



Federazione  
Italiana  
Dottori in  
Agraria e  
Forestali

agriCulture



Venerdì Culturale  
15.03.2024

***Fenomeni idrologici, geologici e di salinizzazione  
connessi con i cambiamenti climatici***

Angelo Corazza, Andrea Duro



## **1<sup>a</sup> parte**

# **Effetti dei cambiamenti climatici sul rischio idraulico e idrogeologico**

**Angelo Corazza**

## **Indice dell'intervento**

- **Cambiamenti climatici**
- **Il rischio idrogeologico e idraulico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio**
- **Effetti dei cambiamenti climatici sul rischio idrogeologico e idraulico in Italia**
- **Prevenzione del rischio e azioni di adattamento ai cambiamenti climatici**
- **Il caso di studio dell'alluvione nel 2023 in Emilia-Romagna**

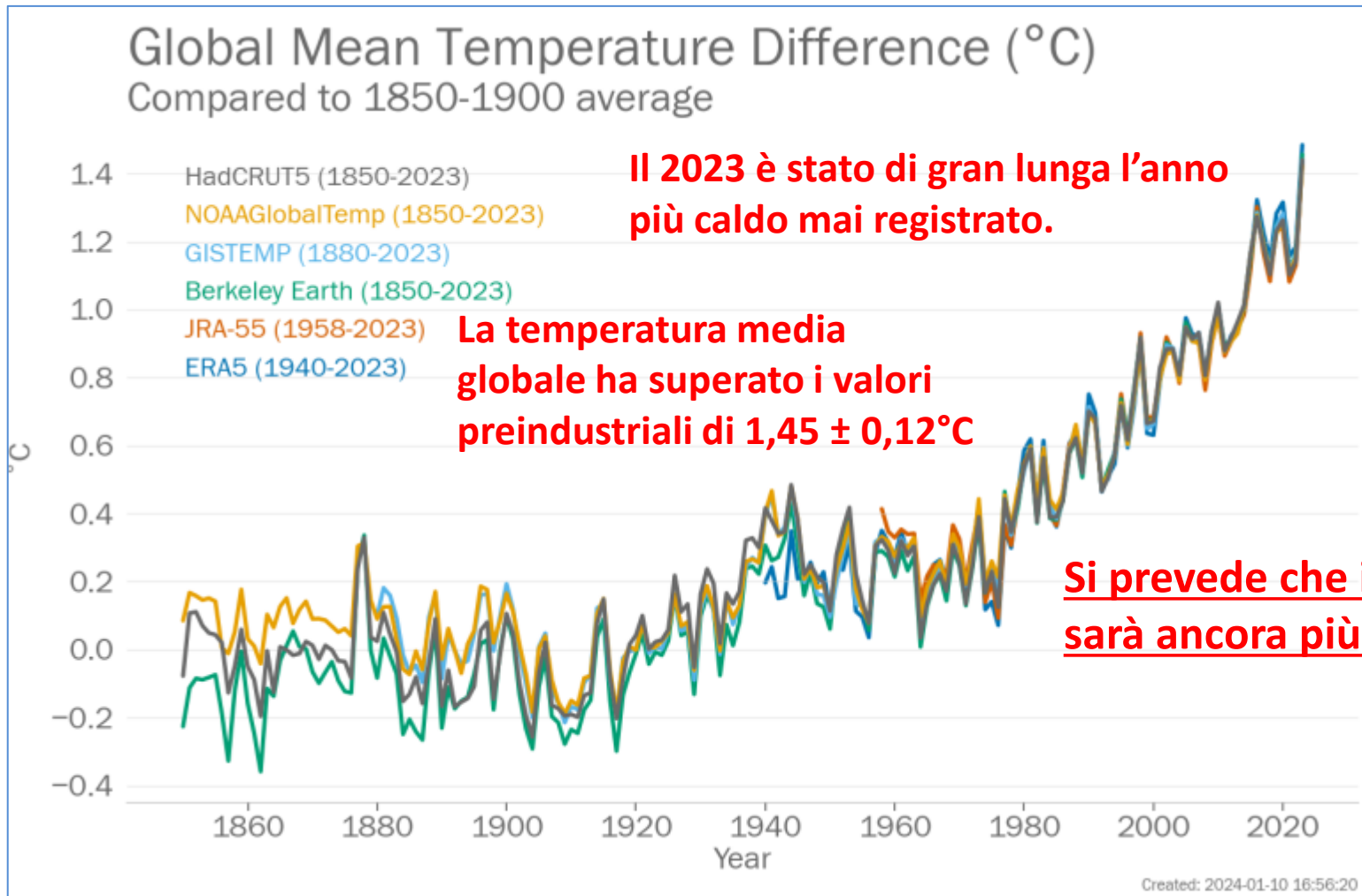
# Cambiamenti climatici

# Riscaldamento globale

**Temperatura sul pianeta +1,15° C rispetto a periodo pre-industriale**

Il fenomeno del riscaldamento globale, dovuto al continuo aumento dei gas serra in atmosfera, in particolare della CO<sub>2</sub> fa sì che la temperatura media globale osservata alla fine del 2022 sia stata di circa **1,15°C** superiore rispetto ai livelli del **periodo pre-industriale (media anni 1850-1900)**. Questo secondo il Report sullo “Stato globale del Clima nel 2022” dall'Organizzazione meteorologica mondiale (WMO).

# Riscaldamento globale



(Fonte: WMO – Provisional State of the Global Climate 2023)

# Effetti del riscaldamento globale

- **Siccità, inondazioni, incendi e ondate di caldo** colpiscono vaste parti del mondo con costi in costante aumento;
- Il **livello del mare** e il **calore dell'oceano** sono a livelli record – e questa tendenza all'aumento continuerà ancora per molti secoli;
- Il **ghiaccio marino antartico** scende al minimo storico. **L'Europa** infrange i record per la **fusione dei ghiacciai**;

# Riscaldamento in Europa

**Temperatura in Europa +2,20° C rispetto a periodo pre- industriale**

In Europa il fenomeno è ancora più accentuato. Secondo un altro rapporto "Stato del Clima in Europa 2022", preparato congiuntamente dall'Organizzazione meteorologica mondiale (Wmo) e dal servizio dell'Unione Europea di osservazione della Terra, Copernicus, nel 2022 la temperatura media in Europa è stata infatti di ben **2,2 gradi** sopra i livelli pre-industriali (1850-1900). Dal 1980 ad oggi il nostro continente si è riscaldato il doppio della media globale.



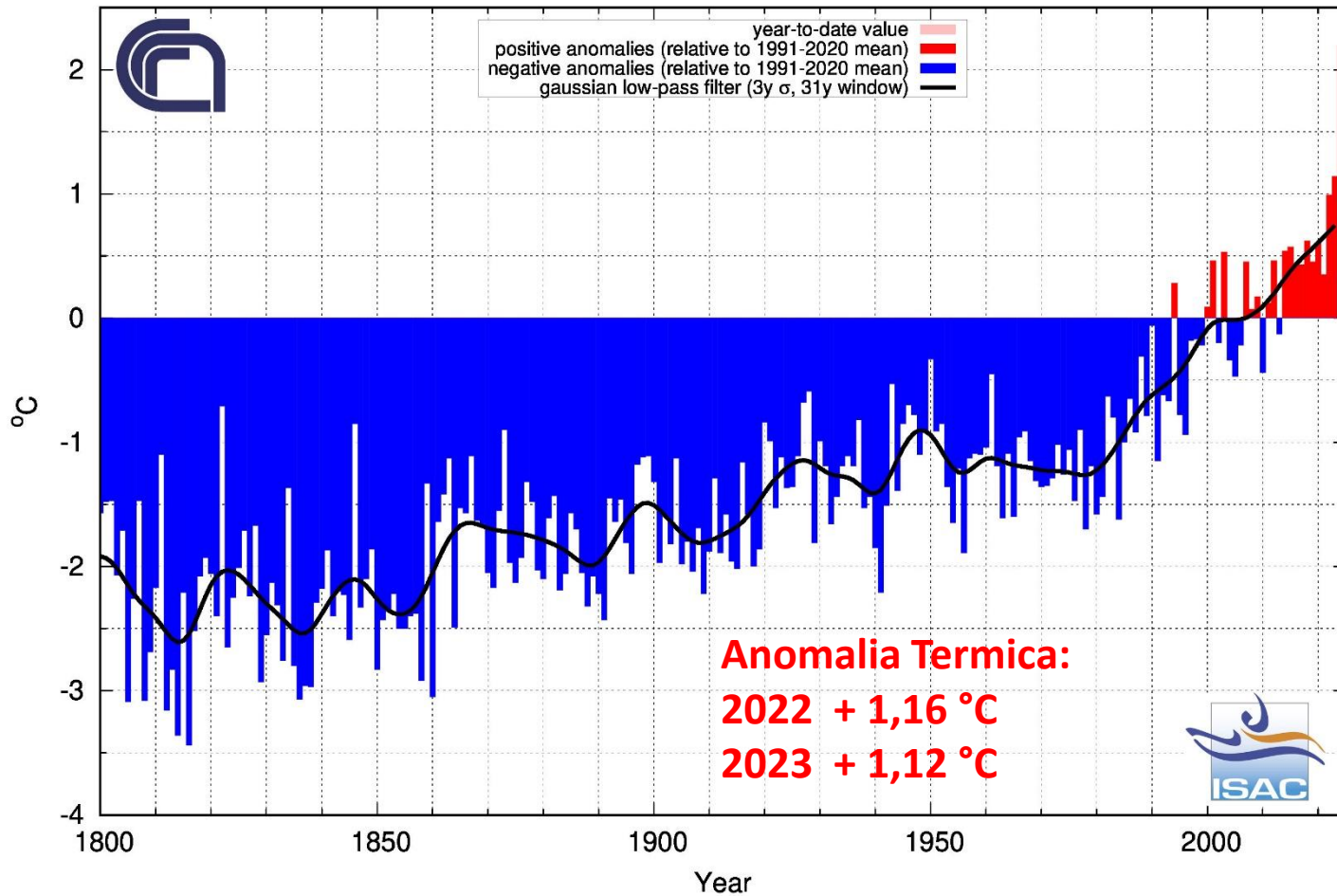
# Riscaldamento in Italia

- ❑ L'Italia si trova al centro del **Mediterraneo**, considerato come **hot spot climatico**, in quanto più esposto agli effetti della crisi climatica.
- ❑ **In Italia le temperature crescono in misura maggiore rispetto alla media del pianeta.**
- ❑ Nel 2023 l'anomalia termica rispetto al media del trentennio 1991-2020 è stata inferiore solo a quella del 2022
- ❑ Otto degli ultimi dieci anni sono stati tra i più caldi per il nostro Paese

