GIS Regione Emilia-Romagna delle strutture delle 6 province coinvolte
- 311 Edifici e strutture coinvolti dall'impatto delle frane di maggio 2023

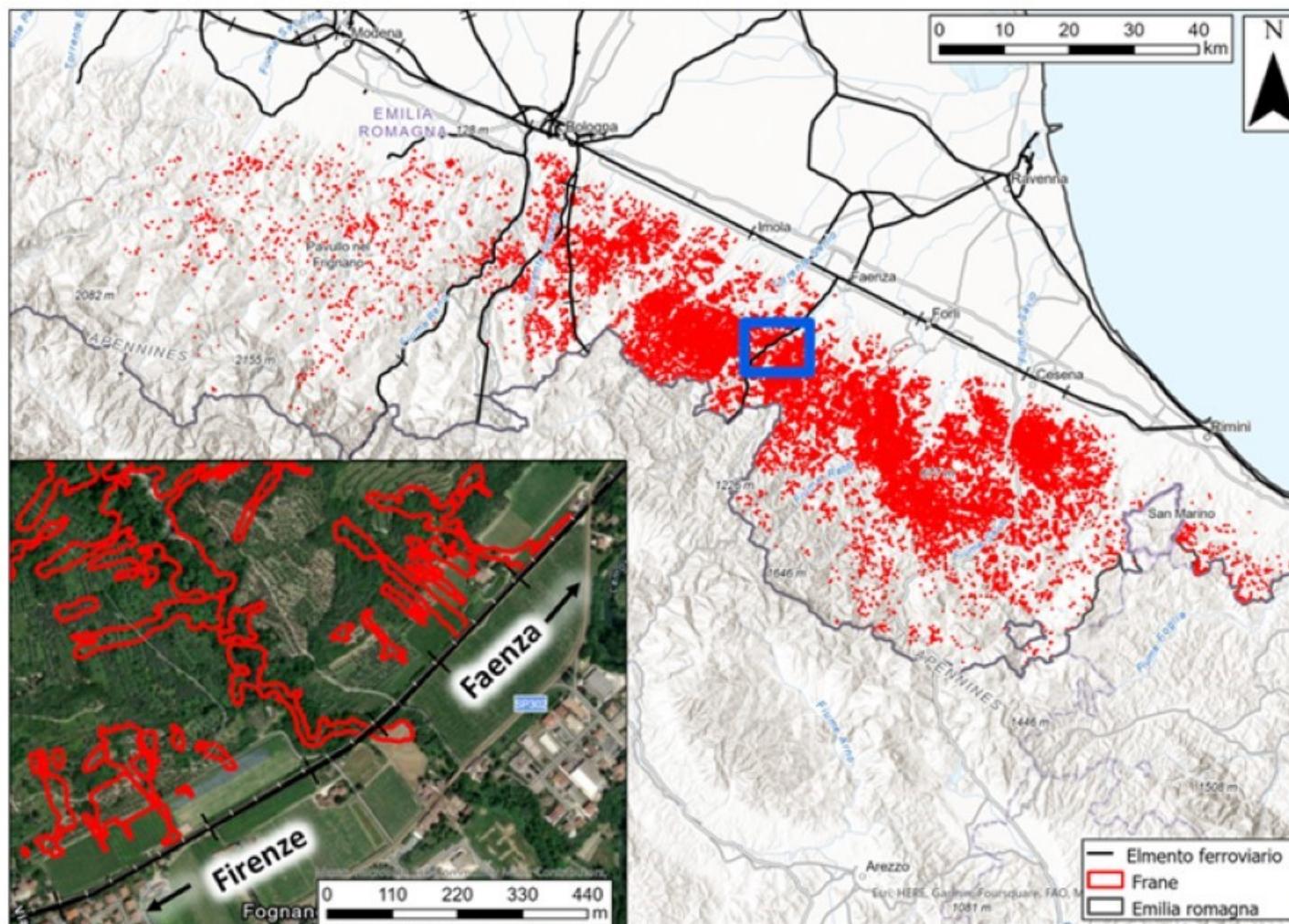
Impatto sulla rete stradale



Percentuali delle strade coinvolte da frana

- 1950 infrastrutture stradali sono state coinvolte da dissesto, pari al 3,6% dell'intero tracciato stradale delle 6 province
- Impatti maggiori su strade comunali, vicinali e private

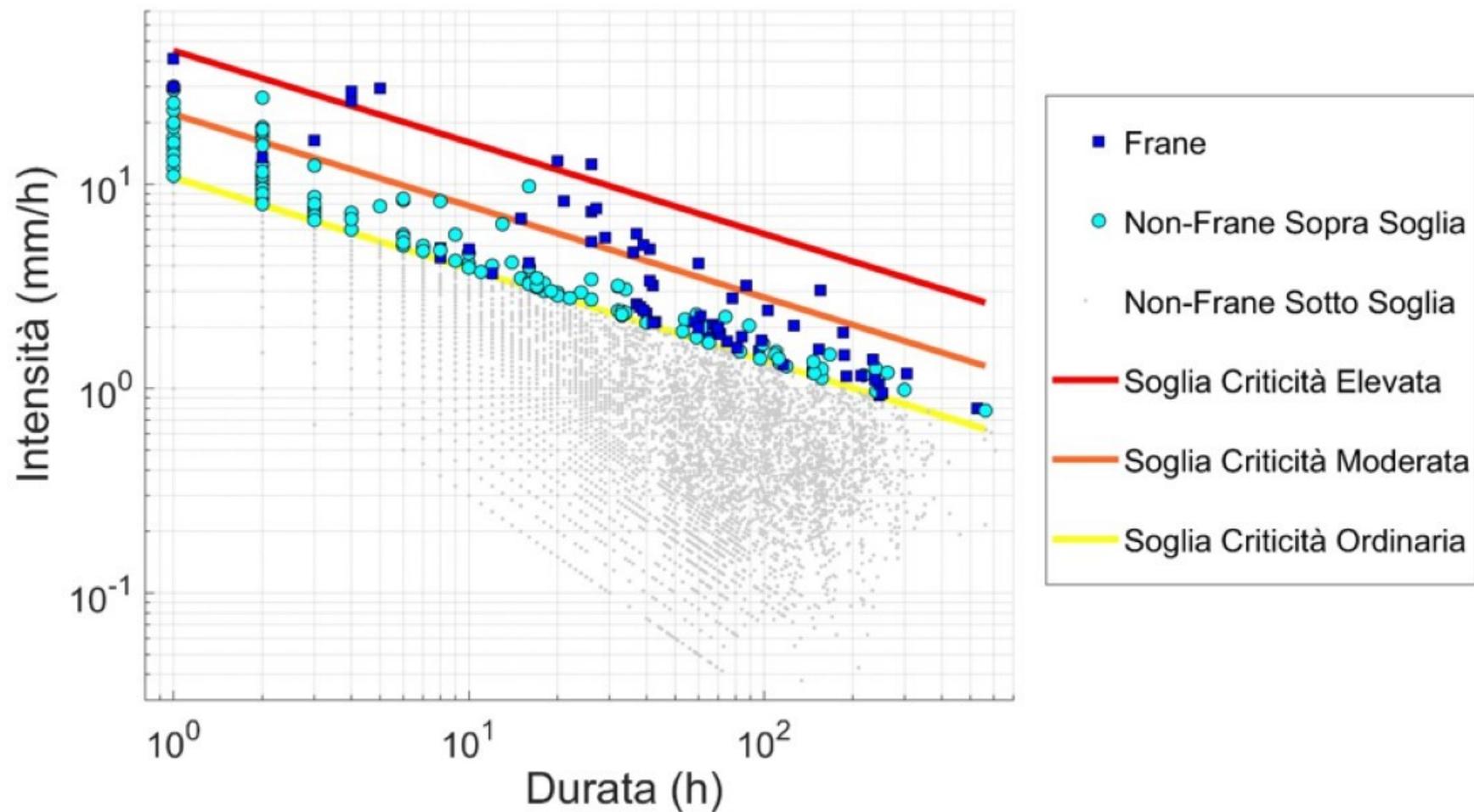
Impatto sulla rete ferroviaria



- 14 frane hanno coinvolto o rasentato in più punti tratti ferroviari, tra Bologna e Firenze, e tra Faenza e Firenze
- La ferrovia Faentina risulta quella più impattata, in particolare in provincia di Ravenna

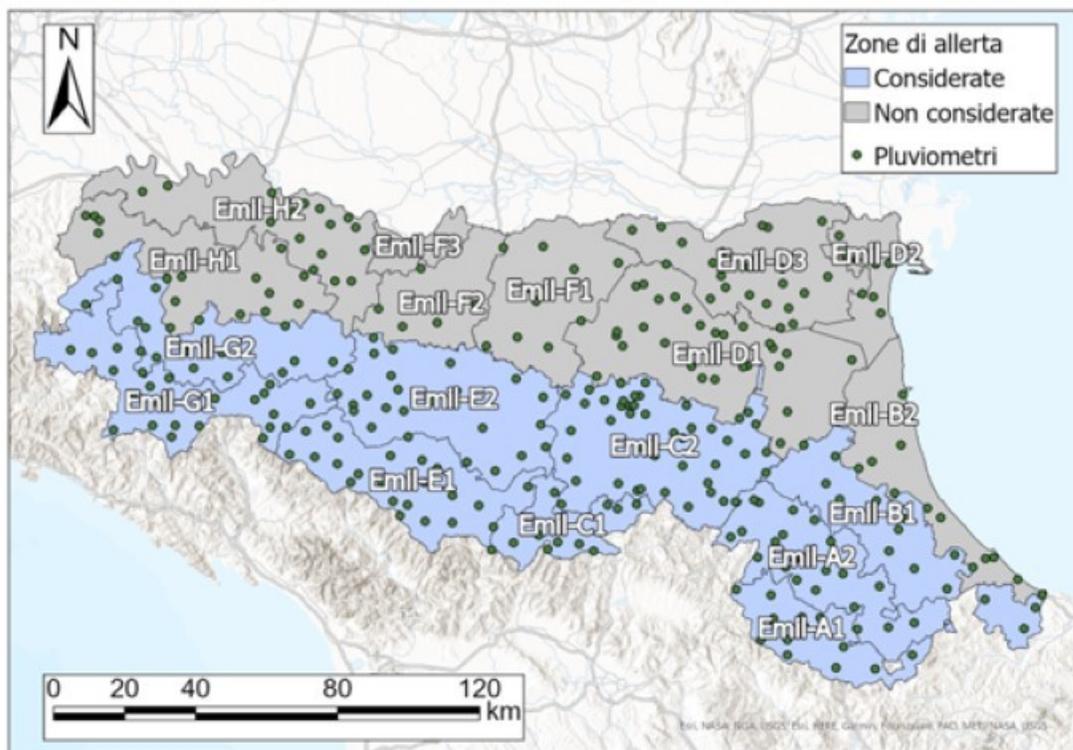
Confronto eventi pluviometrici e soglie d'innescamento

