



# l'era dei cambiamenti climatici: eventi estremi e impatti sulla società

Conferenza annuale di Dipartimento 12/12/2023

A cura di Fausto Guzzetti

fonte immagine: Local Team, <https://www.youtube.com/watch?v=GPdEiQMZCQA>

Conferenza del Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie  
per l'Ambiente | Sede centrale CNR | Roma | 12 dicembre 2023

# RISCHI GEO-IDROLOGICI IN UNO SCENARIO DI RISCALDAMENTO GLOBALE

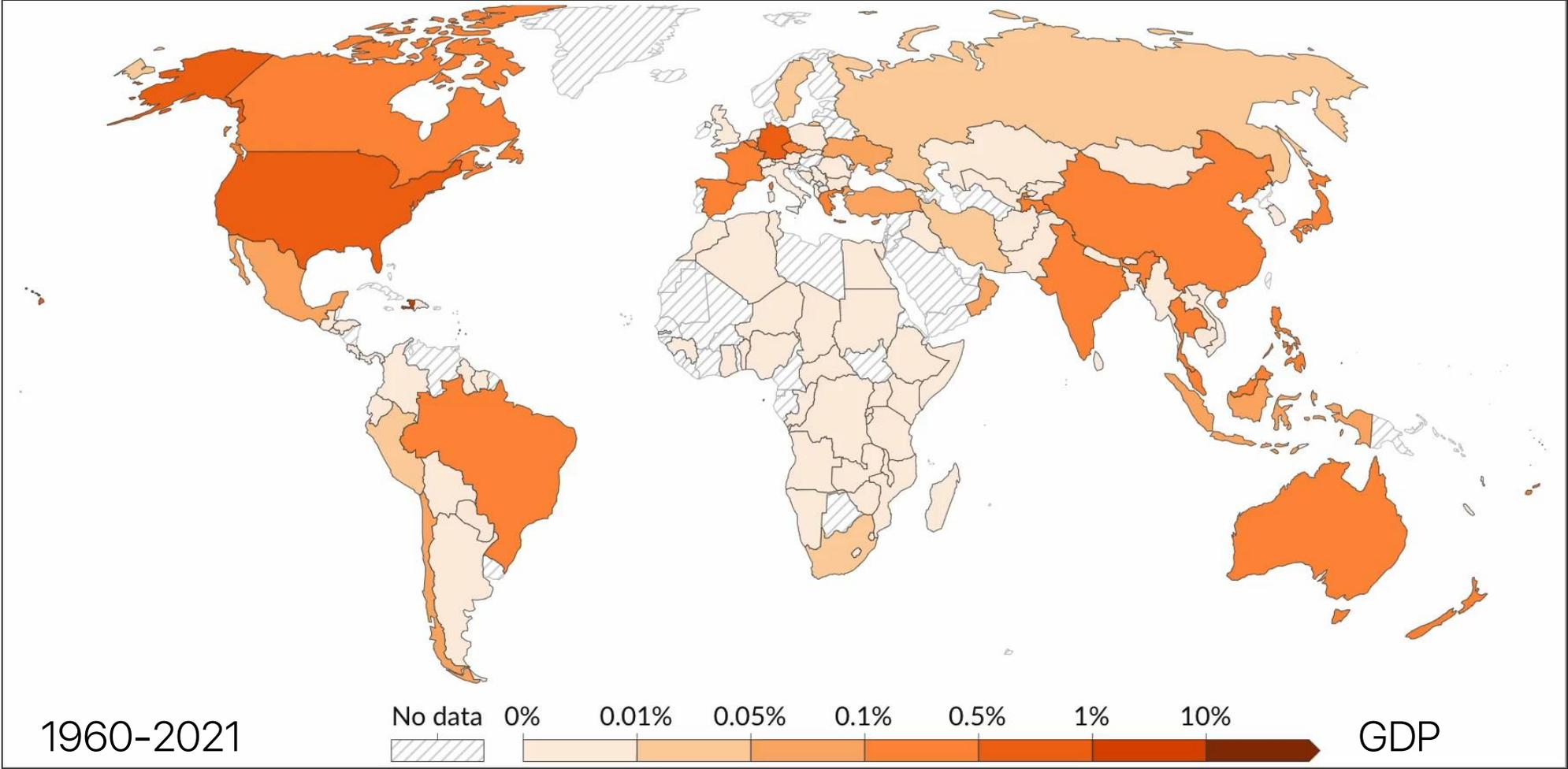
Fausto Guzzetti

Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

Consiglio Nazionale delle Ricerche

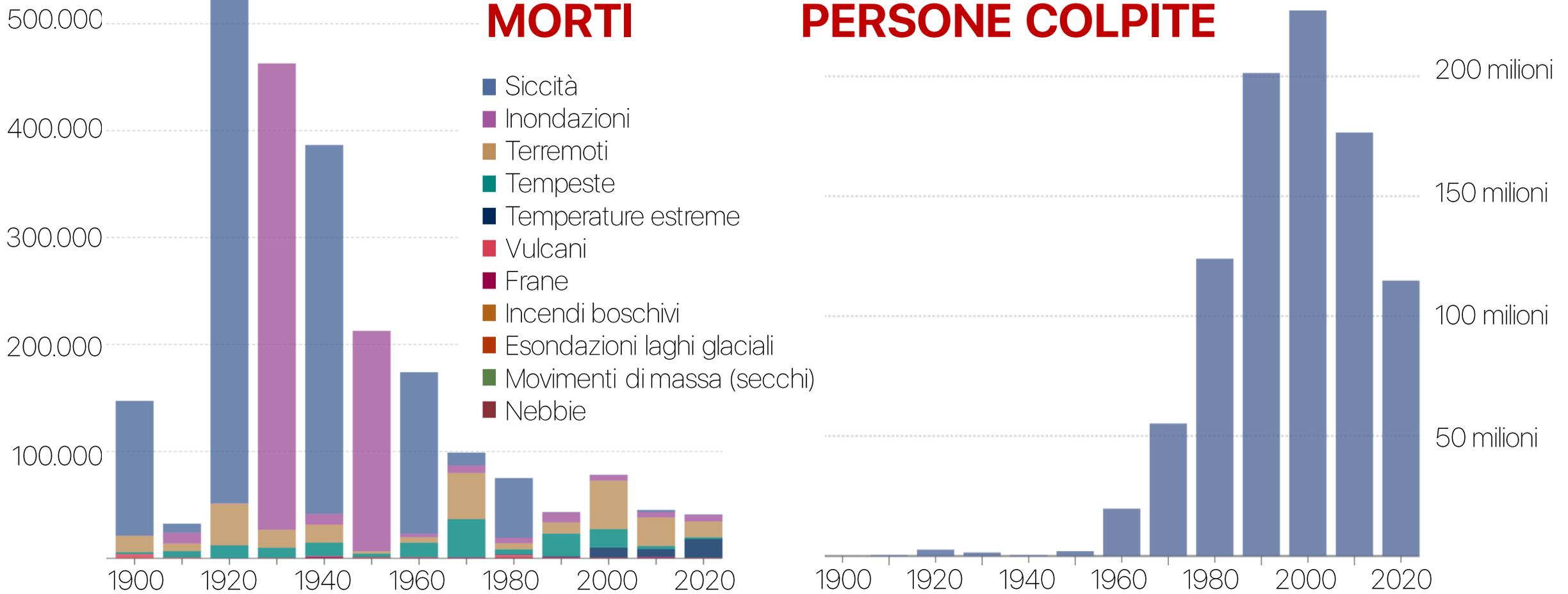
- Fatti
- Inondazioni
- Frane
- Considerazioni