# Riscaldamento in Italia



## ANNUAL MEAN TEMPERATURE

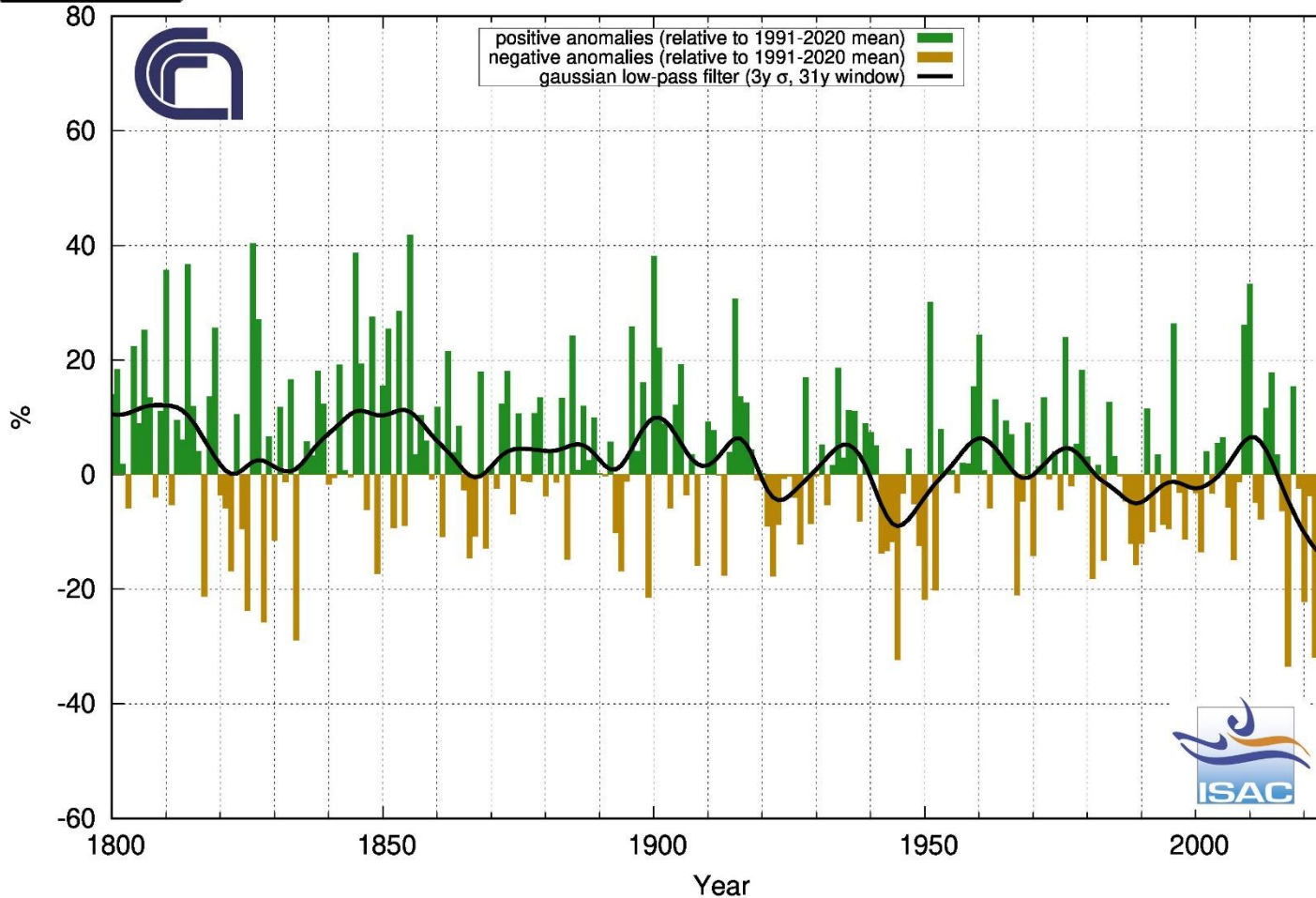


Temperature medie annuali, dal 1800 al 2022, rispetto alla media 1991-2020 in Italia (fonte: ISAC-CNR)

# Precipitazioni in Italia



## ANNUAL PRECIPITATION

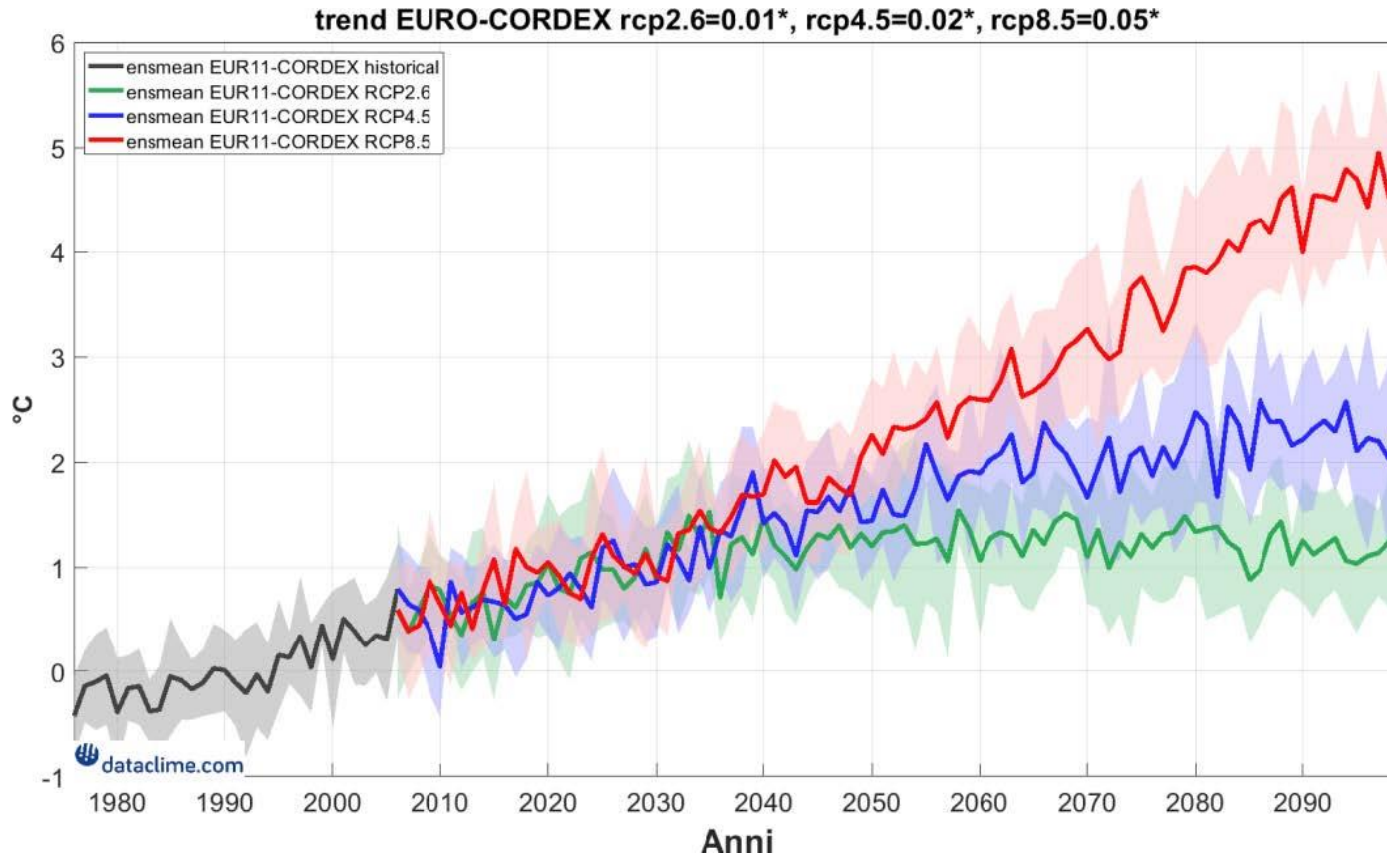


Precipitazioni medie annuali, dal 1800 al 2022, rispetto alla media 1991-2020 in Italia (fonte: ISAC-CNR)

## Scenari futuri - temperature

- ❑ L'Accordo di Parigi sul clima stilato nel 2015 nell'ambito della COP 21 prevedeva che il riscaldamento globale dovesse rimanere **sotto i 2 gradi** dai livelli pre-industriali, possibilmente contenuto **entro 1,5 gradi**.
- ❑ Le previsioni mostrano un trend inesorabile di crescita delle temperature sul pianeta Terra. Secondo WMO c'è una **probabilità del 66%** che **tra il 2023 e il 2027** la temperatura globale media annuale vicino alla superficie sarà **superiore di oltre 1,5° C** rispetto ai livelli preindustriali **per almeno un anno**. C'è una **probabilità del 98%** che **almeno uno dei prossimi cinque anni**, e il **quinquennio nel suo insieme**, sia il **più caldo mai registrato**.

# PROIEZIONI FINO AL 2100 DELLE TEMPERATURE MEDIE IN ITALIA



(Da PNACC,2023)

Anomalie annuali di temperatura media (°C) su scala nazionale ottenute a partire dai modelli EURO-CORDEX, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP8.5 (in rosso), RCP4.5 (in blu) e RCP2.6 (in verde). Le anomalie annuali sono calcolate rispetto al valore medio del periodo di riferimento 1976-2005.

# Scenari futuri – precipitazioni in Italia

## Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNAC, 2023):

- ❑ Scenario con elevate emissioni: generale riduzione delle precipitazioni nel Sud Italia e in Sardegna (fino al 20% nel 2050) e un aumento nelle aree geografiche Nord-Ovest e Nord-Est.
- ❑ Scenario con basse emissioni: aumento rilevante delle precipitazioni sul Nord Italia e una lieve riduzione al Sud.

La stima delle variazioni di precipitazione, sia in senso spaziale che temporale, è più incerta di quella delle variazioni della temperatura essendo le precipitazioni già soggette a forti variazioni naturali.

# **Il rischio idrogeologico e idraulico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio**

# Il rischio idrogeologico e idraulico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio

Report sul dissesto idrogeologico in Italia  
ISPRA – Edizione  
2021

*Dati derivanti da IFFI,  
PAI e PGRA*



<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/dissesto-idrogeologico-in-italia-pericolosita-e-indicatori-di-rischio-edizione-2021>



# Pericolosità da frana PAI

<b>Aree a pericolosità da frana</b>			
		<i>km<sup>2</sup></i>	<i>% su territorio nazionale</i>
P4	<b>Molto elevata</b>	9.495	3,1%
P3	<b>Elevata</b>	16.891	5,6%
P2	<b>Media</b>	14.551	4,8%
P1	<b>Moderata</b>	12.556	4,2%
AA	<b>Aree di Attenzione</b>	6.988	2,3%
<b>Totale Italia</b>		<b>60.481</b>	<b>20%</b>

Fonte: ISPRA, 2021

# Superficie aree a pericolosità da alluvione PGRA

## Aree a pericolosità idraulica - Scenari FD e D.Lgs. 49/2010

Scenario	km <sup>2</sup>	% su territorio nazionale
Scenario pericolosità <b>Elevata - HPH</b>	16.223,9	5,4
Scenario pericolosità <b>Media - MPH</b>	30.195,6	10,0
Scenario pericolosità <b>Bassa - LPH</b>	42.375,7	14,0

- **elevata P3** - alluvioni con tempo di ritorno fra 20 e 50 anni

(*High Probability Hazard – HPH*)

- **media P2** - alluvioni con tempo di ritorno fra 100 e 200 anni

(*Medium Probability Hazard – MPH*)

- **bassa P1** – alluvioni con tempo di ritorno > 200 anni

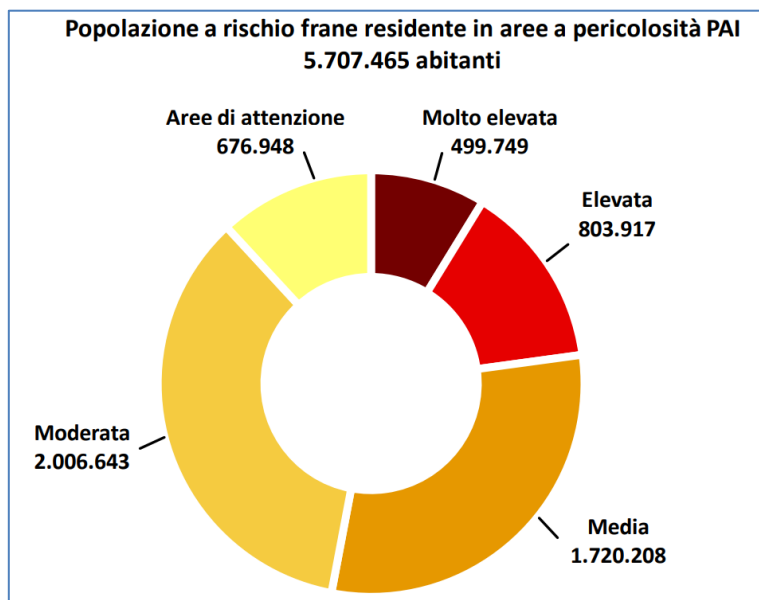
(*Low Probability Hazard – LPH*)