Soglie pluviometriche per ciascuna area di allertamento

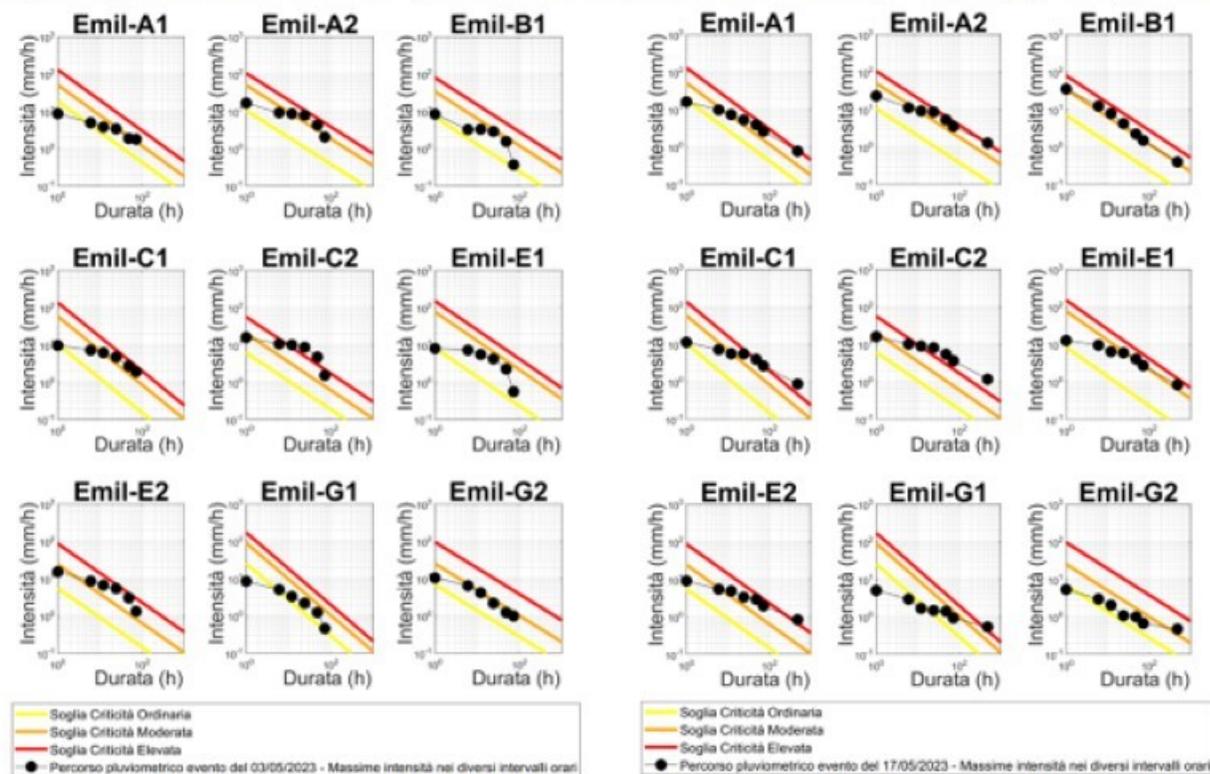


Confronto eventi pluviometrici e soglie d'innescò

Distribuzione pluviometri rete regionale e zone di allerta



Soglie pluviometriche (Convenzione RER-UNIFI) e piogge registrate

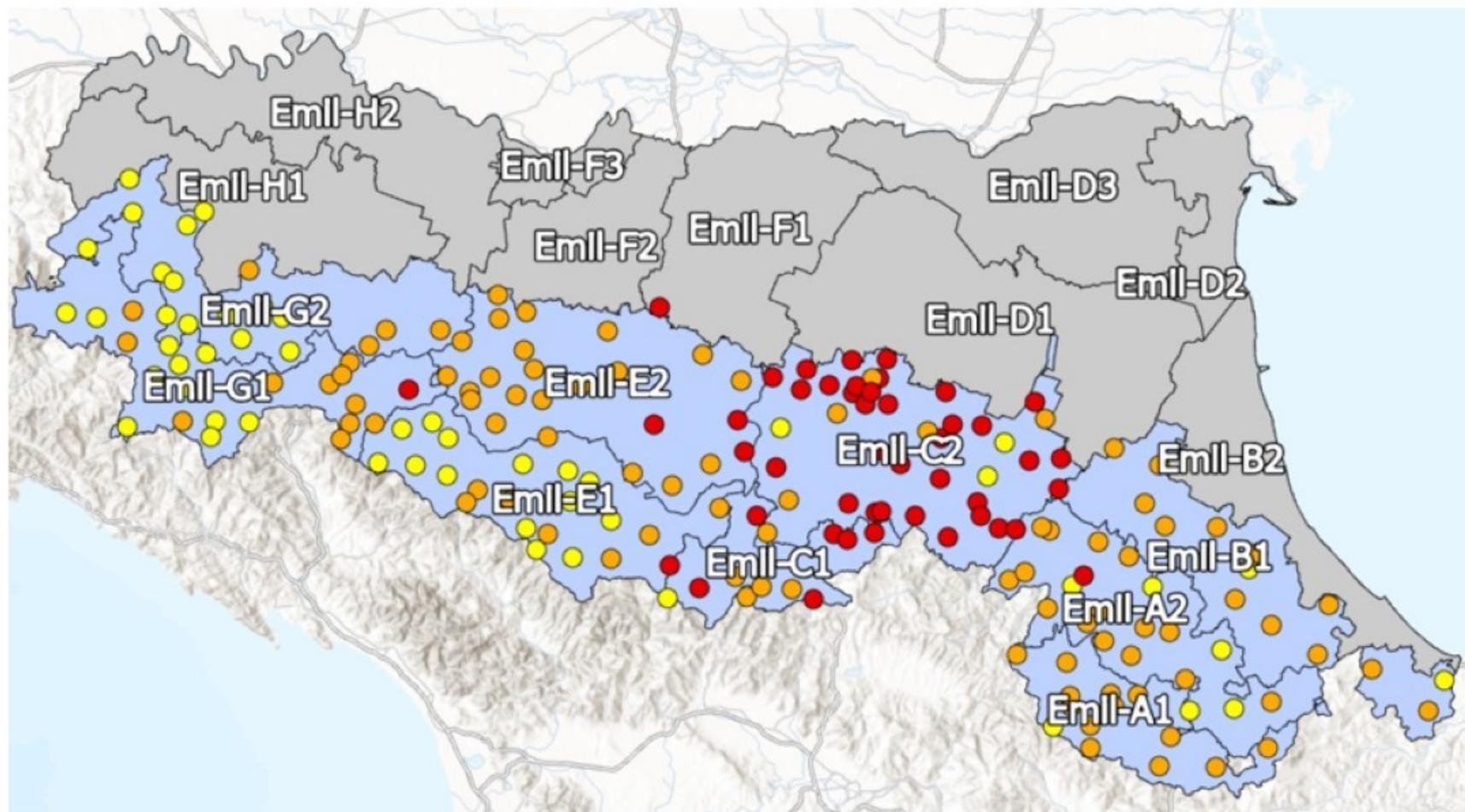


Evento 1-4 maggio 2023

Evento 15-18 maggio 2023

- Primo evento pluviometrico (1-4 maggio 2023): superamento delle soglie di criticità moderata in tutte le zone d'allerta centro-orientali (da Emil-A1 a Emil-E2), ad eccezione della Emil-E1
- Secondo evento pluviometrico (15-18 maggio 2023): superamento della soglia di criticità moderata in tutte le zone d'allerta e in molte zone d'allerta (A1, A2, C1, C2, E2, G1) superamento della soglia di criticità massima

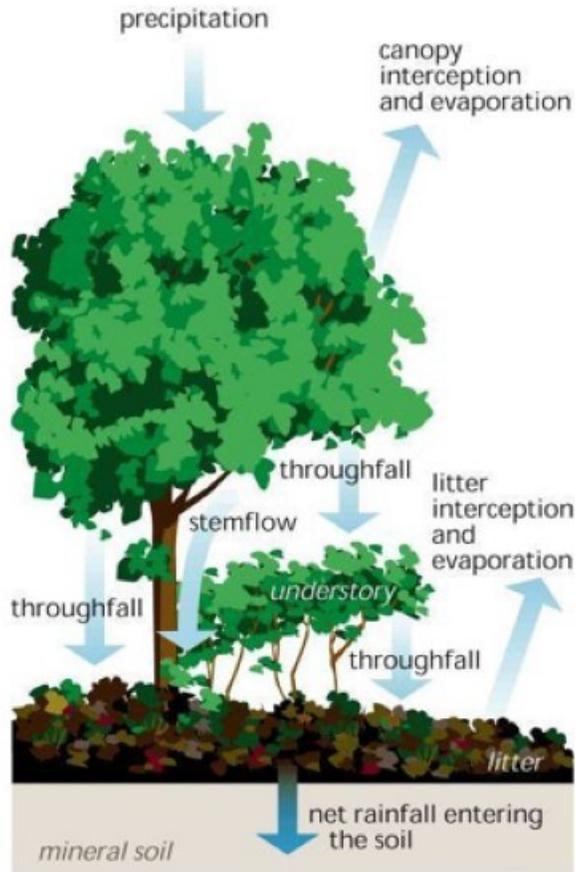
Confronto eventi pluviometrici e soglie d'innescò