# PERDITE ECONOMICHE



Data source: Our World in Data based on EM-DAT, CRED / UCLouvain, Brussels, [www.emdat.be](http://www.emdat.be) (D. Guha-Sapir) | CC by

# IMPATTO SULLA POPOLAZIONE



Data source: EM-DAT, CRED / UCLouvain (2023), Brussels, [www.emdat.be](http://www.emdat.be) (D. Guha-Sapir) | CC by

# CLIMA E RISCHI GEO-IDROLOGICI

- Il riscaldamento globale è inequivocabile.
- Gli effetti del riscaldamento sui rischi geo-idrologici sono difficili da prevedere.

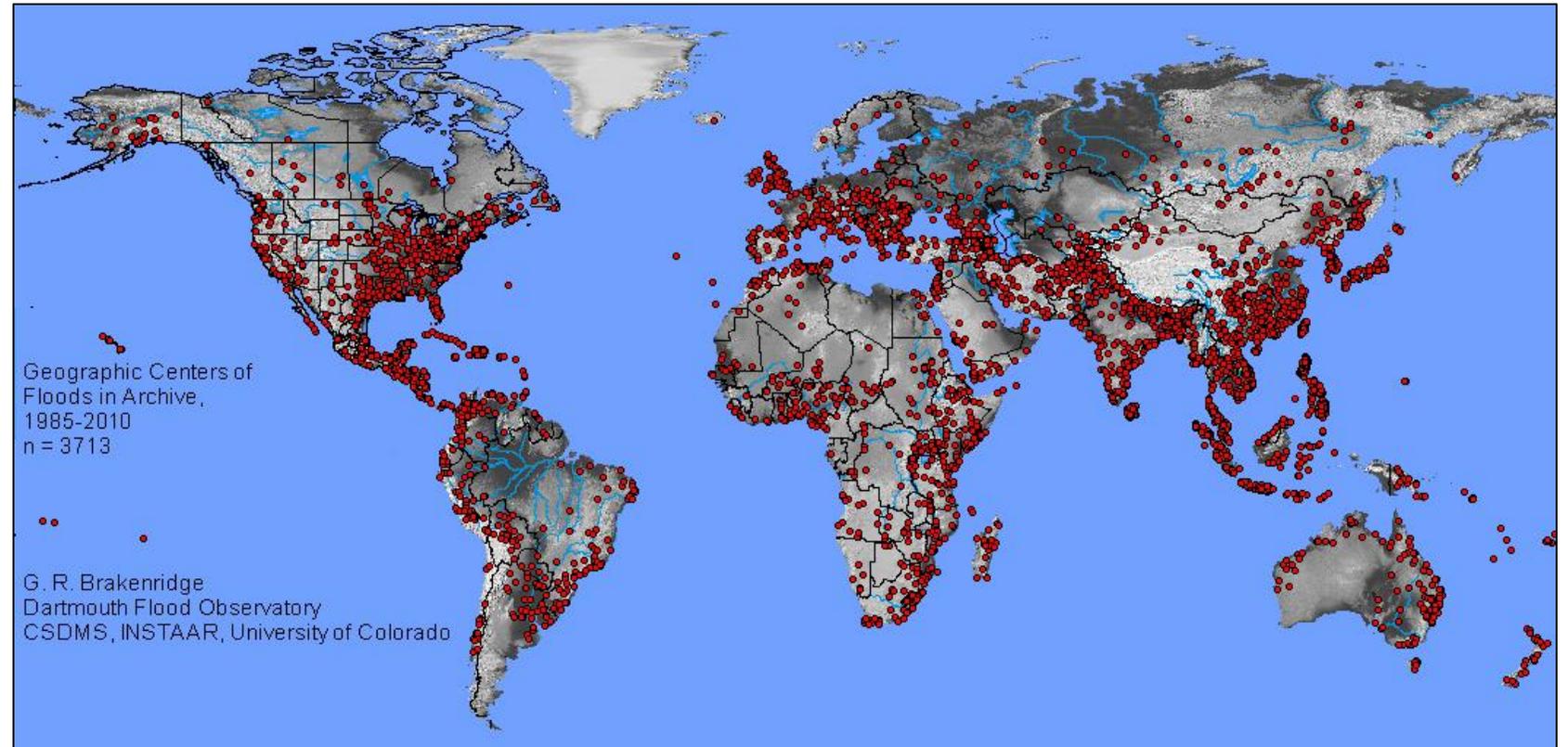


Gariano & Guzzetti 2016

- Fatti
- **Inondazioni**
- Frane
- Considerazioni

# GRANDI INONDAZIONI

- 3713 grandi inondazioni dal 1985 al 2010.



Kundzewicz et al 2014, Brakenridge 2016

# ALLUVIONI RECENTI

- Emilia Romagna, 1-3 e 16-17 maggio, 17 morti, oltre € 9 miliardi di danni.
- Toscana, 2-3 novembre, 8 morti, oltre € 2 miliardi di danni.