# Superficie delle aree a pericolosità da frana (P3 + P4) e da alluvione (P2): 18,4 % del territorio italiano

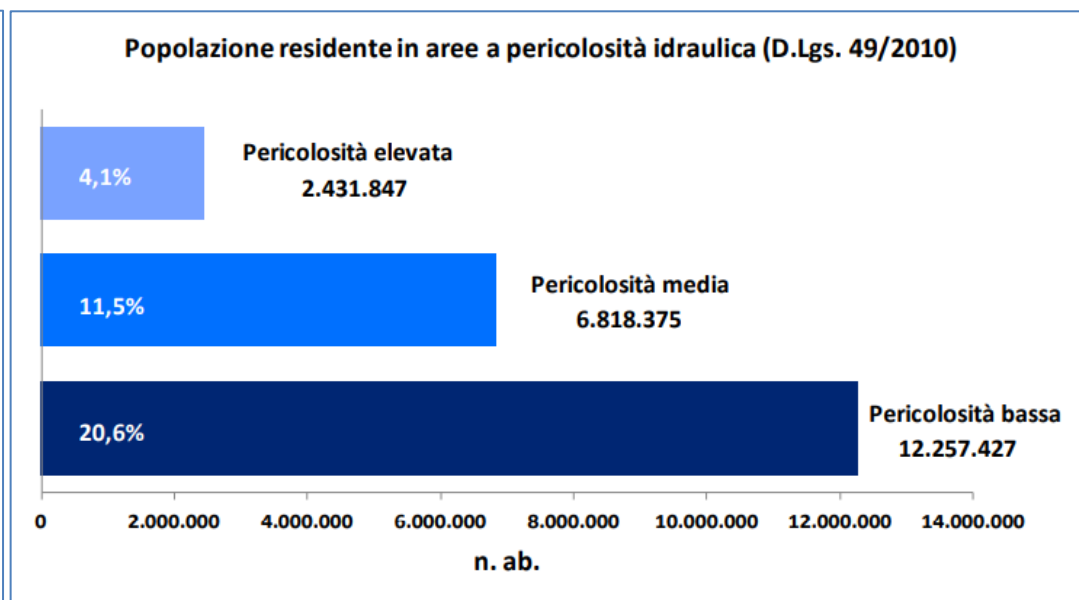
Superficie Italia	Superficie delle aree a:					
	pericolosità da frana elevata P3 e molto elevata P4		pericolosità idraulica media		pericolosità da frana elevata P3 e molto elevata P4 + pericolosità idraulica media <sup>34</sup>	
<i>km<sup>2</sup></i>	<i>km<sup>2</sup></i>	%	<i>km<sup>2</sup></i>	%	<i>km<sup>2</sup></i>	%
302.068	26.385	8,7%	30.196	10,0%	<b>55.609</b>	<b>18,4%</b>

Fonte: ISPRA, 2021

# Popolazione a rischio Frane (PAI)

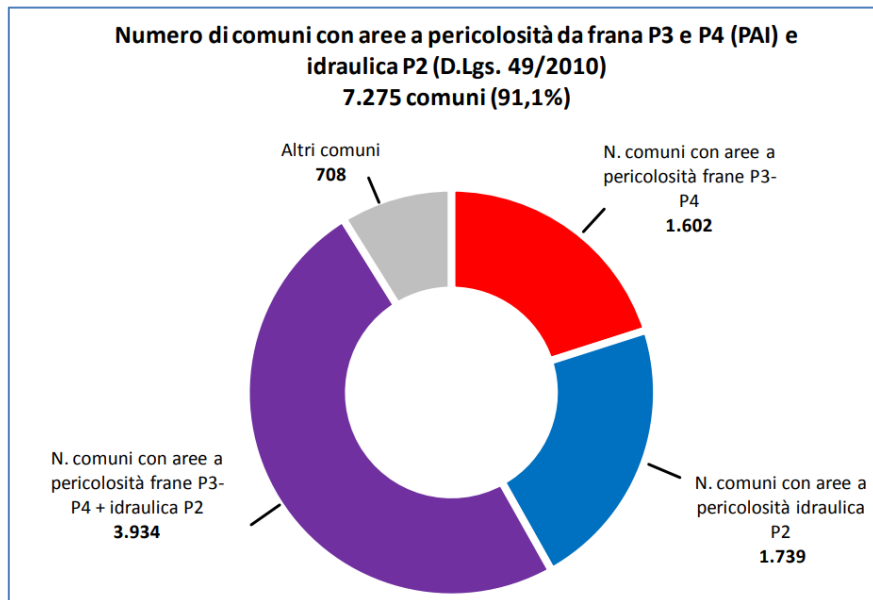


In aree a pericolosità da frana elevata - P3 e molto elevata -P4 vivono 1,3 milioni di persone

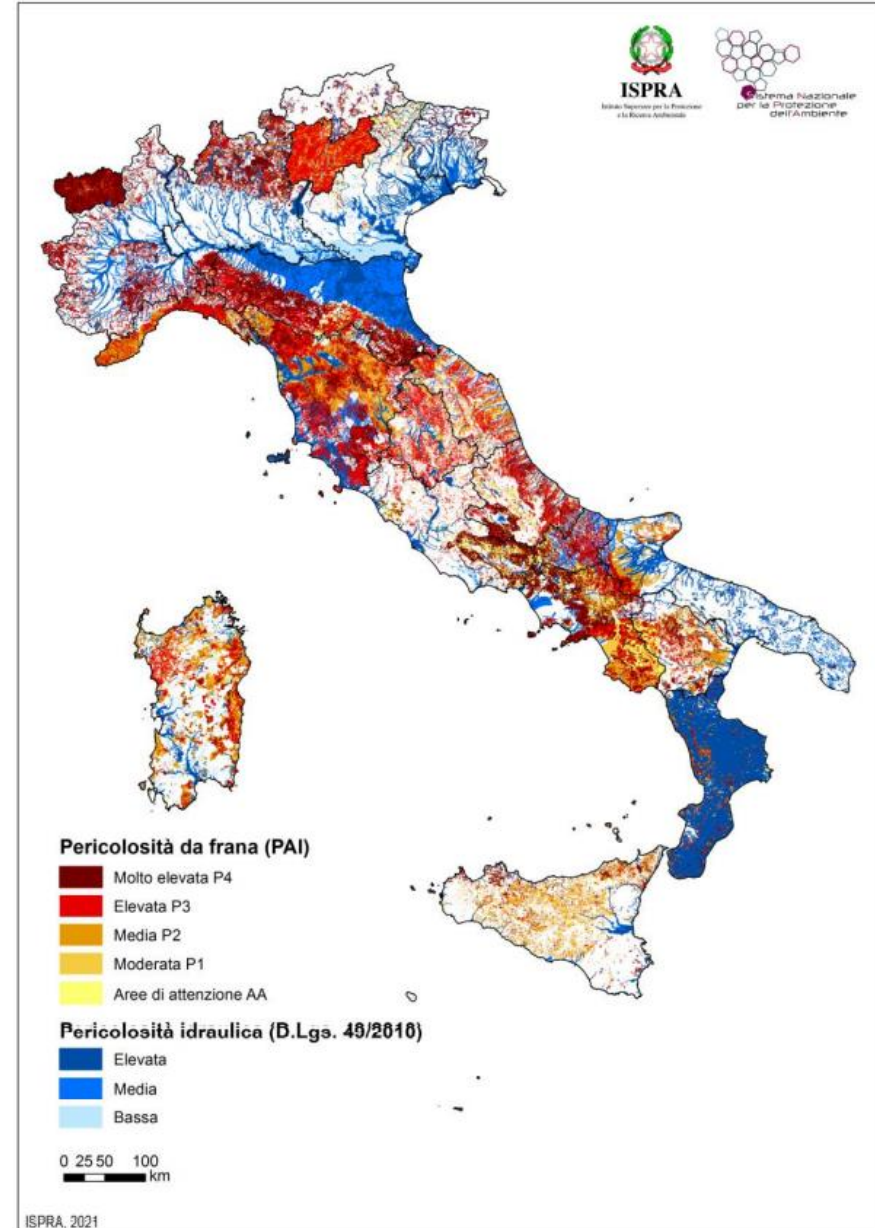


In aree a pericolosità idraulica media - P2 (Tr 100-200 anni) vivono 6,8 milioni di persone

# Comuni italiani con aree a pericolosità da frana e da alluvione: 91,1 % del totale



Fonte: ISPRA, 2021



# Territorio italiano esposto a frane, alluvioni ed erosione costiera



COMUNI



+



+



EROSIONE COSTIERA

7.423

93,9%

SU UNA SUPERFICIE NAZIONALE DI 302.068 KM<sup>2</sup> IL 18,4% È MAPPATO NELLE CLASSI A MAGGIORE PERICOLOSITÀ PER FRANE E ALLUVIONI (55.609 KM<sup>2</sup>)

841 KM DI LITORALI SONO IN EROSIONE (17,9% DELLE COSTE BASSE ITALIANE)

# Effetti dei cambiamenti climatici sul rischio idrogeologico e idraulico in Italia

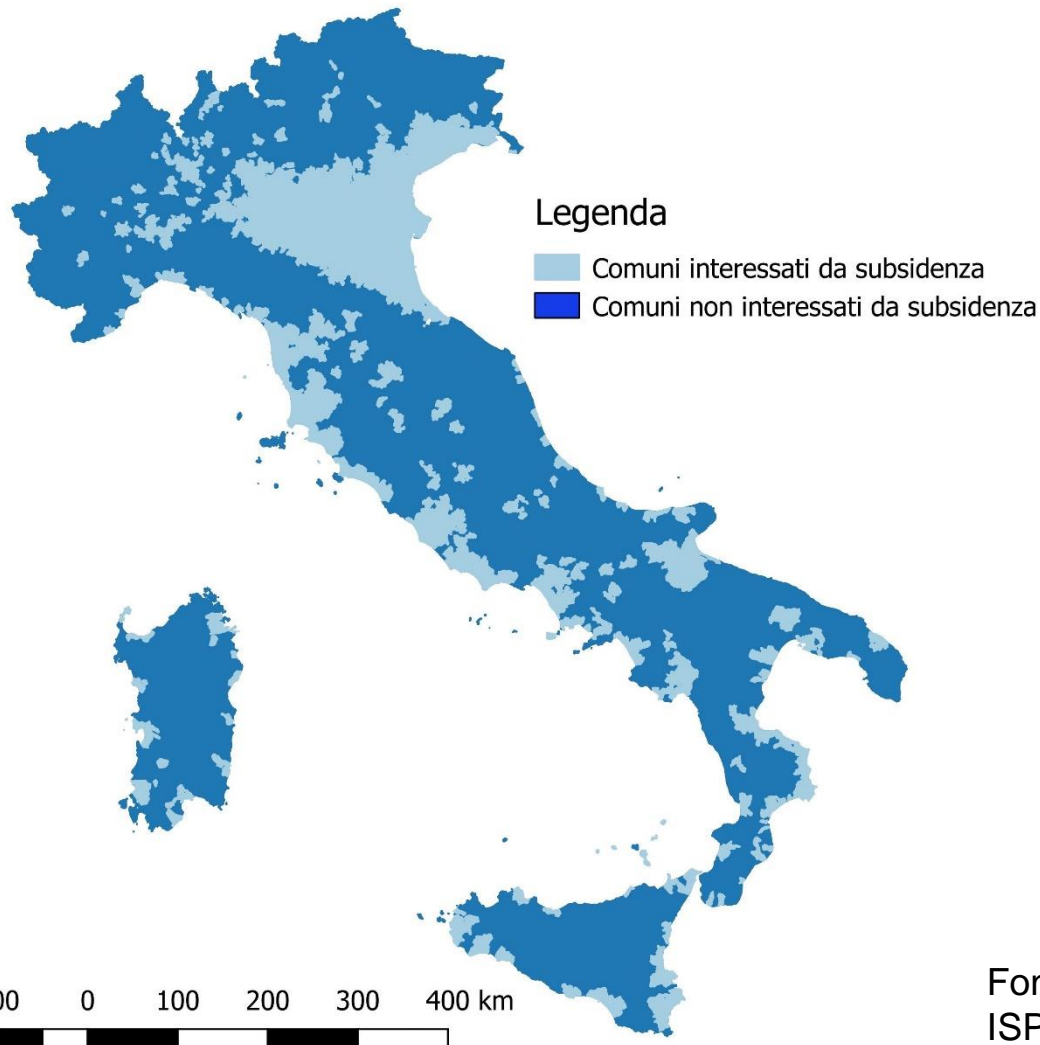
# Scenari futuri, o per meglio dire attuali?

## Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNAC, 2023):

- ❑ **Alterazioni del regime idro-geologico** che potrebbero aumentare il rischio di frane, flussi di fango e detriti, crolli di roccia e alluvioni lampo.
- ❑ Le zone maggiormente esposte al rischio idro-geologico comprendono la **valle del fiume Po** (con un aumento del rischio di alluvione) e le **aree alpine ed appenniniche** (con il rischio di alluvioni lampo);
- ❑ Incremento del **rischio di inondazione ed erosione delle zone costiere**, a causa di una maggiore incidenza di eventi meteorologici estremi e dell'innalzamento del livello del mare (anche in associazione al fenomeno della subsidenza, di origine sia naturale sia antropica).



# Comuni interessati da subsidenza

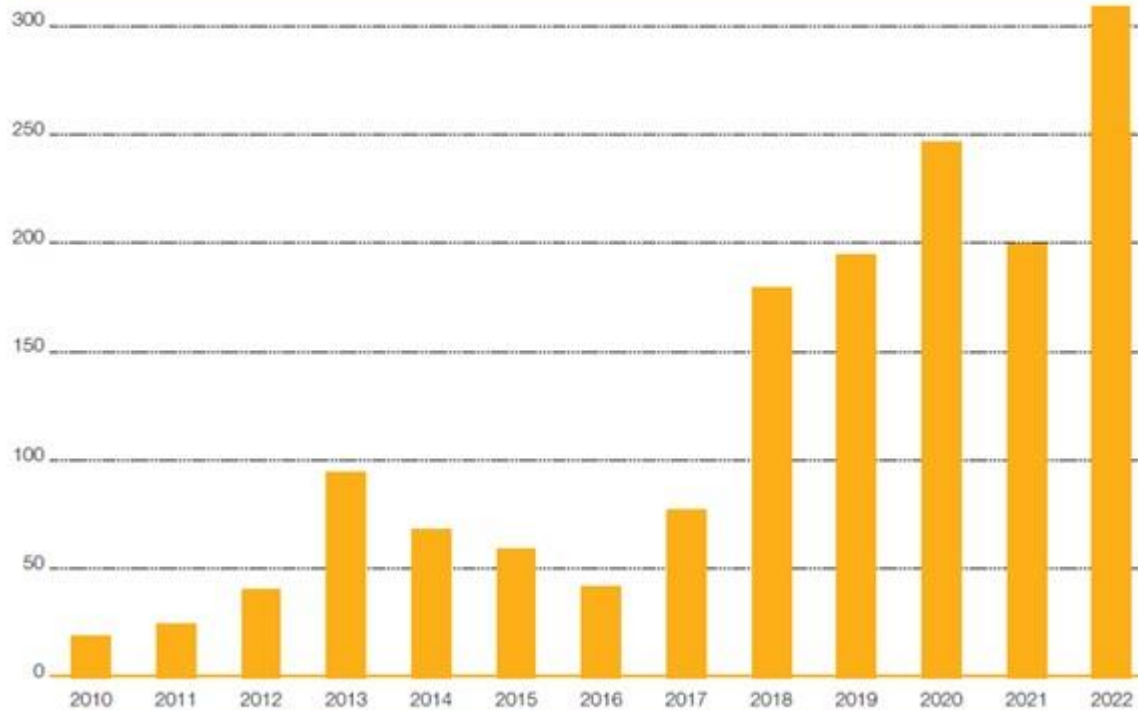


Il fenomeno della subsidenza coinvolge circa il 17% dei comuni italiani, prevalentemente situati nelle regioni del Nord Italia, in particolare nella Pianura Padana, mentre nell'Italia centrale e meridionale il fenomeno interessa prevalentemente le pianure costiere.

Fonte: Elaborazione ISPRA su dati ISPRA/ARPA/APPA, Regioni, letteratura scientifica

# Eventi estremi

Numero di eventi estremi per anno



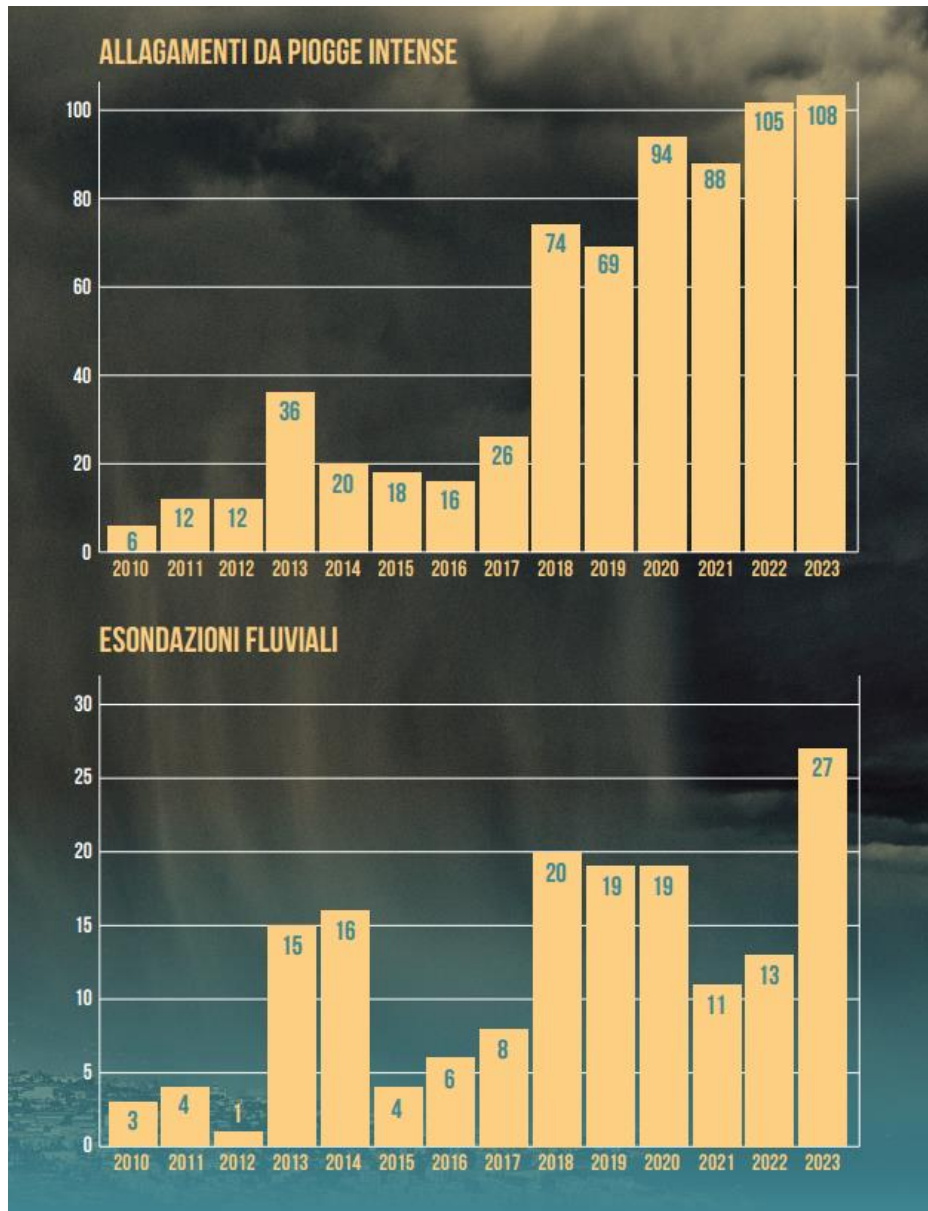
Fonte: Osservatorio Città Clima, Legambiente 2022

Nel 2023 in Italia ben 378 eventi meteorologici estremi, +22% rispetto al 2022

(fonte: Osservatorio di Legambiente Città e Clima)

**Eventi estremi:** a) Danni da trombe d'aria e raffiche di vento; b) Frane da piogge intense; c) Esondazioni fluviali; d) Danni da siccità prolungata – temp. estreme; e) Danni alle infrastrutture da piogge intense; f) Danni al patrimonio storico da piogge intense; g) Allagamenti da piogge intense; h) Danni da grandinate; 9) Mareggiate.

# Eventi estremi



## Allagamenti, esondazioni e frane

Dal 2010 al 31 ottobre 2023 sono stati registrati dalla mappa di Città Clima:

- 684 allagamenti da piogge intense;
- 166 esondazioni fluviali;
- 86 frane da piogge intense.

Questi eventi rappresentano il 49,1% di tutti gli eventi censiti.

(fonte: Legambiente,  
Rapporto Città e Clima 2023  
– Speciale Alluvioni)

# Cambiamenti climatici e fenomeni indotti

- ➔  Alluvioni repentine (Flash flood)
- ➔  Alluvioni urbane (Urban Flood)
- ➔  Alluvioni costiere (Coastal flood)
  - Crolli da ghiacciai e piene improvvise in ambiente alpino
  - Frane in ambiente montano dovute alla degradazione del permafrost
- ➔  Frane superficiali
- ➔  Colate di fango e di detrito (mud flow, debris flow)
- ➔  Valanghe

# Fenomeni indotti: le frane

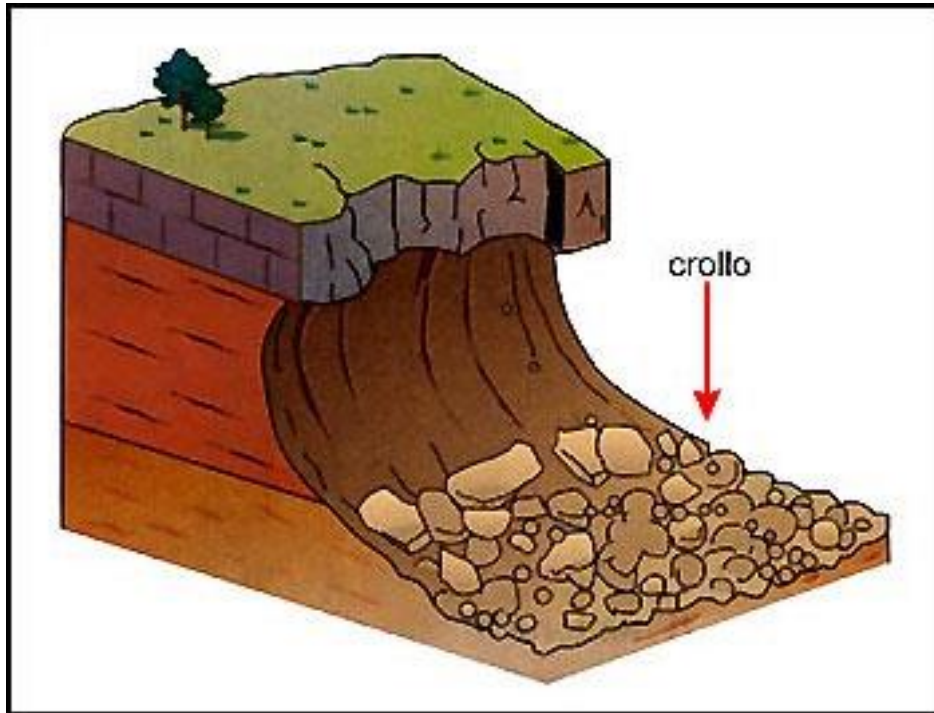
## **Movimenti franosi (classificazione IFFI):**