Quadro sinottico delle condizioni più critiche registrate dai pluviometri ubicati nelle zone d'allerta analizzate nel corso del mese di maggio 2023

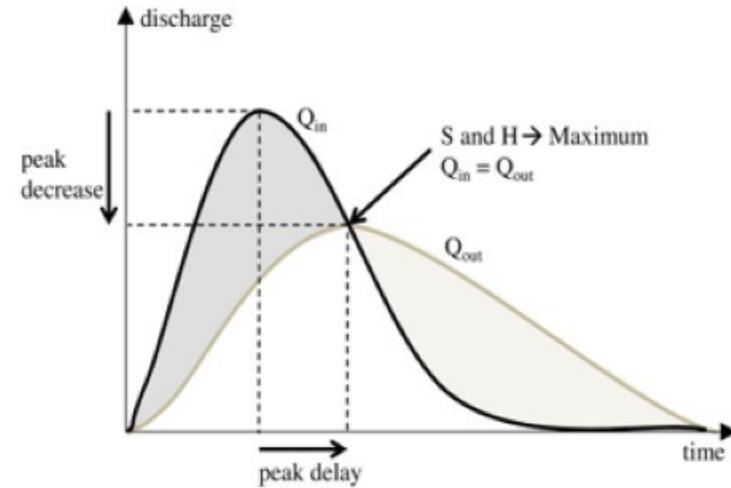
CARATTERIZZAZIONE DEI PRINCIPALI CAMBIAMENTI NELL'USO DEL SUOLO

Ruolo della copertura forestale nella regimazione delle acque



Quale è il ruolo delle foreste nel deflusso?

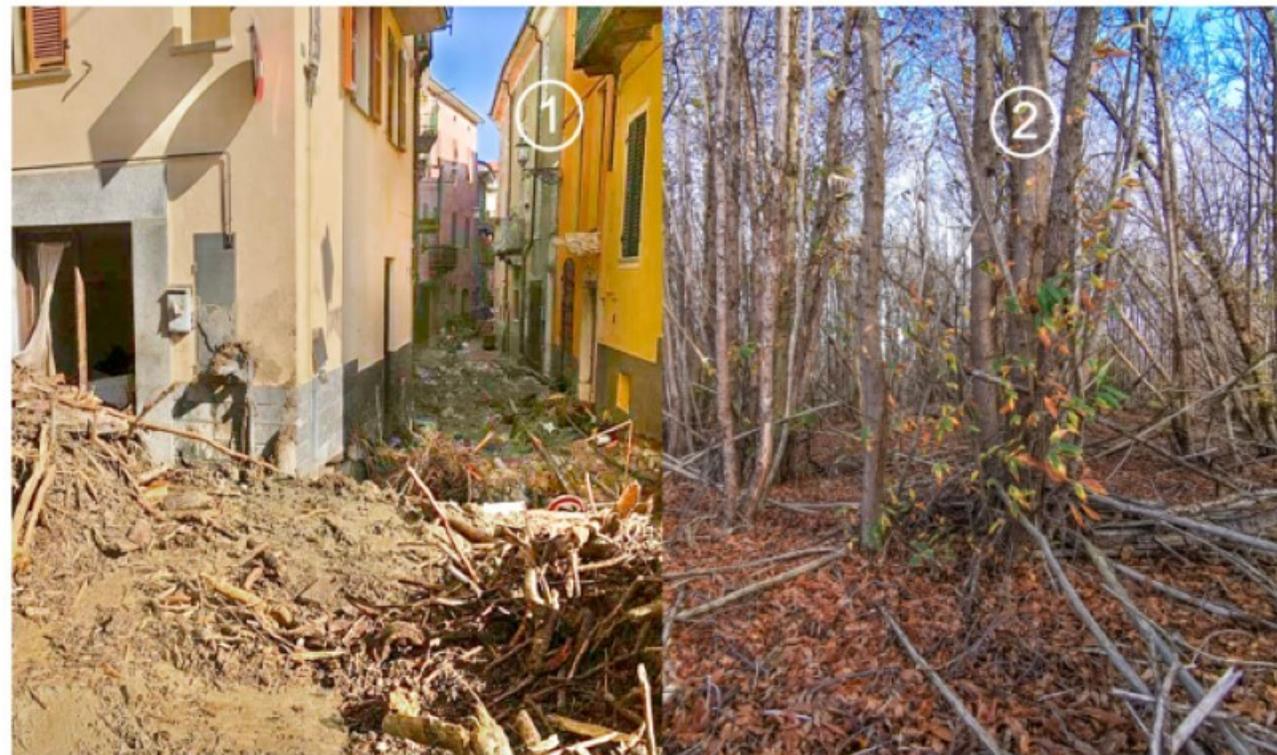
- 1) Riduzione del picco della portata e
- 2) Ritardo nel tempo delle ondate di piena



Ruolo della copertura forestale negli eventi eccezionali



Popolamenti intensamente utilizzati ed abbandonati (in particolare popolamenti cedui) possono dare origine a dissesti localizzati che favoriscono il dissesto.



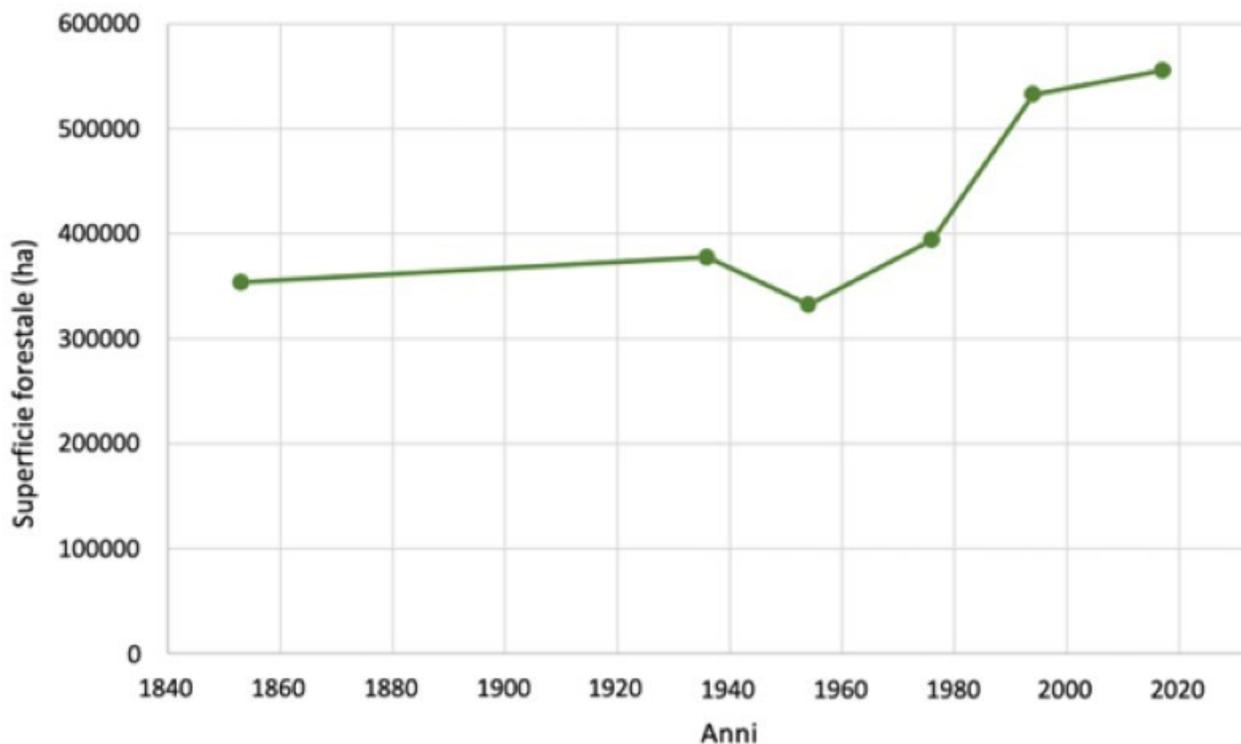
Nel corso degli ultimi decenni è aumentata la quota di detriti legnosi trasportati a valle dalle ondate di piena. La maggior parte di questi detriti non proviene dai boschi ripari ma dalle foreste situate nel bacino di origine

Le dinamiche della copertura forestale

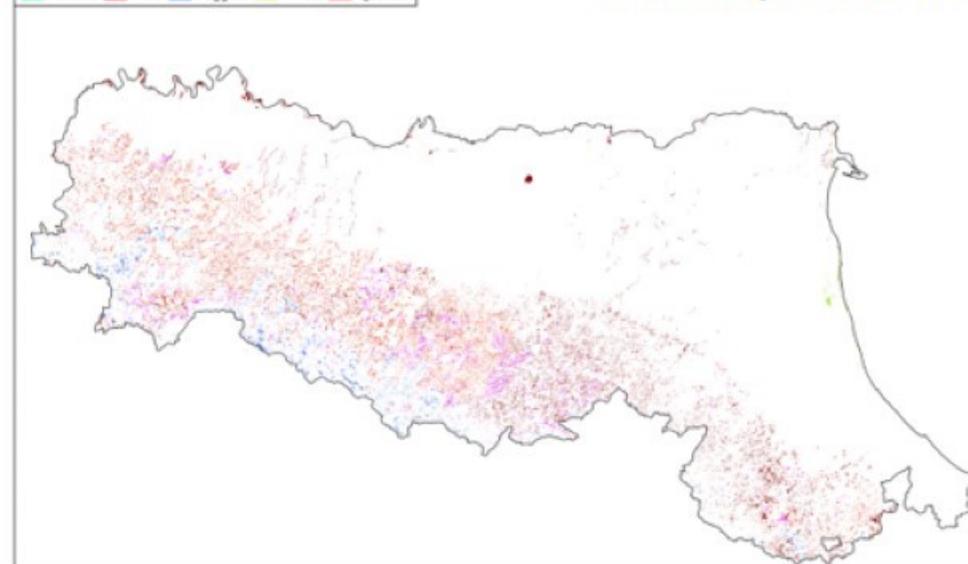
Copertura forestale (ha) della Regione Emilia-Romagna nel periodo 1853-2017