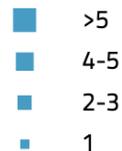
# VITTIME IN ITALIA

- 1972-2021, 539 morti, 32 dispersi, 452 feriti, oltre 160.000 evacuati e senzattetto
- 1.332 località di 973 Comuni in 107 Province di 20 Regioni

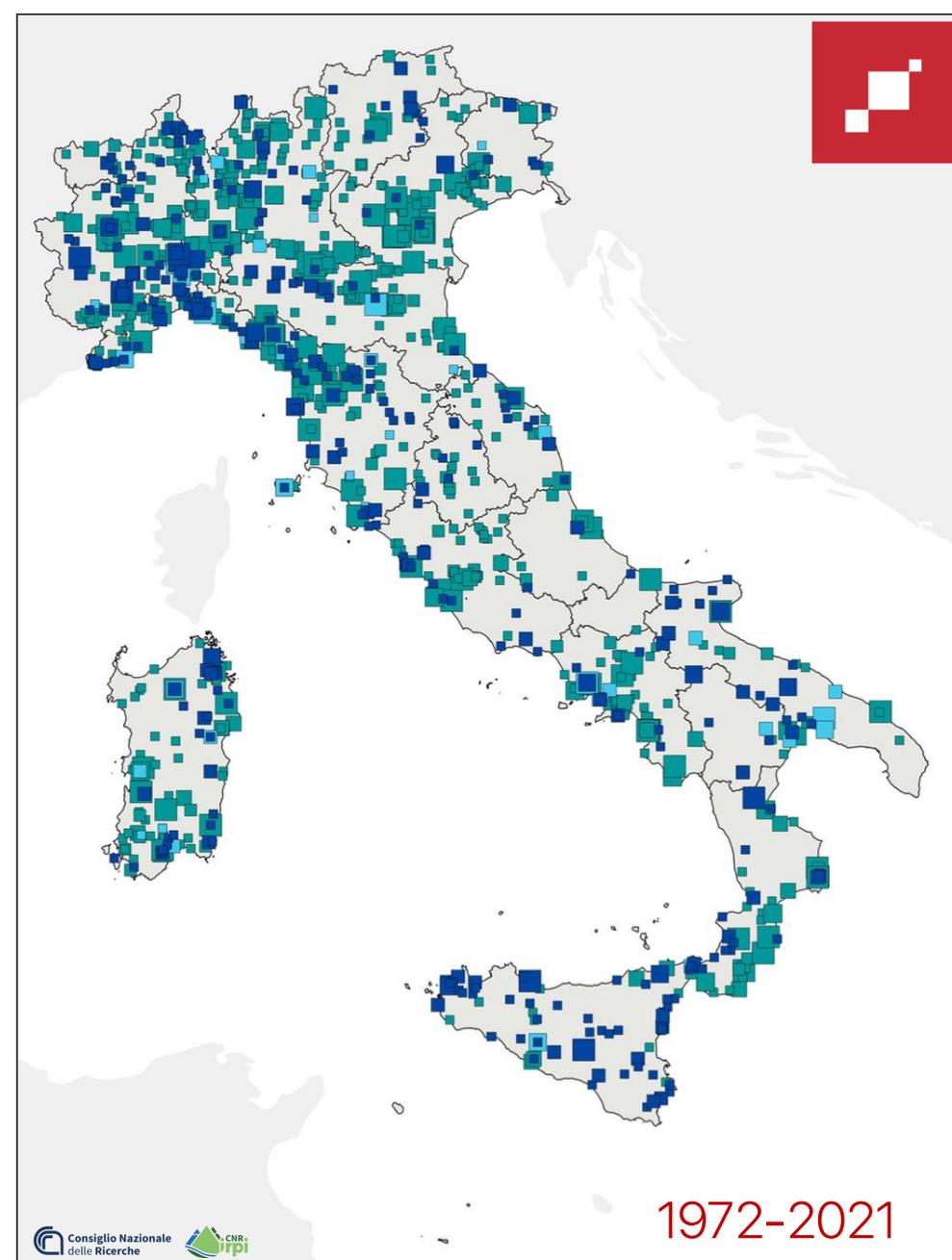
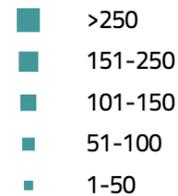
morti, dispersi per Inondazione