- ➔ • Crollo o ribaltamento
- ➔ • Scivolamento (rotazionale o traslativo)
  - Colamento lento
- ➔ • Colamento rapido
  - Espansione laterale
  - Movimento complesso
  - Deformazione gravitativa profonda (DGPV)

## **Fenomeni di erosione superficiale dei versanti:**

- soliflusso e reptazione (soil creep)

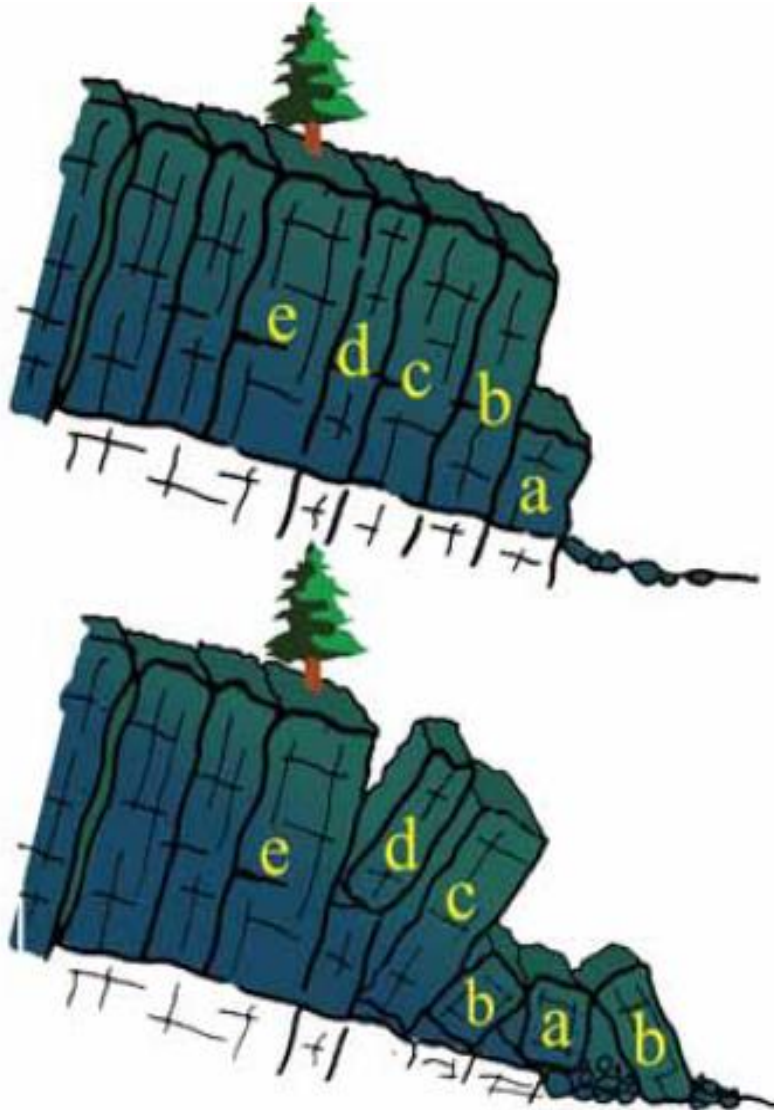
# Frane di crollo



*(da APAT, 2006)*

Per crollo si intende la caduta in aria libera di materiali di qualsiasi tipo (rocce, detriti e terre) e dimensione. Si tratta di un fenomeno da rapido a estremamente rapido che avviene generalmente su pendii molto acclivi, anche aggettanti. Movimento da rapido a molto rapido

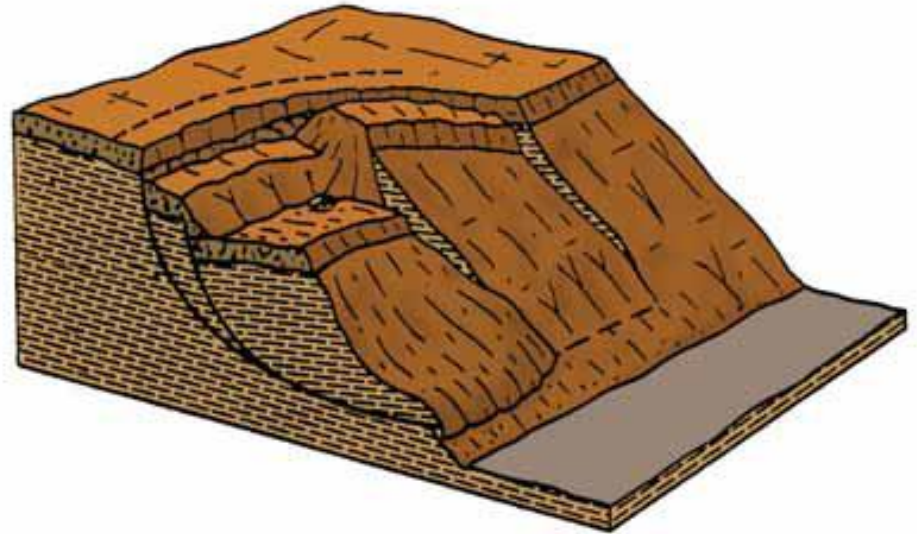
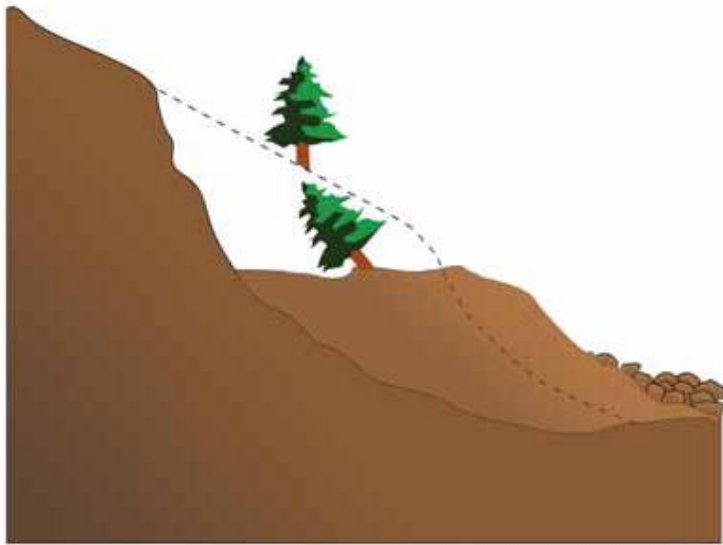
# Frane di ribaltamento



Il ribaltamento comporta la rotazione, attorno ad un punto, di un blocco di roccia, terra o di detrito, sotto l'azione della gravità o di pressioni esercitate da blocchi adiacenti e/o dall'acqua nelle fratture. Movimento da moderato a molto rapido

*(da APAT, 2006)*

# Frane con scivolamento rotazionale

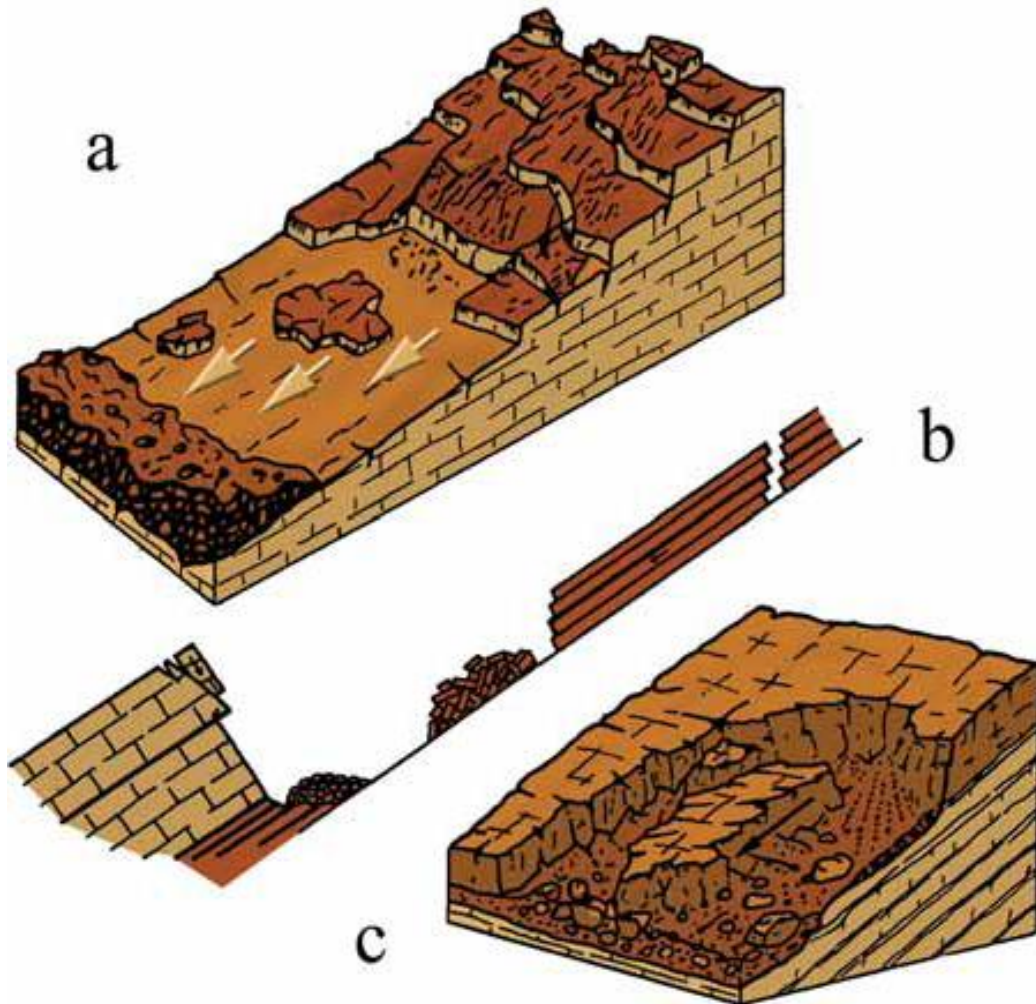


Gli scivolamenti rotazionali avvengono con un movimento lungo una superficie di rottura che presenta generalmente una forma arcuata con la concavità verso l'alto. Il movimento varia da lento a rapido, anche estremamente rapido nella fase parossistica