Anno	1853	1936	1954	1976	1994	2017
Superficie forestata (ha)	353442	377519	332029	394144	532633	555525

Regione Emilia-Romagna: evoluzione degli usi del suolo

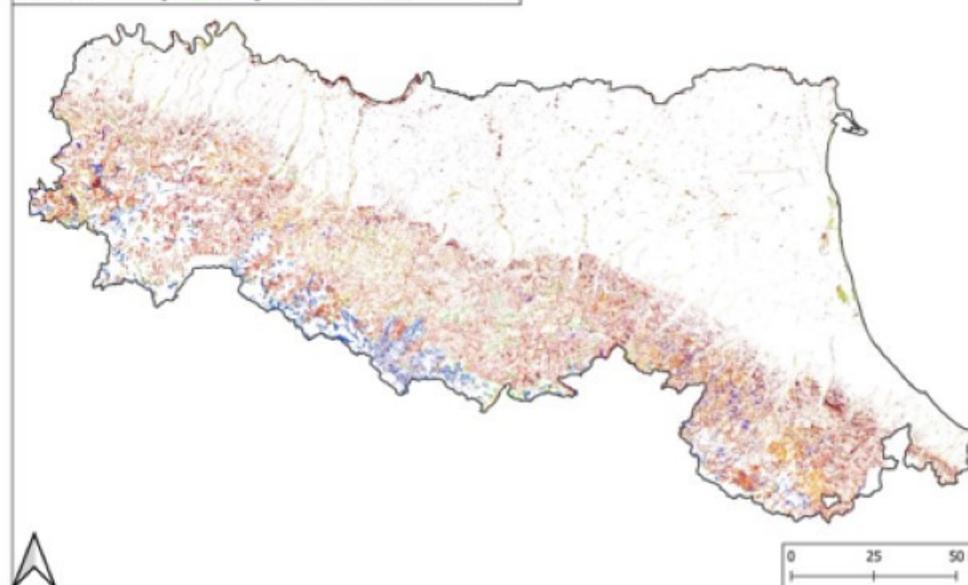


Aree non più boscate - Categorie forestali



Aree non più boscate

Copertura forestale neoformazione - Categorie forestali



La **copertura forestale** regionale ha avuto un **forte incremento** passando dal 18,7% del 1936 al 28,4% del 2014. **Nelle aree collinari e montane** dove la copertura forestale è quasi **raddoppiata**.

Si è avuta anche una **netta riduzione delle aziende agricole** e una riduzione, in termini relativi minore, della SAU. Forte **crescita della SAU media per azienda** che è passata da 8,3 a 15,3 ettari.

L'aumento di **copertura forestale**, abbinato alla **diminuzione di manutenzione** del territorio agricolo, può essere controproducente in caso di eventi pluviometrici estremi (maggiore competizione riduce la resistenza meccanica indebolendo il popolamento e **maggiore mortalità della vegetazione**); mettendo in **pericolo infrastrutture lungo i corsi d'acqua**.

La **minore manutenzione della rete idraulica minore**, dei terrazzamenti e delle strutture costruite nei secoli dall'uomo quali muretti a secco contribuisce ad aumentare dissesti locali che possono dare origine a frane.

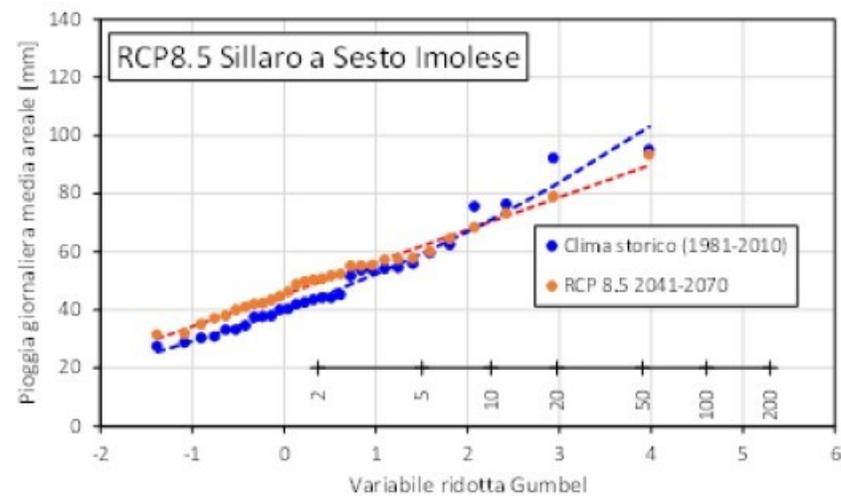
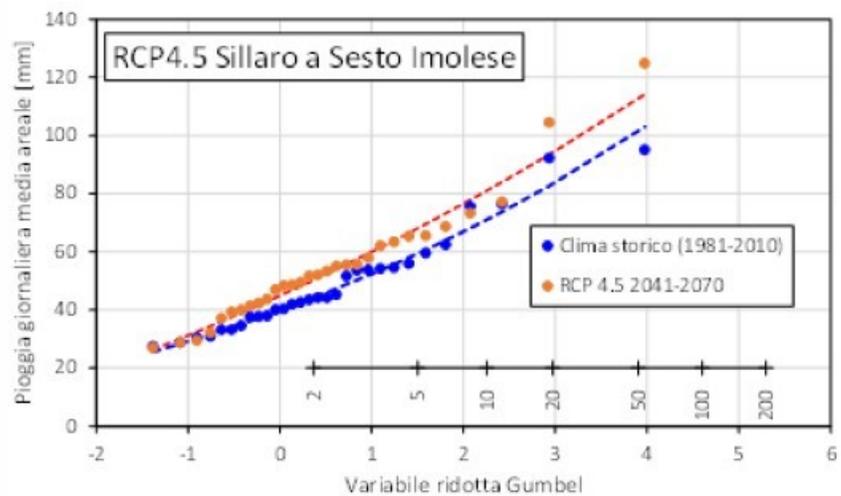
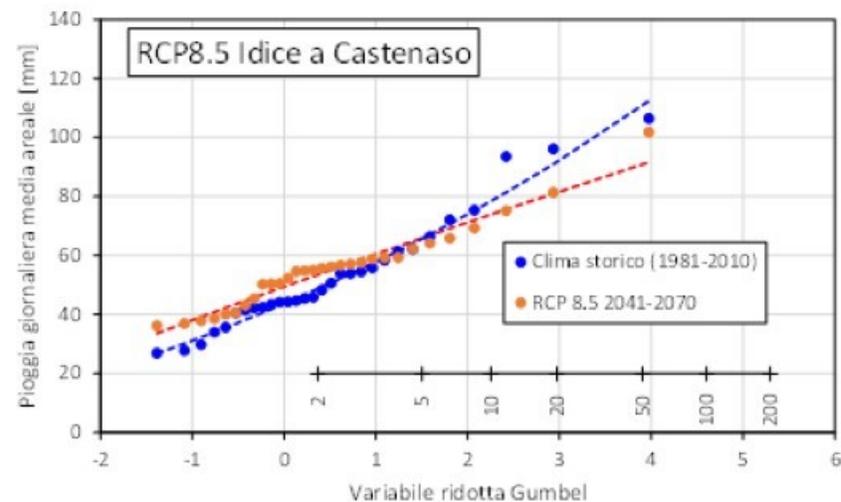
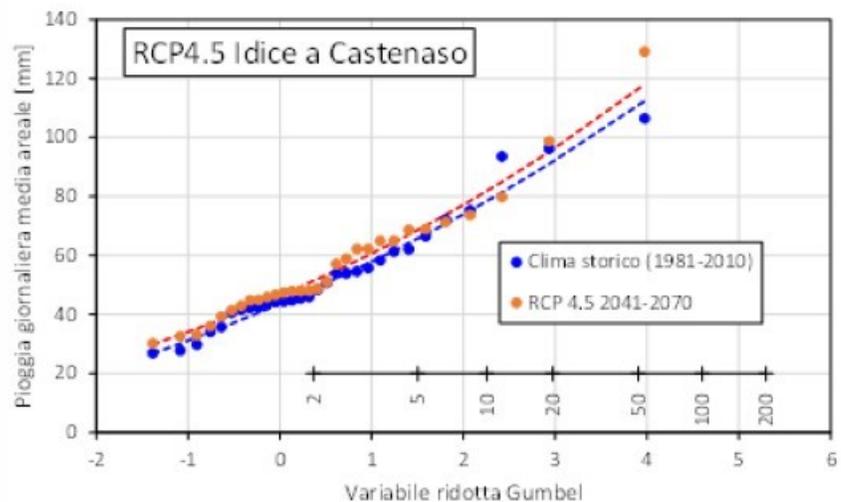
Particolare attenzione merita la **gestione della vegetazione riparia**, che svolge importanti funzioni di interfaccia, lungo tutto il corso d'acqua ma che **deve essere gestita con attenzione valutando i trade-off** tra i benefici derivanti da tutti i **servizi ecosistemici svolti** e l'**incremento di rischio idraulico** che consegue al suo incontrollato sviluppo.