feriti per Inondazione

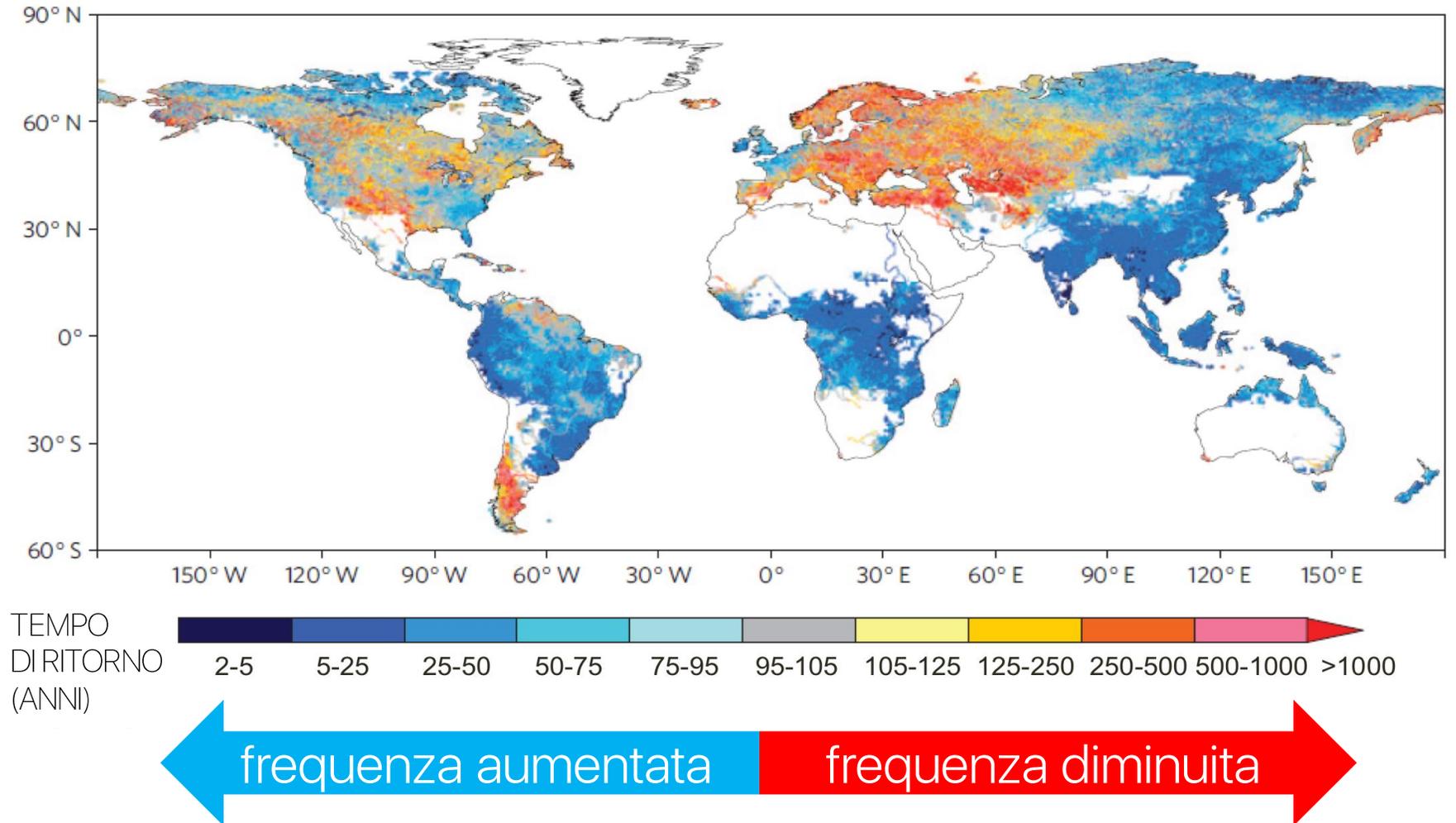


evacuati e senzattetto per Inondazione



Bianchi e Salvati 2023

# FREQUENZA DELLE PIENE



Hirabayashi et al 2013, Jiménez Cisneros et al 2015

# FREQUENZA DELLE PIENE

- Le simulazioni delle **portate estreme** hanno **grandi "bias"** (media confidenza).
- I **modelli idrologici** globali faticano a **riprodurre le portate**.
- Le **proiezioni delle portate** sono ostacolate da **limiti e incertezze**.



IPCC 2021



# CLIMA E IDROLOGIA

visione tradizionale

casualità

casuale

scala spaziale

locale

variabilità

stazionario

scala temporale

recente

Merz et al 2014

# CLIMA E IDROLOGIA

	visione tradizionale	nuova visione
casualità	casuale	processi causali
scala spaziale	locale	globale
variabilità	stazionario	variabile
scala temporale	recente	lungo termine

Merz et al 2014

# CAMBIAMENTI NEL RISCHIO IDROLOGICO

- Il rischio dovuto a piene e inondazioni cambierà in risposta ai cambiamenti climatici in atto e attesi?



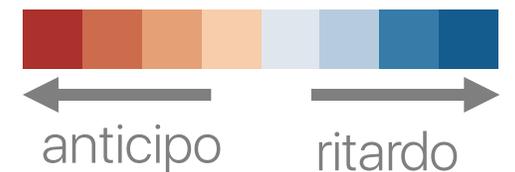
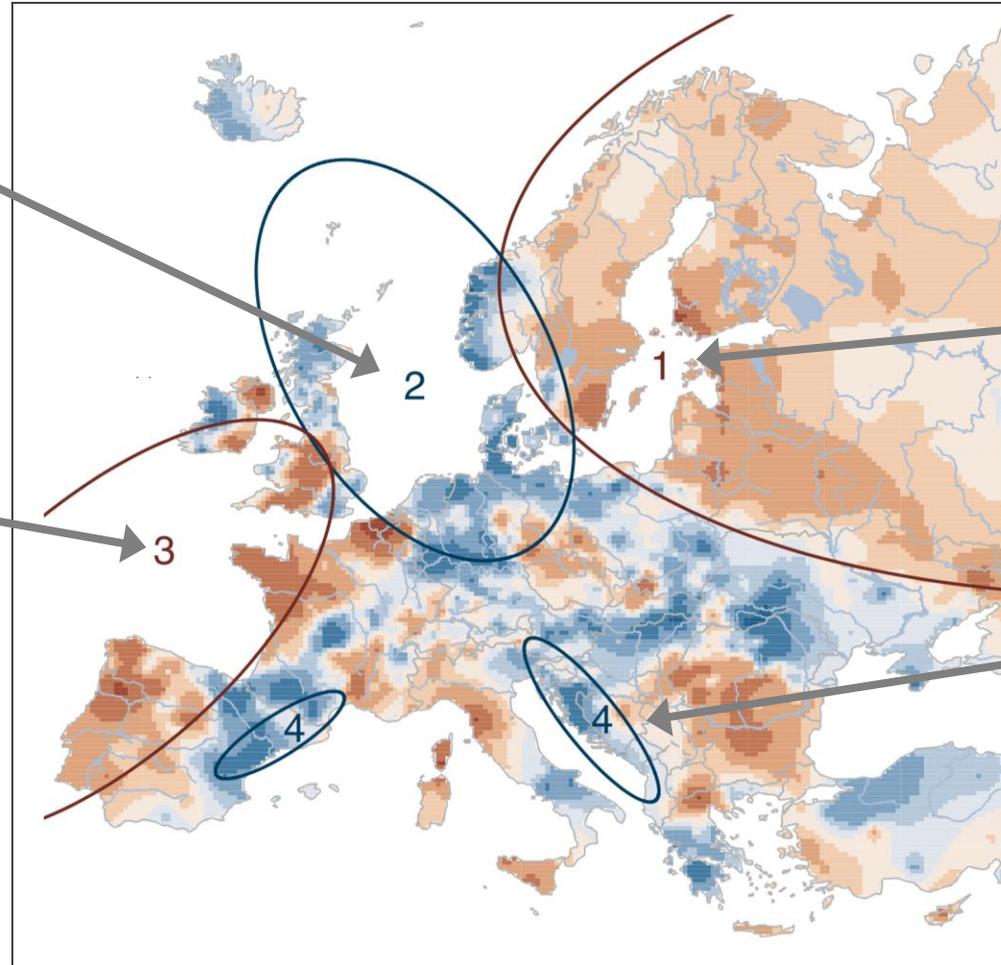
# PIENE IN EUROPA