*(da APAT, 2006)*



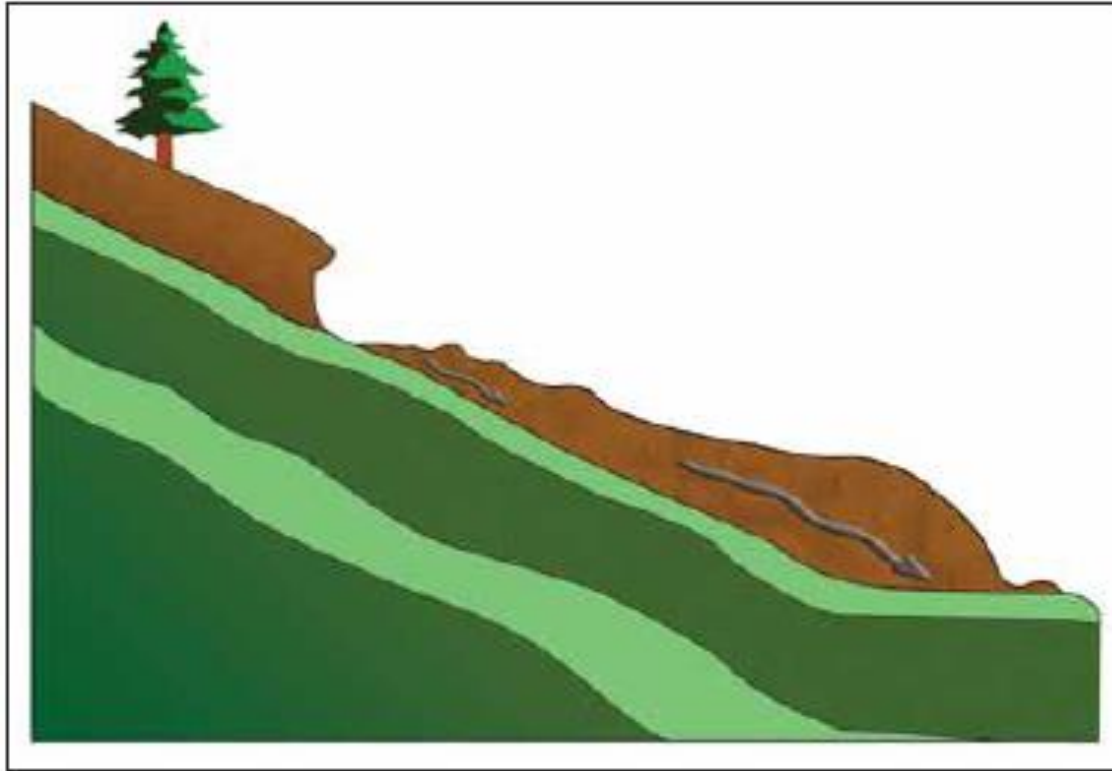
# Frane con scivolamento traslativo



Lo scivolamento traslativo avviene lungo una o più superfici piane. Tali superfici corrispondono a discontinuità di varia natura (contatto strato di alterazione/bedrock, piani di strato e di faglia, fratture, fessure etc). Il movimento varia da lento a rapido, anche estremamente rapido nella fase parossistica

(da APAT, 2006)

# I colamenti rapidi



I colamenti rapidi coinvolgono normalmente i terreni sciolti di copertura (coltri di alterazione, depositi vulcanici, detriti naturali e antropici) e si innescano su versanti caratterizzati da pendenze piuttosto elevate

*(da APAT, 2006)*

# I colamenti rapidi e le flash flood



*(da APAT, 2006)*

# I colamenti rapidi e le flash flood



**Aumento di alluvioni repentine e di colate rapide (detritiche e di fango)**

I cambiamenti climatici in atto stanno determinando l'aumento della frequenza di eventi temporaleschi intensi, che in ristretti intervalli di tempo riversano sul territorio, ingenti quantitativi d'acqua, tali da innescare fenomeni di colata rapida su versanti suscettibili o fenomeni alluvionali repentini in bacini di piccole dimensioni



# Flash flood

22.09.1992 ore 08.45



22.09.1992 ore 13.30



22.09.1992 ore 13.40



22.09.1992 ore 13.45



*Esondazione del  
Torrente Quiliano –  
Quiliano (SV) avvenuta  
il 22 settembre 1992.  
Il fenomeno avviene in  
circa 15 minuti e si  
nota come il ponte  
venga prima via via  
sommerso e poi  
completamente  
scalzato.  
L'evento causò la morte  
di una donna e di sua  
figlia.*

# Urban floods



Catania, ott. 2018.

Fonte: [www.severeweather.eu](http://www.severeweather.eu).

## **Aumento dei fenomeni di *urban floods***

I cambiamenti climatici in atto determineranno con elevata probabilità l'aumento della frequenza di eventi temporaleschi intensi, che in ristretti intervalli di tempo riversano sul territorio, ingenti quantitativi d'acqua, tali da non potere essere smaltiti dai sistemi di drenaggio urbano.

L'impermeabilizzazione dei terreni indotta dal consumo di suolo, aggrava ulteriormente l'impatto di tali eventi.

# Costal floods



Inondazioni marine delle zone costiere sono provocate da mareggiate causate da venti intensi. Possono concorrere come cause anche i fenomeni di marea e la concomitanza con eventi di piena dei corsi d'acqua.

Fonte: <https://ita.animalia-life.club/inondazione-costiera>

# Prevenzione del rischio e azioni di adattamento ai cambiamenti climatici



# Valutazione del rischio

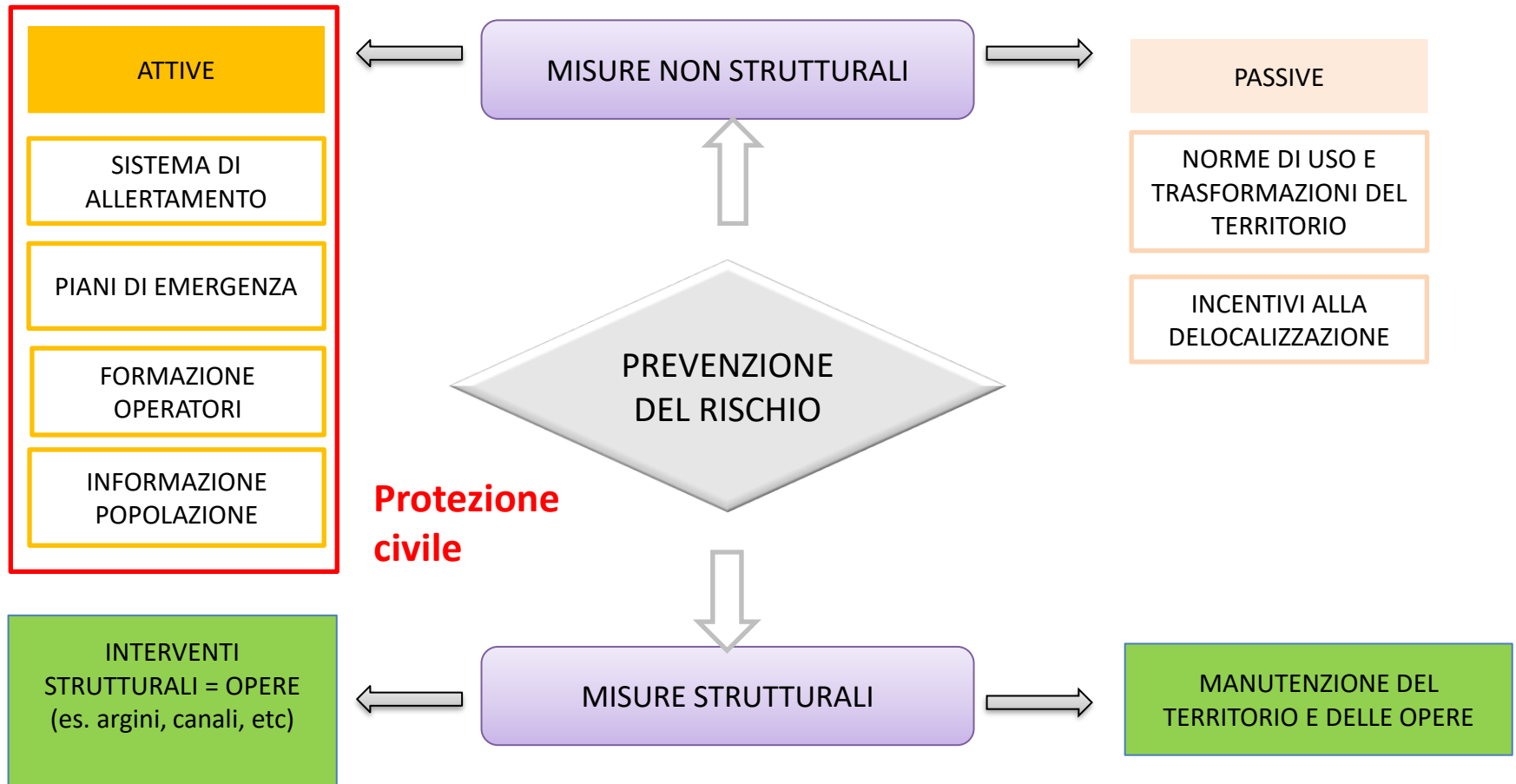
$$R = f(H, E, V, C)$$

Capacità di  
rispondere

*H* – Pericolosità; *V* – Vulnerabilità; *E* – Esposizione

*C* è La combinazione di tutti i **punti di forza**, degli **attributi** e delle **risorse** disponibili all'interno di un'organizzazione, comunità o società per **gestire e ridurre i rischi di disastro e rafforzare la RESILIENZA**

# La prevenzione del rischio



# Cambiamenti Climatici: differenza tra adattamento e mitigazione

- ❑ «**Adattamento**» significa prevedere gli effetti avversi dei cambiamenti climatici e adottare misure adeguate per prevenire o ridurre al minimo i danni che possono essere provocati dai fenomeni causati o esacerbati dai cambiamenti climatici. Esempi di misure di adattamento sono la costruzione di difese per proteggere dall'innalzamento del livello del mare. In sostanza, l'adattamento può essere inteso come il processo che cerca di diminuire i danni provocati dai fenomeni attuali e futuri connessi ai cambiamenti climatici.
- ❑ «**Mitigazione**» significa rendere meno gravi gli effetti dei cambiamenti climatici riducendo l'emissione di gas a effetto serra (GES) nell'atmosfera oppure potenziandone lo stoccaggio. In sostanza, la mitigazione è un intervento umano che riduce le fonti delle emissioni di gas a effetto serra e/o rafforza i pozzi di assorbimento.

# Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (dic 2023)

Azioni di adattamento ai cambiamenti climatici e ambientali che debbono essere integrate per **contenere/mitigare l'impatto dei fenomeni di dissesto geologico, idrologico e idraulico:**

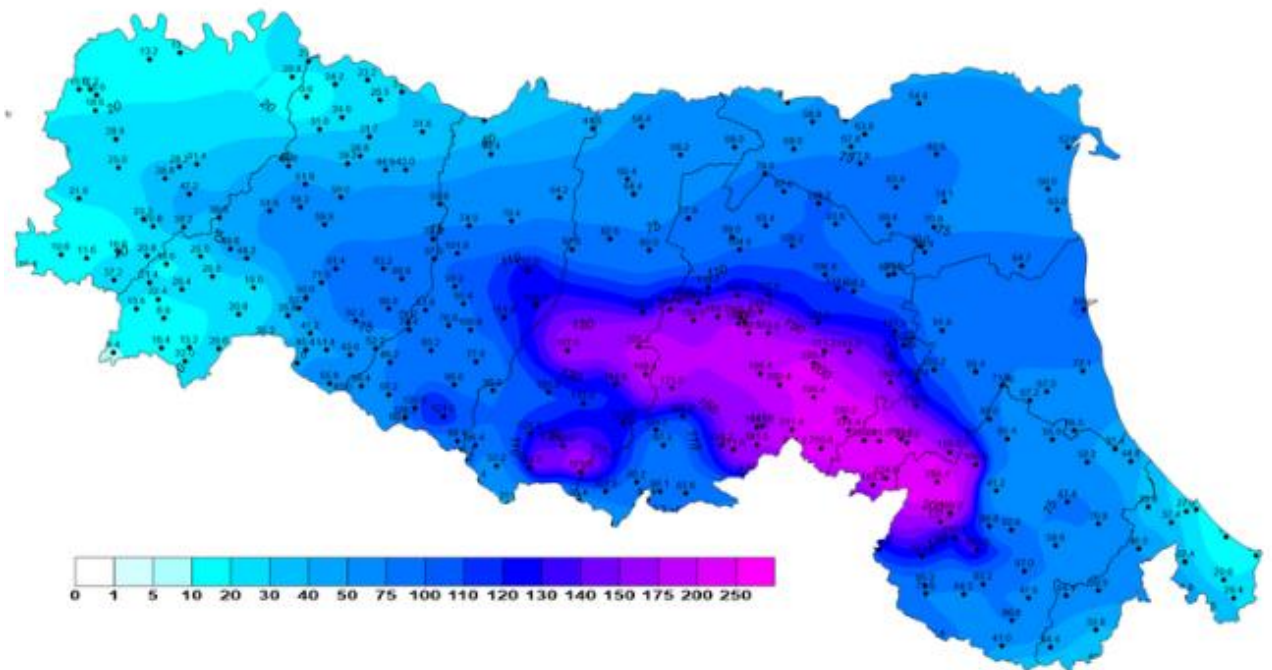
## Misure di prevenzione non strutturale

- miglioramento delle **conoscenze scientifiche e del trasferimento tecnologico** in tutti i settori coinvolti nella difesa dai rischi naturali (privato, pubblico, istituzionale, internazionale);
- miglioramento del **monitoraggio territoriale**;
- miglioramento dei **sistemi di previsione**;
- miglioramento del supporto tecnico, della **gestione delle emergenze** e della **preparazione e addestramento** (“preparedness”) della **popolazione**;
- implementazione, miglioramento e recupero di **misure di difesa strutturali** attraverso il disegno e la realizzazione di opere specifiche.