CAMBIAMENTI ATTESI DELLE FORZANTI IDROLOGICHE NEGLI SCENARI CLIMATICI FUTURI

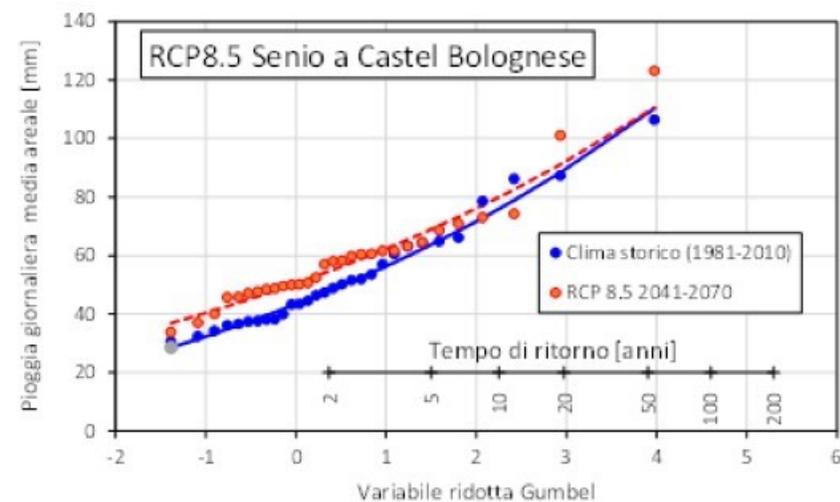
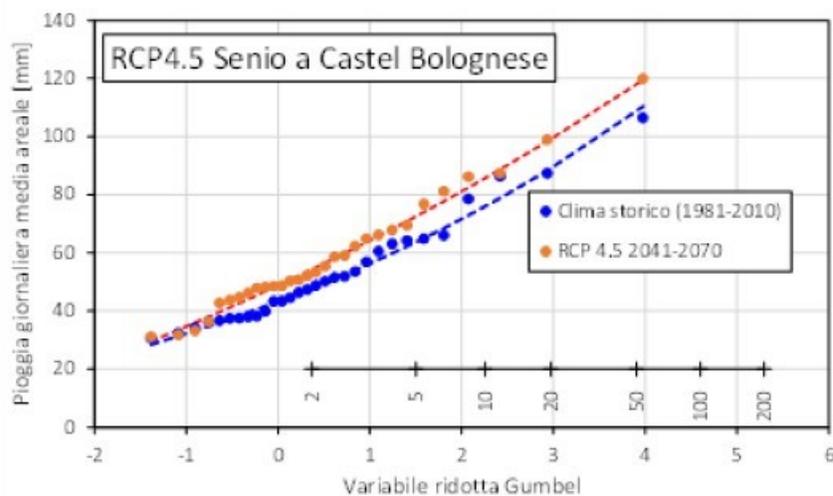
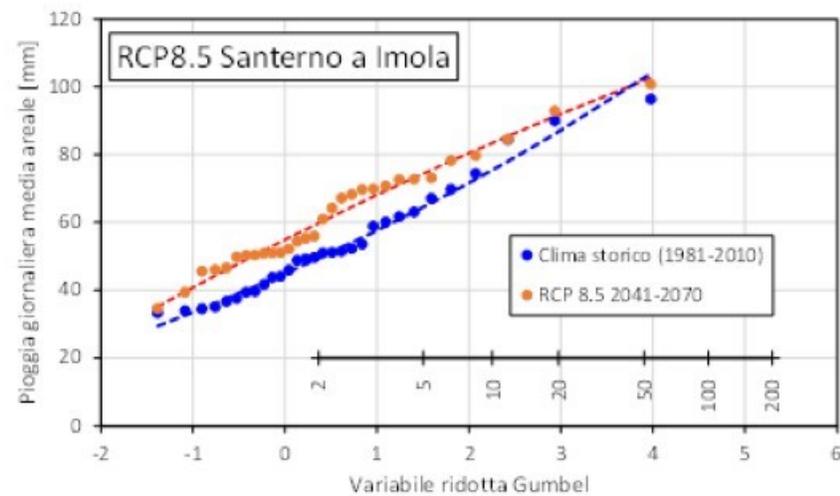
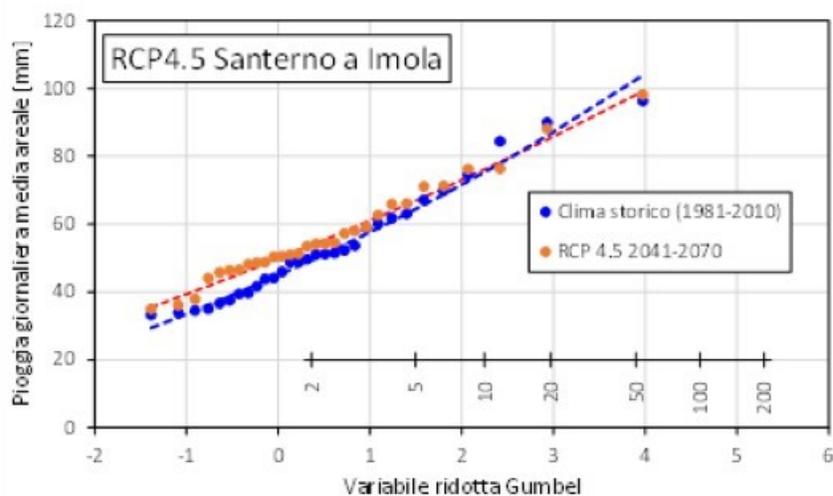
Analisi effettuate usando diversi scenari delineati dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) nell'ambito del CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project 5)

- Serie temporali **giornaliere** di precipitazioni ottenute a partire dalla simulazione **Italy8km-CM**, alla risoluzione **8 kmx8km**. Simulazione climatica per il clima futuro per gli scenari IPCC **RCP4.5** e **RCP8.5** per il periodo **2006-2100**.
- **Serie temporali orarie** di precipitazioni ottenute a partire dal modello di tipo “convection permitting” denominato **VHR-PRO_IT**. Simulazione climatica per il clima futuro per gli scenari IPCC RCP4.5 e RCP8.5 sull'intero territorio italiano **alla risoluzione di circa 2 km x 2km**, periodo **2006-2070**; ipotesi di scenario IPCC RCP4.5 e RCP8.5
- Sviluppate dal CMCC

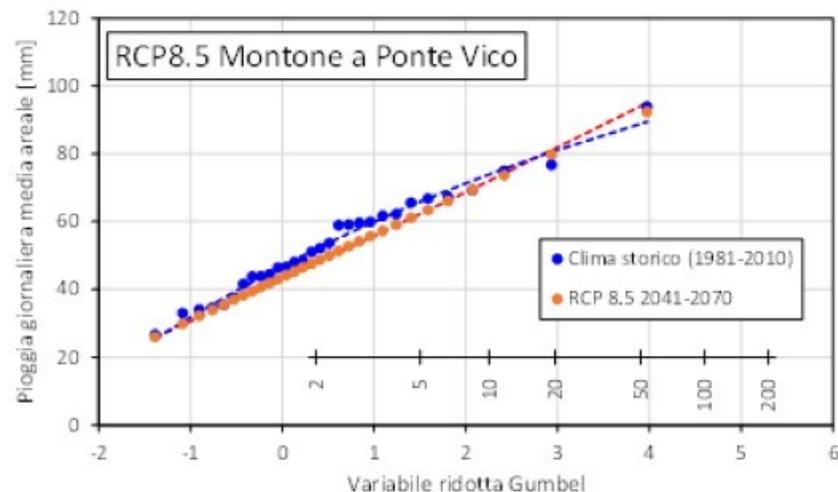
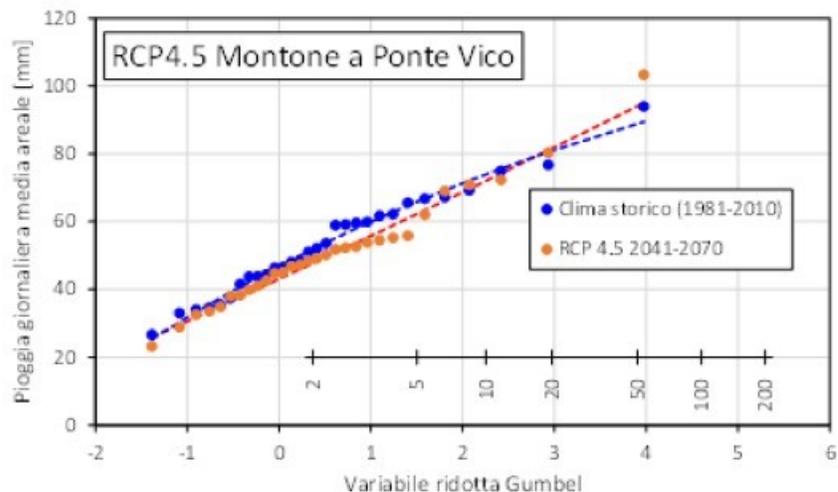
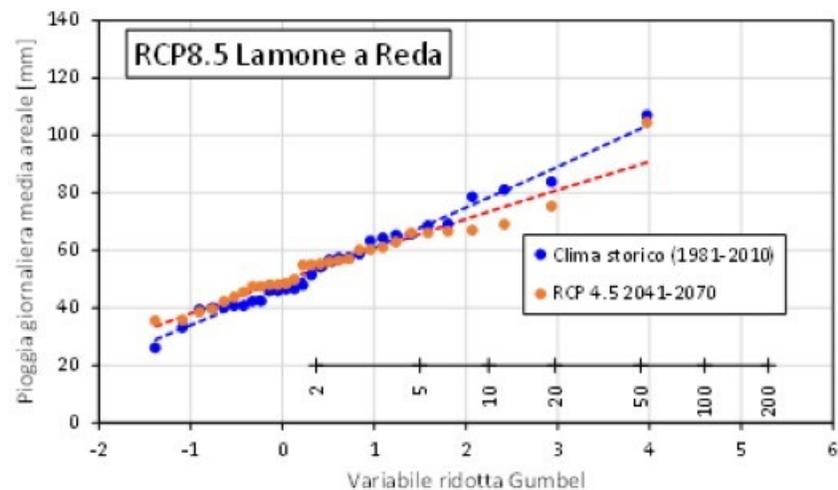
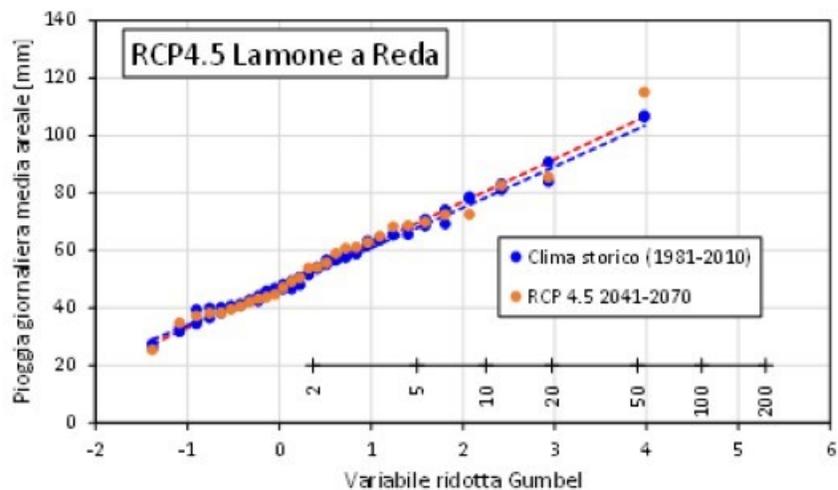
Analisi dei cambiamenti attesi nei valori estremi delle piogge giornaliere