piene posticipate  
tarde perturbazioni invernali

piene anticipate  
anticipo massima  
umidità del suolo

piene anticipate  
fusione anticipata della neve

piene posticipate  
più forte influenza  
atlantica in inverno

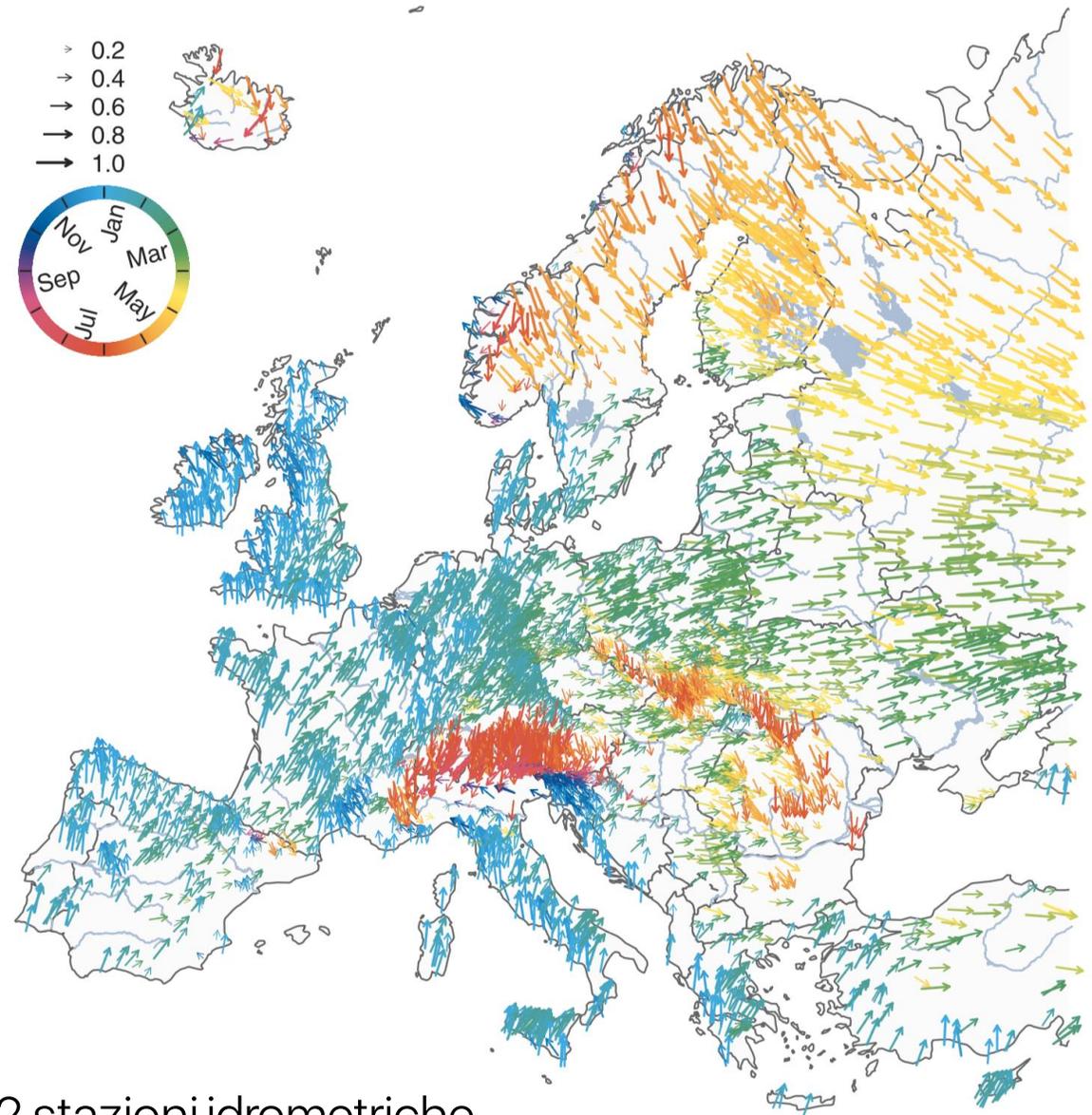


Blöschl et al 2017