# **Il caso di studio delle alluvioni e frane in Emilia Romagna nel maggio 2023**

# Emilia-Romagna evento 1-3 Maggio 2023

Precipitazione (mm) - Somma - 01/05-03/05



Le precipitazioni più intense si sono concentrate sui bacini collinari affluenti del fiume Reno: Samoggia, Idice, Quaderna, Sillaro, Santerno, Senio, Lamone e Montone, tutti caratterizzati da un'estensione territoriale limitata (< 400 kmq). La persistenza nel tempo delle precipitazioni, che hanno raggiunto valori superiori a 150 mm/24h nelle 24 ore centrali dell'evento, è stimabile con un tempo di ritorno di oltre 100 anni.

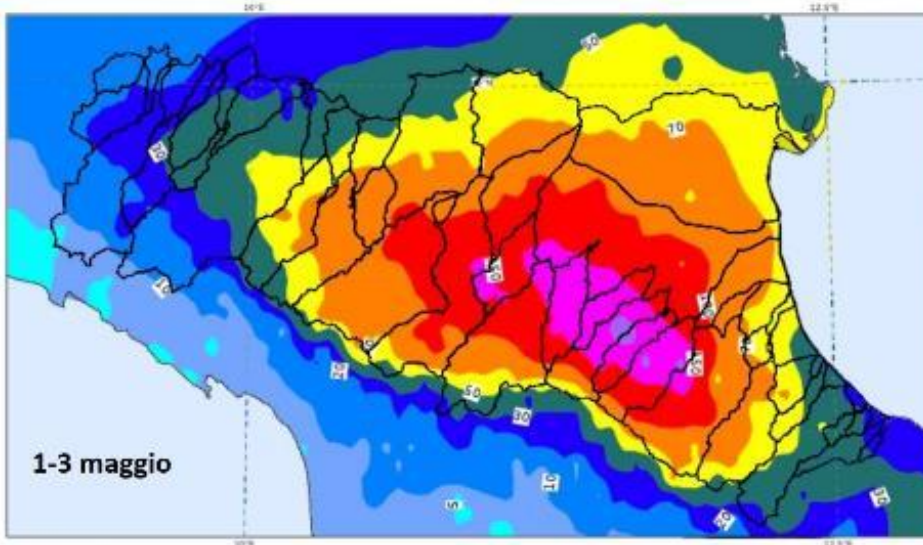
# Emilia-Romagna evento 1-3 Maggio 2023



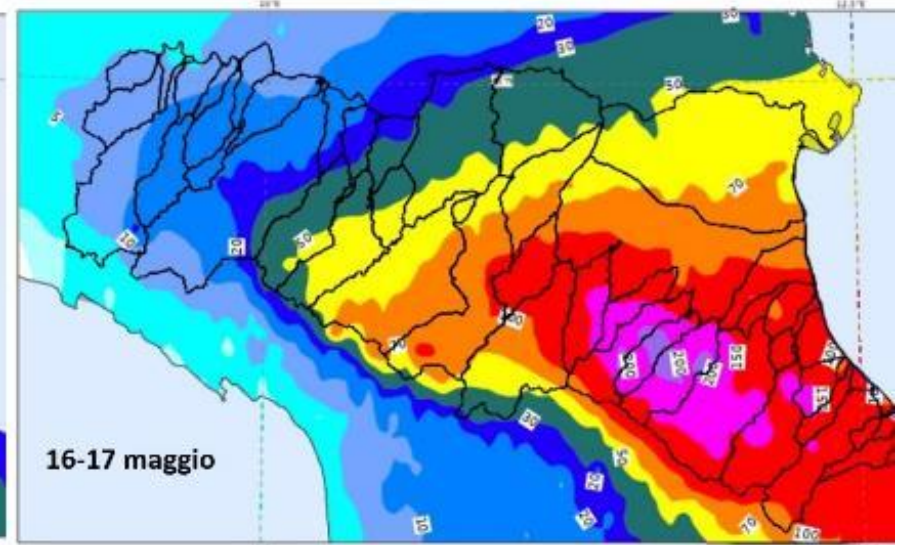
Nei tratti pianeggianti arginati dei fiumi Sillaro, Senio, Lamone e Santerno si sono verificate numerose rotture di argini causate da fontane localizzate e tracimazioni, provocando diffusi allagamenti di aree agricole e industriali, centri abitati e strade.

# Emilia-Romagna evento 16-17 Maggio 2023

poggia cumulata [mm] in 48 ore  
Cumulata dal 01-05-2023 alle ore 07 U.T.C. al 03-05-2023 alle ore 07 U.T.C.



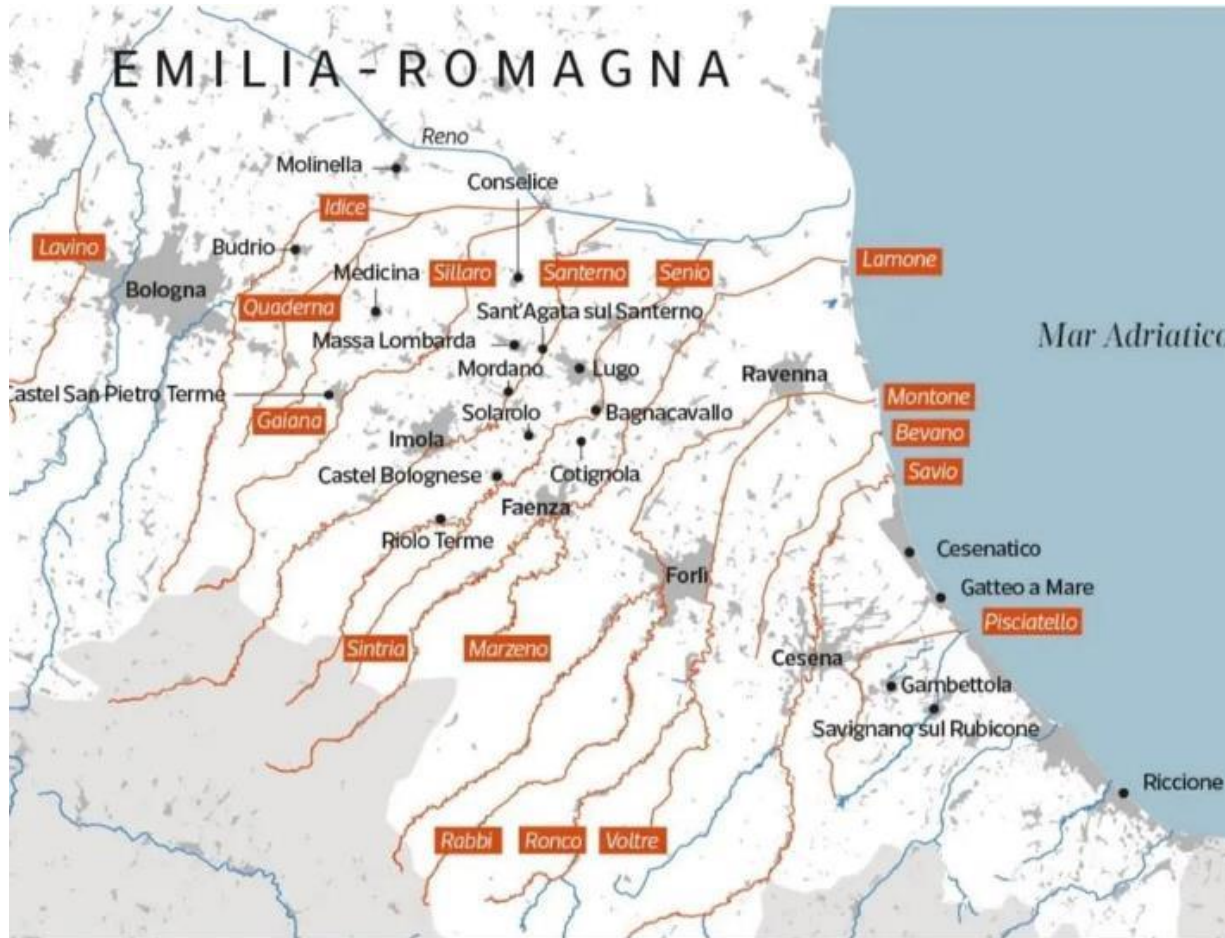
poggia cumulata [mm] in 48 ore  
Cumulata dal 16-05-2023 alle ore 00 U.T.C. al 18-05-2023 alle ore 00 U.T.C.



Nei giorni 16 e 17 maggio 2023 si sono registrate punte di 300 mm sui bacini del crinale e delle colline forlivesi. Nella stessa zona, sulle colline e montagne del ravennate e nel settore orientale del bolognese, sono caduti in media dai 150 ai 200 millimetri. Fino a 150 millimetri nella pianura Cesena-Forlì.



# Emilia-Romagna evento 16-17 Maggio 2023



**Impatto dell'evento sul territorio dal punto di vista idraulico:**

- 23 fiumi sono esondati anche in più punti e 13 corsi d'acqua hanno superato il livello 3, il livello massimo di allerta;
- 43 i comuni allagati tra la Romagna e il bolognese.