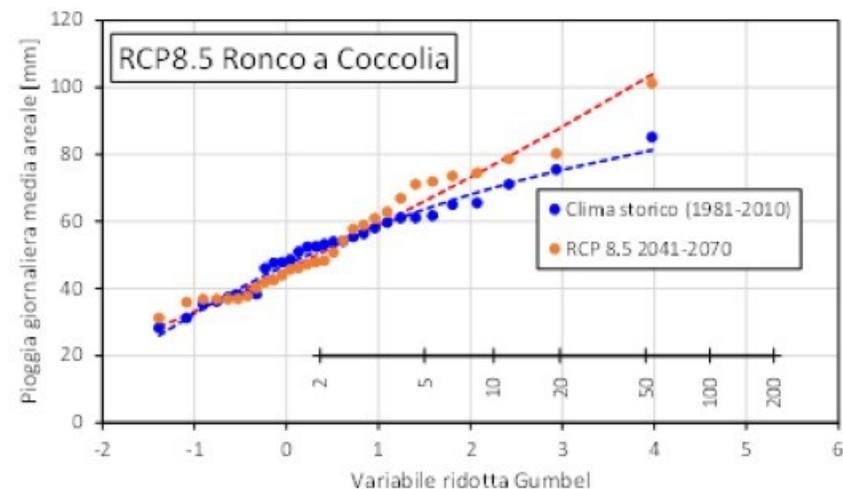
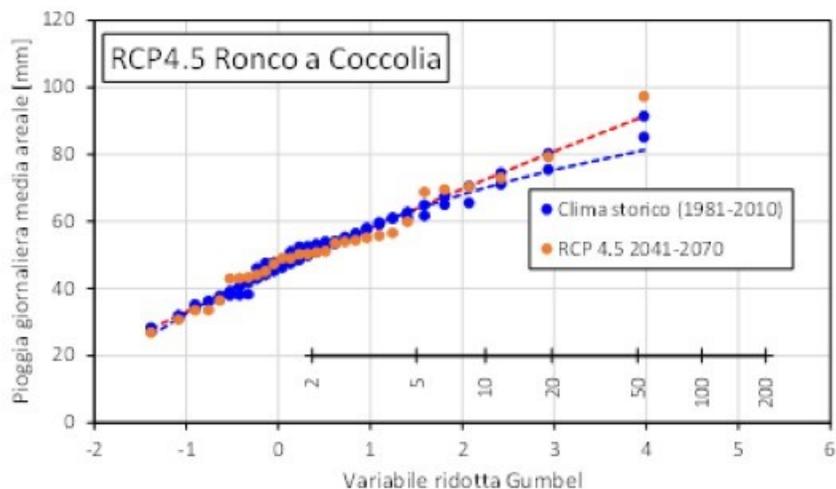
Analisi dei cambiamenti attesi nei valori estremi delle piogge giornaliere



Analisi dei cambiamenti attesi nei valori estremi delle piogge giornaliere



Analisi dei cambiamenti attesi nei valori estremi delle piogge giornaliere



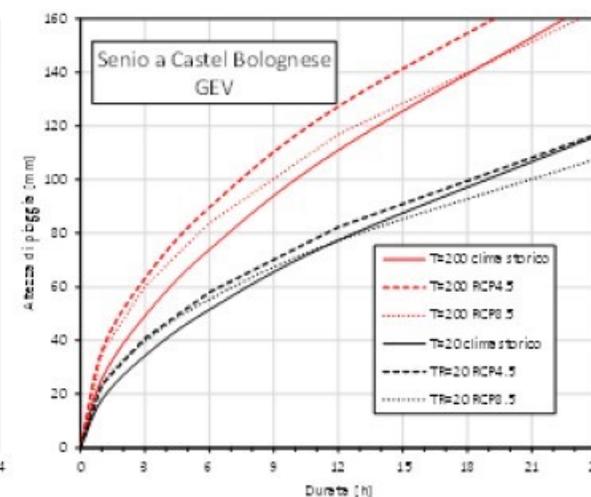
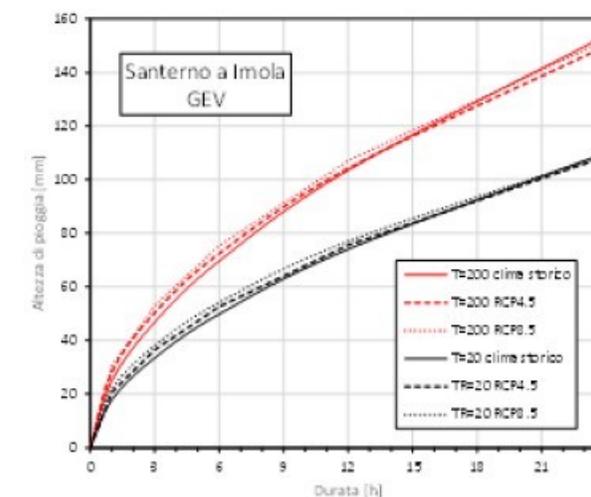
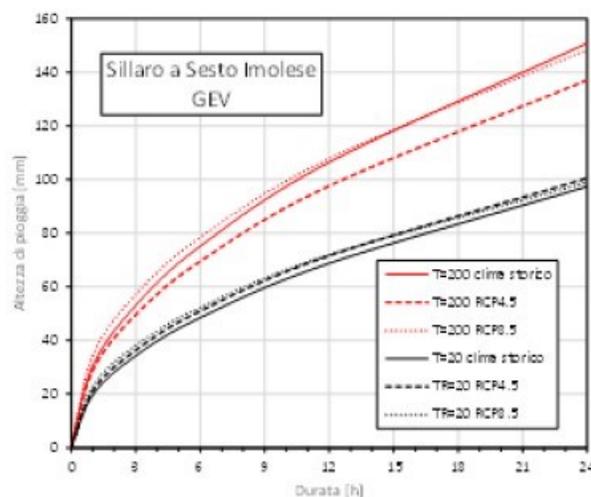
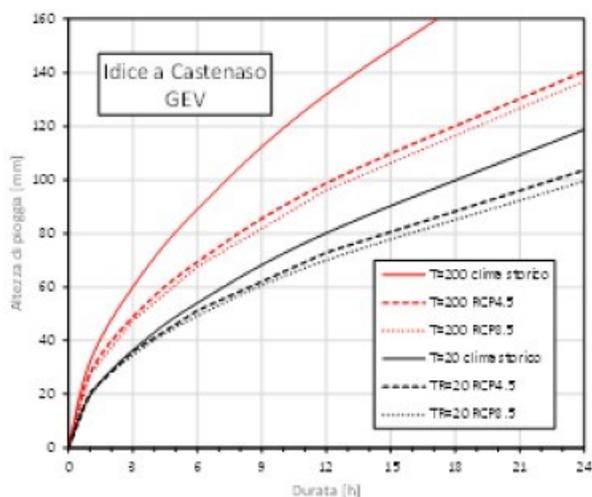
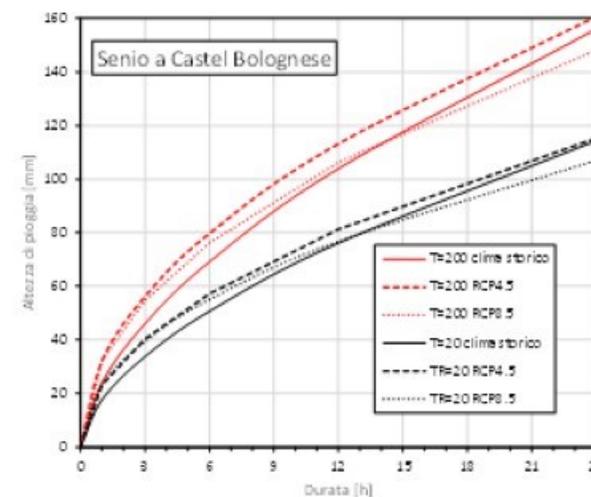
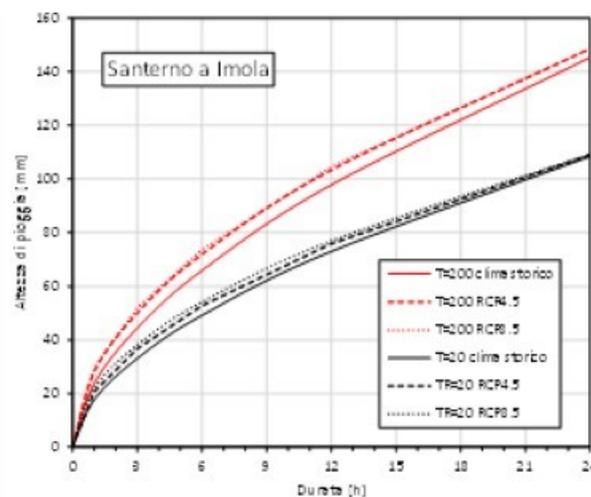
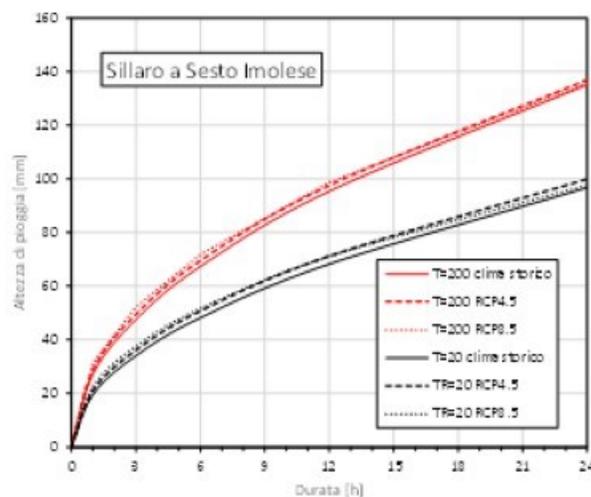
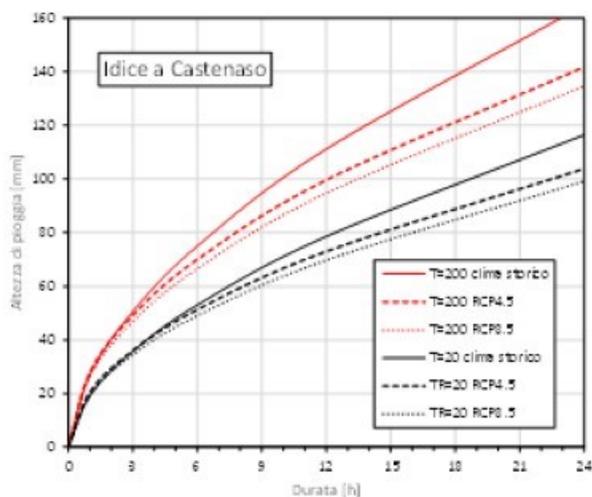
Variazioni percentuali rispetto al clima attuale delle stime della pioggia giornaliera di assegnato tempo di ritorno del periodo 2041-2070 secondo le proiezioni dello scenario RCP4.5