4262 stazioni idrometriche dal 1960 al 2010

# PIENE IN EUROPA

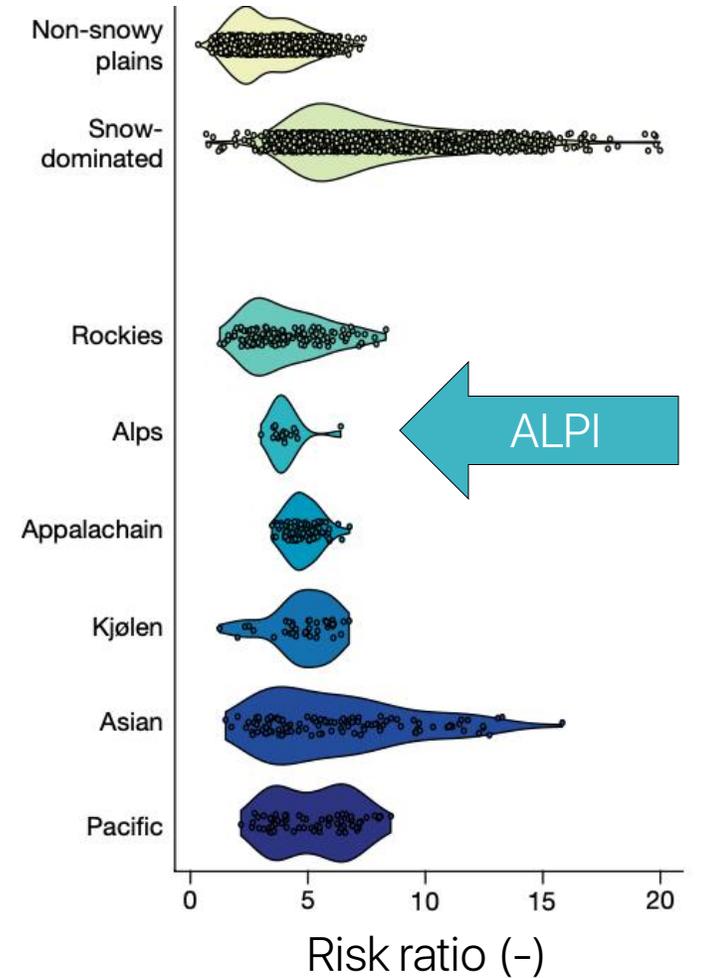
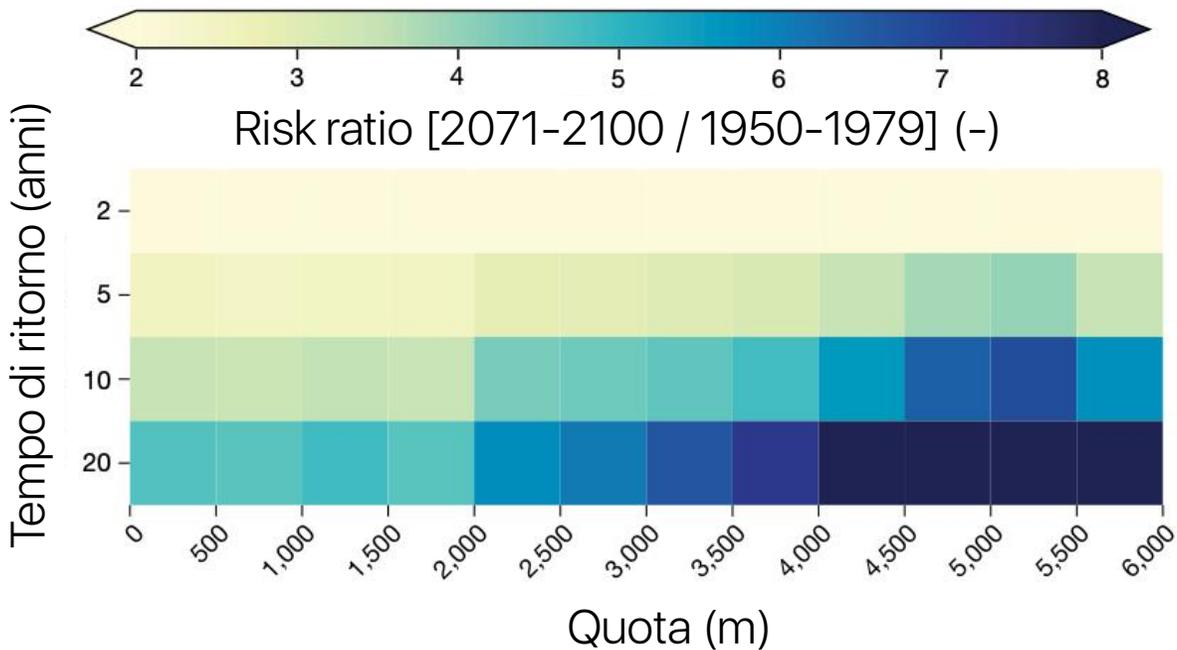
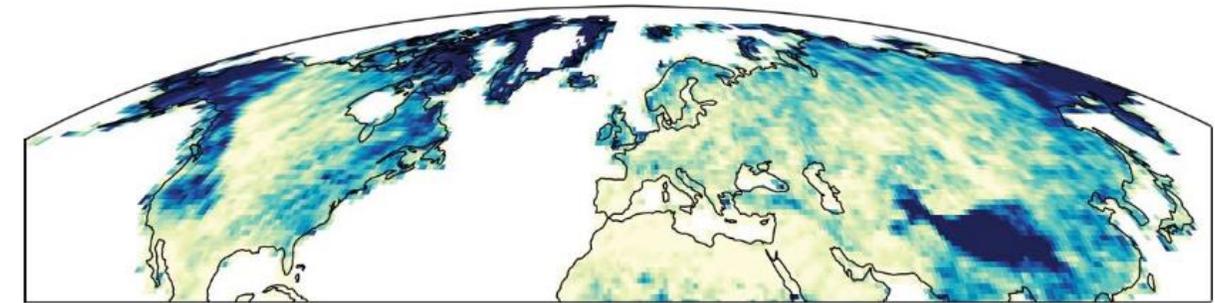
“Il **periodo medio** delle inondazioni varia da **ovest** a **est** ... e da **sud** a **nord**”