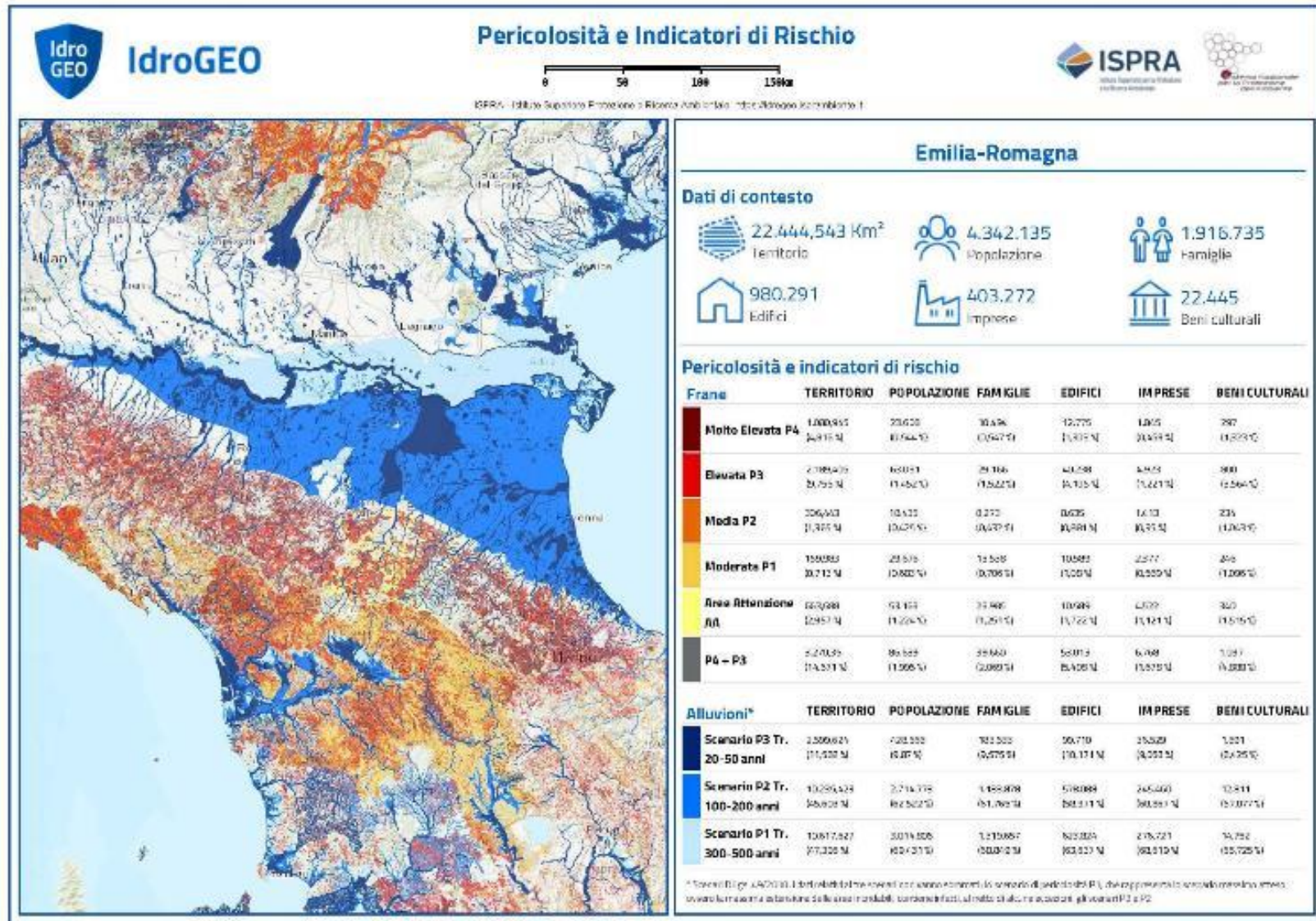
# Emilia-Romagna evento 16-17 Maggio 2023



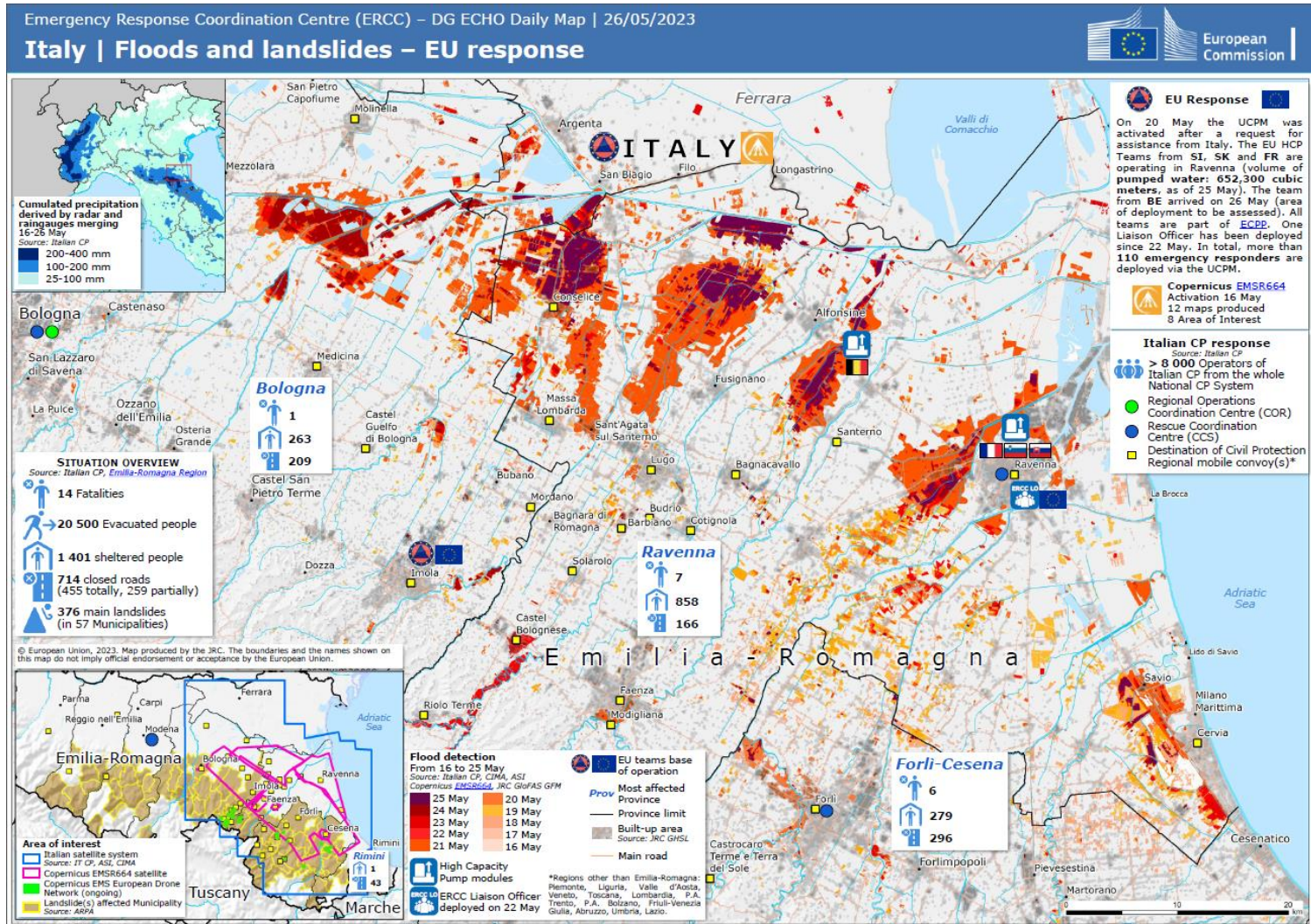
Via Fratelli Bandiera (Faenza - RA)  
Rottura d'argine del Fiume Lamone



# Emilia-Romagna evento 16-17 Maggio 2023



# Emilia-Romagna evento 16-17 Maggio 2023



# Emilia-Romagna evento 16-17 Maggio 2023

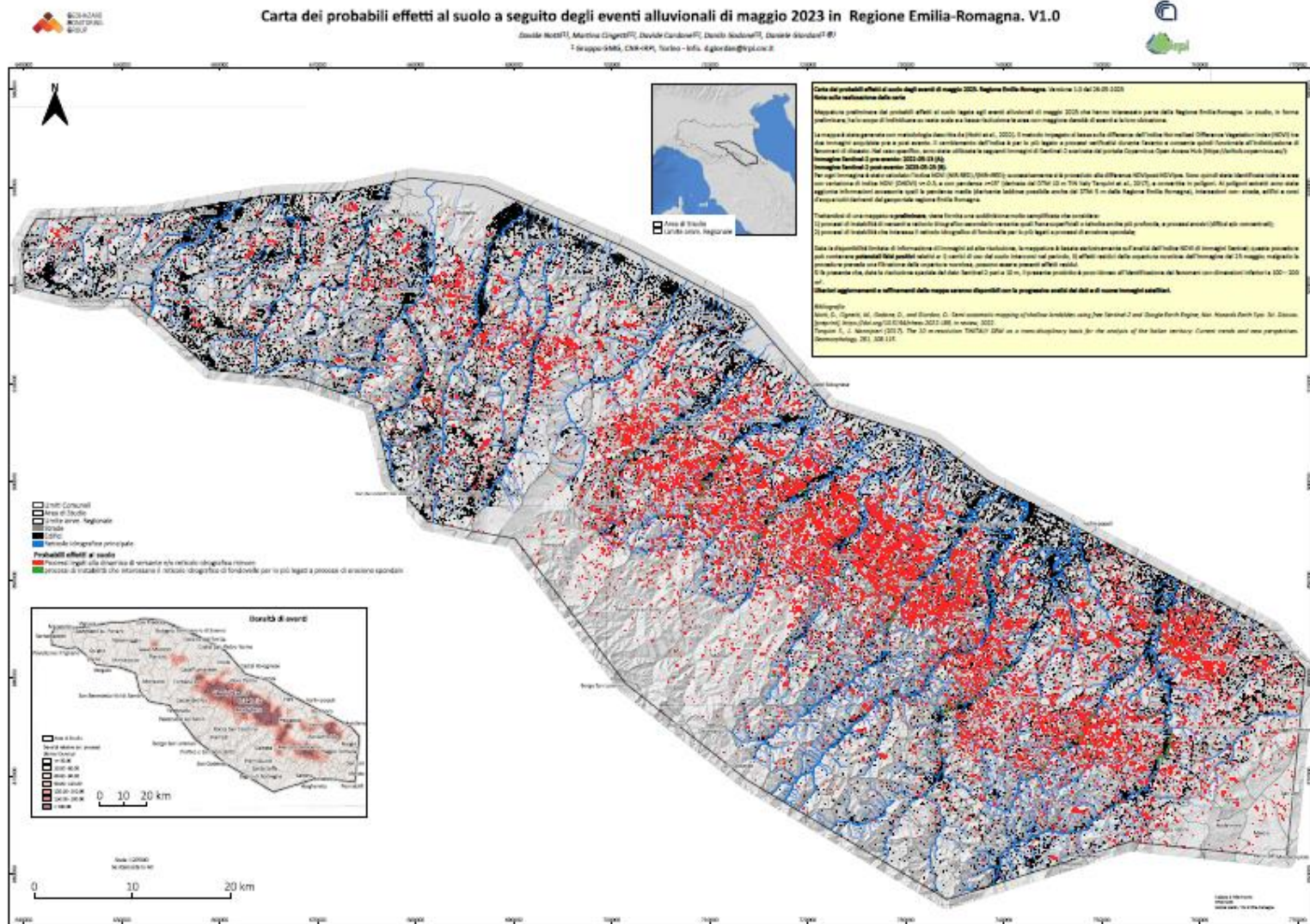


## **Impatto dell'evento sul territorio dal punto di vista idrogeologico:**

- 58 i comuni interessati da più di 1000 frane di nuova attivazione o riattivazione, di cui 120 particolarmente importanti, tra le province di Reggio Emilia e Rimini.

Colline di Castrocara (FC)

# Emilia-Romagna evento 16-17 Maggio 2023



# Emilia-Romagna evento 16-17 Maggio 2023

- ❑ La maggior parte delle frane rilevate sono poco profonde e spesso si sono evolute in colate dopo un iniziale movimento rotazionale-traslazionale. Questi fenomeni hanno interessato principalmente le aree coltivate e la rete stradale, nonché i corsi d'acqua che, a loro volta, hanno provocato allagamenti nelle aree circostanti.
- ❑ Le strutture e le attività antropiche possono aver esercitato una potenziale influenza sui meccanismi di innesco attraverso, ad esempio, l'aumento dell'infiltrazione dell'acqua e della pendenza dei versanti.
- ❑ E' stata spesso osservata l'assenza o la scarsa manutenzione di strutture di contenimento e di opere di drenaggio (sia delle acque superficiali che di quelle sotterranee);

# Emilia-Romagna evento 16-17 Maggio 2023

- ❑ Le frane del maggio 2023 possono essere spiegate principalmente con l'estrema intensità delle precipitazioni e con un contesto geologico-geotecnico molto sensibile a questo fattore.
- ❑ Sulla base dei risultati dell'analisi statistica condotta sui registri pluviometrici storici, si evidenzia l'eccezionalità di due eventi così gravi nella stessa area nell'arco di pochi giorni;
- ❑ Gran parte delle frane indagate si sono verificate in corrispondenza o in prossimità di frane preesistenti e già note, in aree caratterizzate da un'elevata suscettibilità a franare, il che è coerente con il contesto geologico e geomorfologico dell'area.