T [anni]	Idice a Castenaso	Sillaro a Sesto Imolese	Santerno a Imola	Senio a Castel Bolognese	Lamone a Reda	Montone a Ponte Vico	Ronco a Coccolia
2	+ 5.5 %	+ 13.5 %	+ 8.9 %	+ 13.5 %	+ 1.2 %	- 8.0 %	- 2.6 %
5	+ 4.5 %	+ 14.6 %	+ 3.8 %	+ 13.8 %	+ 2.5 %	- 5.4 %	+ 0.4 %
10	+ 4.3 %	+ 14.0 %	+ 1.0 %	+ 12.8 %	+ 2.8 %	- 2.5 %	+ 3.5 %
20	+ 4.5 %	+ 12.9 %	- 1.4 %	+ 11.2 %	+ 3.0 %	+ 0.8 %	+ 7.0 %
50	+ 5.0 %	+ 10.9 %	- 4.3 %	+ 8.5 %	+ 2.9 %	+ 5.7 %	+ 12.0 %
100	+ 5.5 %	+ 9.0 %	- 6.3 %	+ 6.1 %	+ 2.8 %	+ 9.8 %	+ 15.9 %
200	+ 6.2 %	+ 7.0 %	- 8.2 %	+ 3.5 %	+ 2.6 %	+ 14.1 %	+ 20.0 %

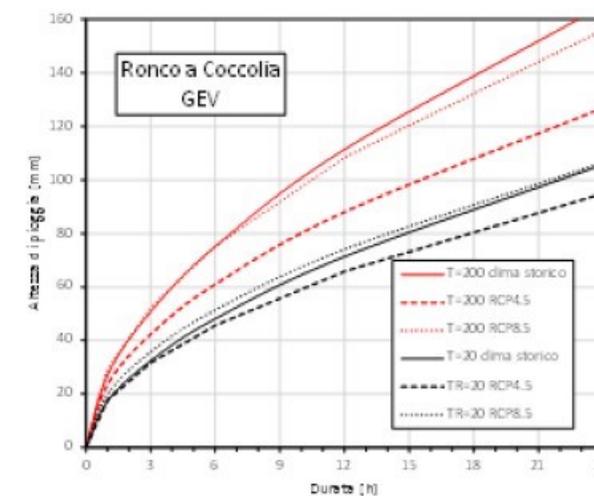
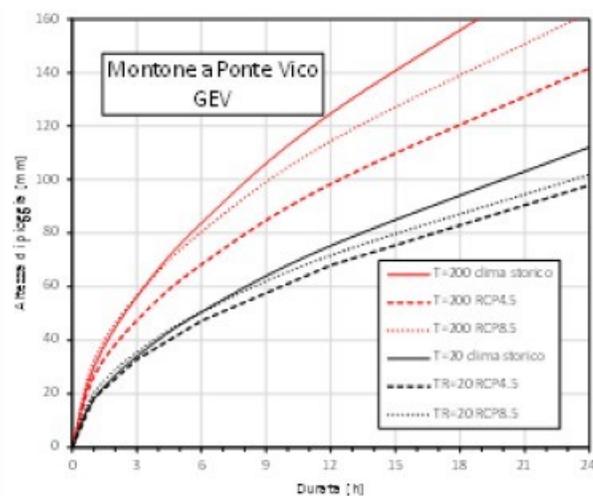
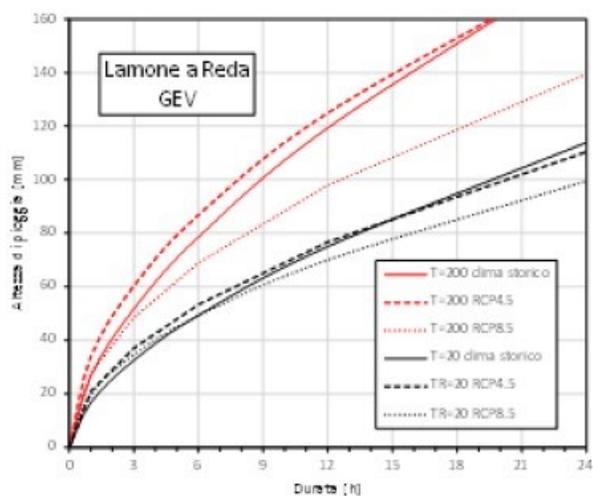
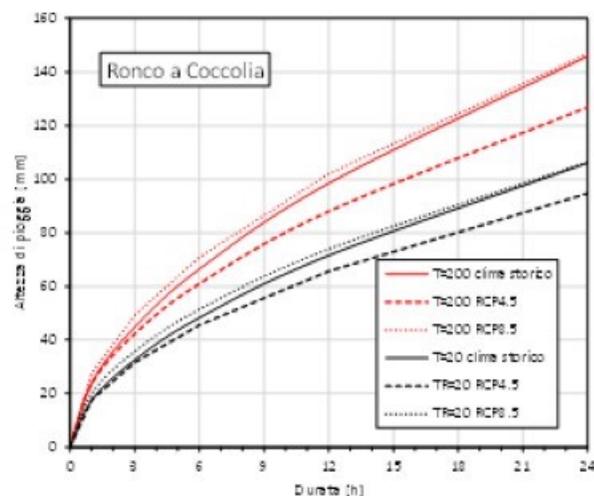
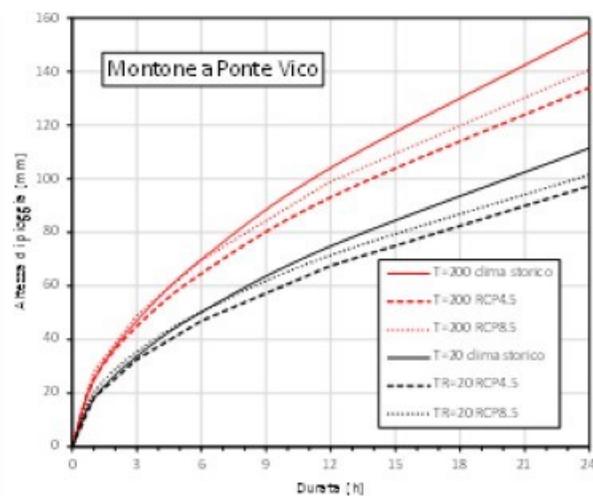
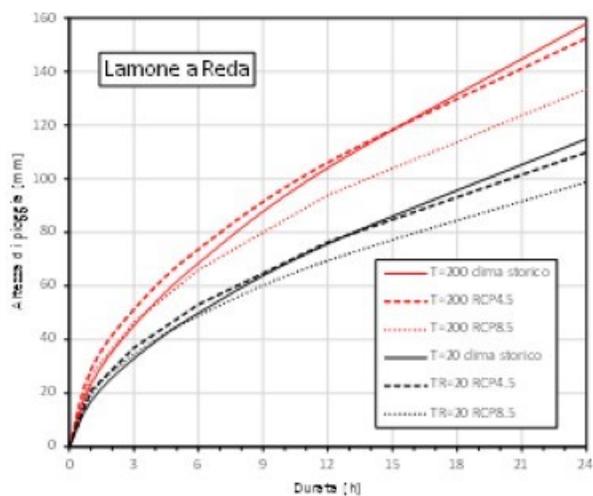
Tabella 17 - Variazioni percentuali rispetto al clima attuale delle stime della pioggia giornaliera di assegnato tempo di ritorno del periodo 2041-2070 secondo le proiezioni dello scenario RCP8.5