Blöschl et al 2017

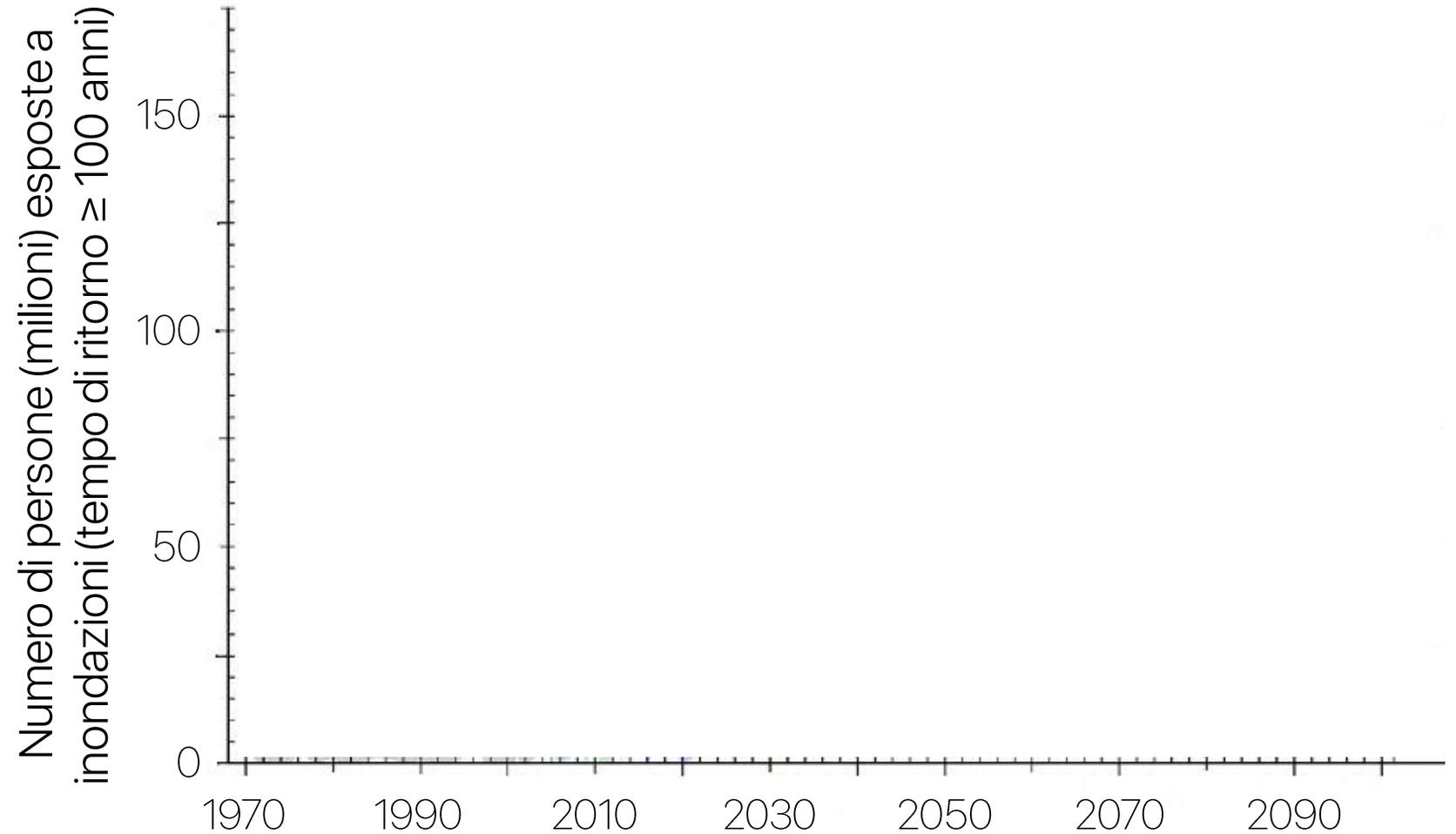
4062 stazioni idrometriche

# NEVE O PIOGGIA?



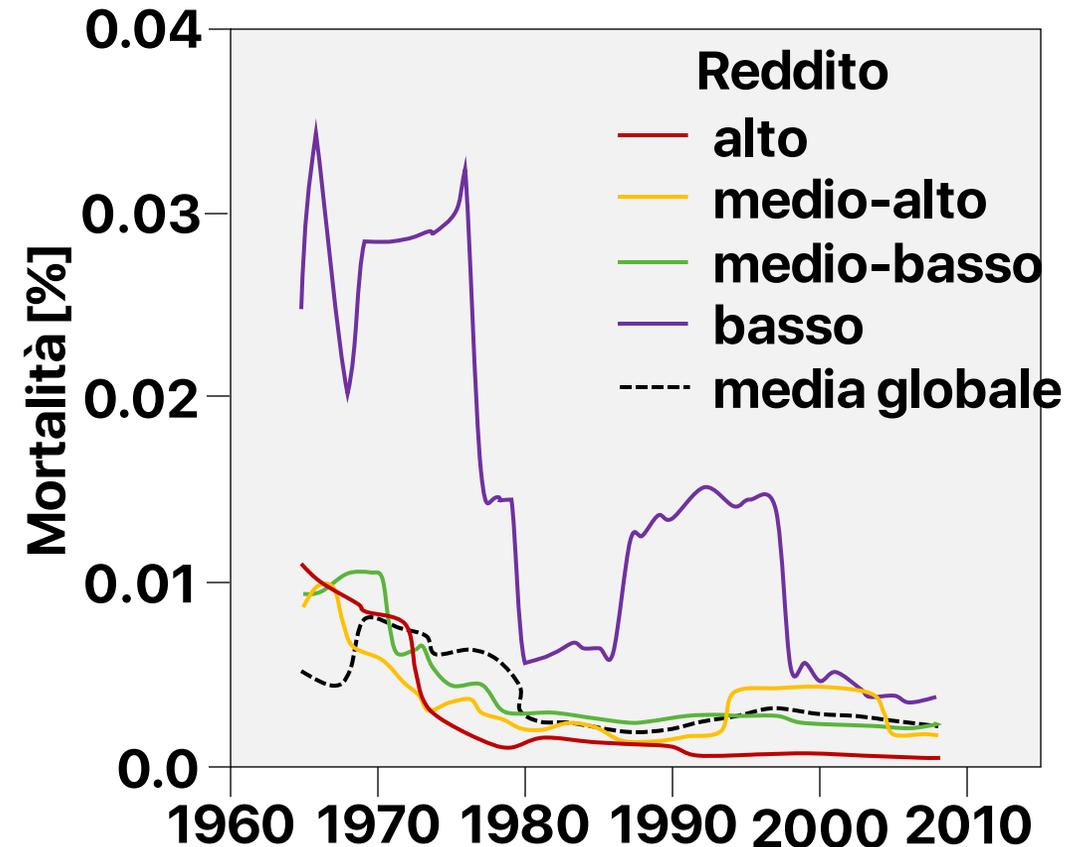
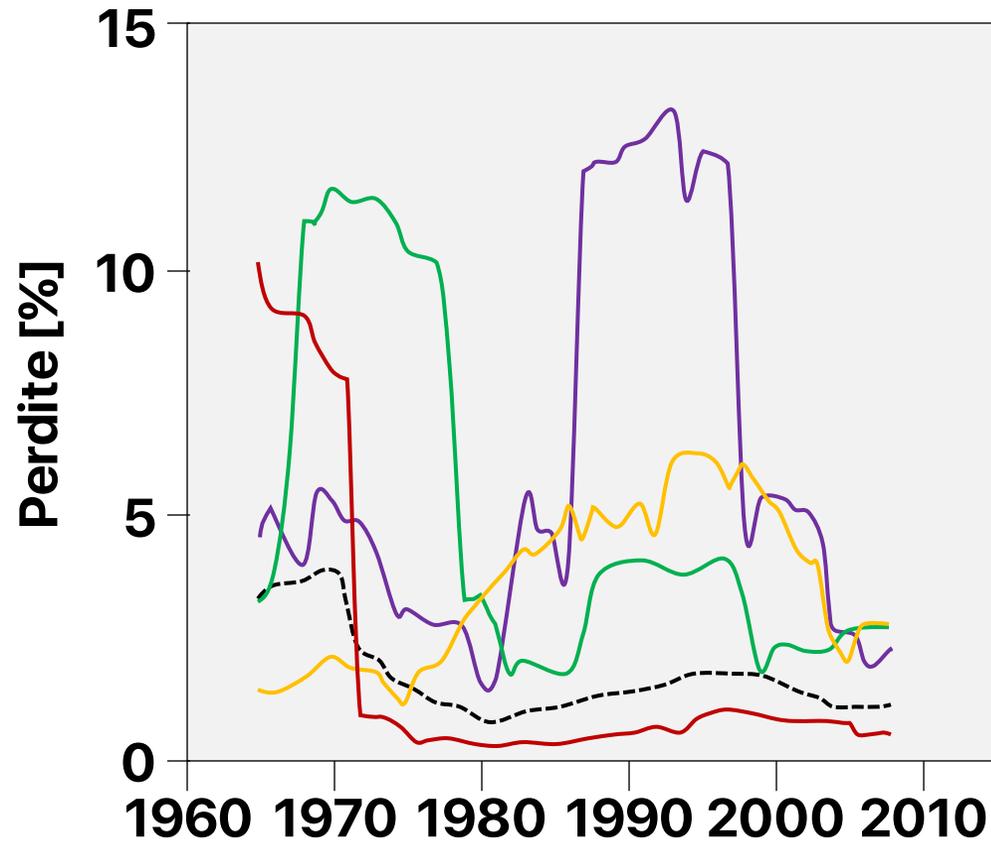
Ombadi et al 2023