T [anni]	Idice a Castenaso	Sillaro a Sesto Imolese	Santerno a Imola	Senio a Castel Bolognese	Lamone a Reda	Montone a Ponte Vico	Ronco a Coccolia
2	+ 9.9 %	+ 11.6 %	+ 20.9 %	+ 14.1 %	+ 2.4 %	- 7.1 %	- 2.2 %
5	+ 0.3 %	+ 4.4 %	+ 15.3 %	+ 8.3 %	- 3.2 %	- 5.4 %	+ 3.8 %
10	- 5.7 %	- 0.8 %	+ 10.6 %	+ 5.3 %	- 6.3 %	- 3.2 %	+ 9.8 %
20	- 11.2 %	- 5.9 %	- 5.7 %	+ 3.0 %	- 9.0 %	- 0.8 %	+ 16.7 %
50	- 18.0 %	- 12.5 %	- 0.7 %	+ 0.5 %	- 12.1 %	+ 2.9 %	+ 26.9 %
100	- 22.8 %	- 17.3 %	- 5.6 %	- 1.2 %	- 14.4 %	+ 5.8 %	+ 35.5 %
200	- 27.3 %	- 22.0 %	- 10.4 %	- 2.6 %	- 16.5 %	+ 8.9 %	+ 44.7 %

Analisi dei cambiamenti attesi nelle curve di possibilità climatica



Analisi dei cambiamenti attesi nelle curve di possibilità climatica



CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

Sintesi delle principali risultanze dello studio (1 di 2)

Gli eventi meteorologici del 1-3 e del 15-17 maggio 2023 hanno prodotto:

- l'**esondazione** di corsi d'acqua romagnoli e affluenti di destra del Reno in ben **23 punti distinti**, con **volume esondato di 350 milioni di m³** su circa **540 km²**;
- nelle aree collinari e appenniniche del bolognese, del ravennate e del forlivese, si sono verificate un totale di **65.598 frane** che coprono complessivamente un'area di **72,21 km²**.

L'evento meteorico combinato è stato singolare, per il suo carattere **intenso, esteso e persistente**.

La definizione del grado di eccezionalità delle precipitazioni di tale evento, attraverso l'assegnazione di tempi di ritorno, è resa ulteriormente più complessa dagli effetti sinergici dei eventi di precipitazione che si sono succeduti a distanza di 14 giorni: il **secondo evento**, generalmente più intenso, avendo avuto un **effetto significativamente amplificato** dall'aver trovato il territorio già parzialmente o totalmente saturo.

Il risultato delle analisi condotte utilizzando la pluviometria e l'idrometria disponibili sostiene comunque la percezione di un evento senza precedenti nella storia osservata. I tempi di ritorno del singolo 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.**

Sintesi delle principali risultanze dello studio (2 di 2)

La maggiore densità delle **frane** nelle aree dove sono cadute le quantità massime di pioggia nelle province di Bologna, Ravenna e Forlì-Cesena.

Stretto **nesso causale** tra la forzante meteorologica e gli effetti al suolo pluvio-indotti.

Ben **il 78,5% delle frane** avvenute a maggio 2023 si è attivata **al di fuori delle aree in frana note nella cartografia esistente**.

E' stata verificata una **buona corrispondenza** tra gli effetti al suolo registratisi a seguito delle precipitazioni e i superamenti delle soglie pluviometriche.

Raccomandazioni sulle misure di riduzione del rischio (1 di 6)

Un'opportuna proposta operativa di gestione territoriale deve essere basata sulla combinazione di interventi non strutturali e strutturali di mitigazione del rischio, **individuando bacino per bacino il corretto mix di interventi.**

Interventi non strutturali

Migliorare le attuali capacità di previsione meteorologica, idraulica e idrogeologica, per una sempre più accurata valutazione degli **effetti attesi al suolo** nell'ambito del Sistema di Allertamento Regionale.

Tramite simulazioni preventive con dati ad alta risoluzione, costruire un **gemello digitale idrogeologico (*digital twin*)**.

Il gemello digitale potrà consentire analisi di scenario e la **risposta a quesiti *what if*** per migliorare significativamente la previsione degli effetti al suolo e la risposta del sistema.

Aggiornare ogni volta il quadro conoscitivo del territorio, alla luce dei nuovi scenari climatici e delle nuove conoscenze acquisite a seguito di eventi catastrofici come questi di maggio 2023.

Raccomandazioni sulle misure di riduzione del rischio (2 di 6)

Interventi strutturali

Per contrastare i **fenomeni franosi**, è raccomandabile investire in tante opere diffuse, contrastando la pericolosità idrogeologica con **interventi strutturali a piccola-media scala**, di stabilizzazione di singoli versanti e di regimazione delle acque superficiali, con **particolare attenzione al reticolo idrografico minore**, unitamente ad una corretta manutenzione del territorio e all'adozione di buone pratiche agricolo-silvo-pastorali.

Per contrastare i **fenomeni alluvionali**, è stato da più parti detto che, a valle di questo evento, **“non è possibile pensare di ricostruire e costruire come prima”**.

E' certo che **appare necessaria una profonda revisione** dell'approccio tradizionale alla difesa idraulica del territorio.

Cosa fare?

Appare prioritaria la realizzazione di **nuove opere di laminazione delle piene**, quali **casce di espansione e invasi montani, anche a scopo multiplo**, per contrastare la siccità, in un'ottica di cambiamento climatico.

Non mancano sul territorio romagnolo **localizzazioni idonee**; **però difficilmente saranno reperibili volumi** di invaso sufficienti, da soli, a consentire di **raggiungere l'obiettivo** della pianificazione di bacino, ovvero il **contrasto della piena 200-ennale**.

Raccomandazioni sulle misure di riduzione del rischio (3 di 6)

Interventi strutturali

Interventi indirizzati a restituire maggiore spazio ai fiumi, modificando, ove possibile, la sagoma degli alvei e con **arretramenti verso campagna dell'attuale posizione dei rilevati arginali**. Purtroppo, possibili solo a scala locale e non a una scala territoriale di asta fluviale.

Per quanto riguarda la **manutenzione degli alvei fluviali**, il ruolo della vegetazione ripariale quale fattore causale degli effetti al suolo dell'evento sembra essere stato eccessivamente enfatizzato nel dibattito pubblico che ha fatto seguito all'evento.

Si raccomanda, comunque, 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**, mediante **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**.

Raccomandazioni sulle misure di riduzione del rischio (4 di 6)

Interventi strutturali (verso il futuro)

In un'ottica innovativa, alla luce di quanto avvenuto in Emilia-Romagna, emerge la **necessità di superare la rigidità di alcuni obiettivi della pianificazione di bacino**, quali quello di difendere tutto il territorio dall'**evento di piena** a ricorrenza **200-ennale**. Obiettivo talora tecnicamente impraticabile e concettualmente poco sensato.

Per riprendere 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"**.

Nuova visione: **minimizzare il rischio residuale**, ovvero quella inevitabile porzione di rischio che permane anche dopo la realizzazione degli interventi.

Sempre in ottica innovativa, la **predisposizione di un piano per l'uso sistematico di allagamenti controllati** di specifiche porzioni di territorio esterne al sistema difensivo attuale, nelle zone di minore pregio, quale strategia di mitigazione del rischio residuale di inondazione (**erogazioni controllate**).

Piano prezioso nel non breve intervallo di tempo **fino all'approntamento delle opere strutturali** di mitigazione del rischio e comunque **utile anche successivamente**, qualora dovessero verificarsi eventi più intensi di quello di progetto.

Raccomandazioni sulle misure di riduzione del rischio (5 di 6)

Interventi strutturali (verso il futuro)

Strettamente connessa alla strategia degli allagamenti controllati, la necessità di un **ricondizionamento dei rilevati arginali**, al fine di renderli idonei a sopportare la tracimazione senza che si inneschino brecce che portano al rapido crollo del manufatto.

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**.

Si tratta di **questioni estremamente complesse**. Non solo e non tanto per gli aspetti puramente tecnici, ma soprattutto per le implicazioni socio-economiche, gli aspetti di formazione del consenso sociale e quelli comunicativi.

Raccomandazioni sulle misure di riduzione del rischio (6 di 6)

In conclusione

Le raccomandazioni propongono **strategie di carattere generale**, che **dovranno però trovare 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, **pare superfluo raccomandare che esso sia accompagnato da un costante supporto tecnico-scientifico**.

In conclusione, **l'evento** che ha colpito la Regione Emilia-Romagna nel maggio 2023 ha avuto caratteristiche di intensità e vastità territoriale tali da **potere potenzialmente rappresentare uno spartiacque tra passato e futuro** nel settore della difesa idraulica e idrogeologica del territorio, **a livello nazionale**.

L'evento ha chiaramente mostrato come **oggi non sia più 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 comunque pregiudicare lo sviluppo dei percorsi di approfondimento tecnico-scientifico necessari all'implementazione di modelli di intervento adeguati all'altezza delle sfide che debbono essere affrontate.

In Emilia-Romagna ci sono tutte le condizioni per approntare **una risposta efficace e fortemente innovativa a queste sfide**.

Grazie per l'attenzione!