# CLIMA E RISCHIO D'INONDAZIONE



Hirabayashi et al 2013, Jiménez Cisneros et al 2015

# VULNERABILITÀ ALLE INONDAZIONI



modificato da: Tanoue et al 2016

- Fatti
- Inondazioni
- **Frane**
- Considerazioni



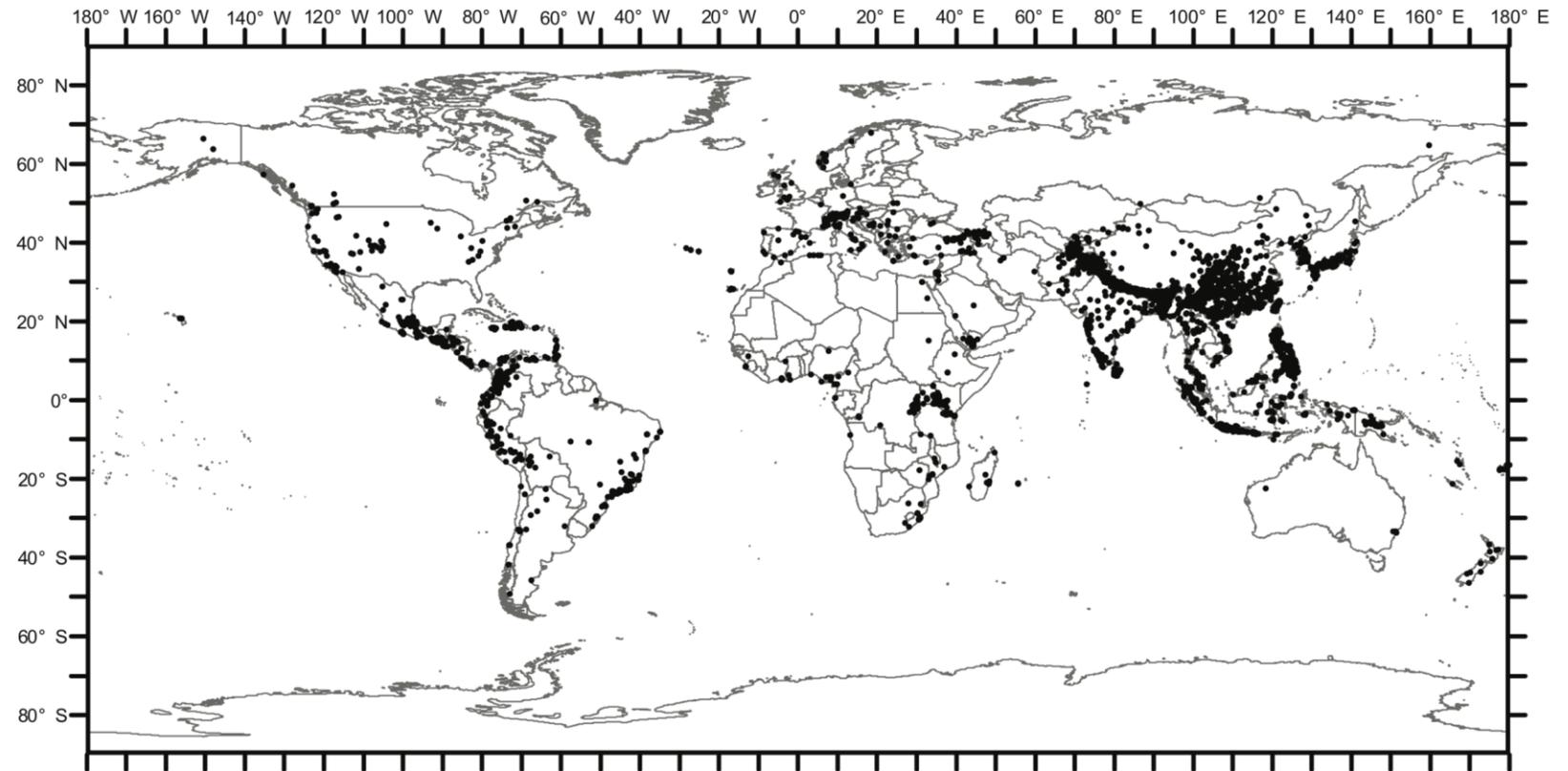
<https://www.skuela.net/storia-contemporanea/vajont.html>



frane sismo-indotte, Atsuma, Giappone | fonte: [www.sbs.com.au/](http://www.sbs.com.au/)

# VITTIME DI FRANE NEL MONDO

- 55.997 morti e dispersi causati da 4862 frane fra il 2004 e il 2016.



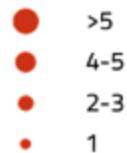
frane  
non sismo-indotte

Froude e Petley 2018

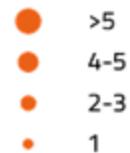
# VITTIME IN ITALIA

- 1972-2021, 1071 morti, 10 dispersi, 1.423 feriti, oltre 145.000 evacuati e senzatetto
- 2.623 località di 1.545 Comuni in 100 Province di 20 Regioni

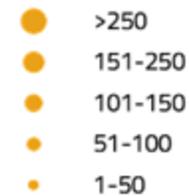
morti, dispersi per Frana



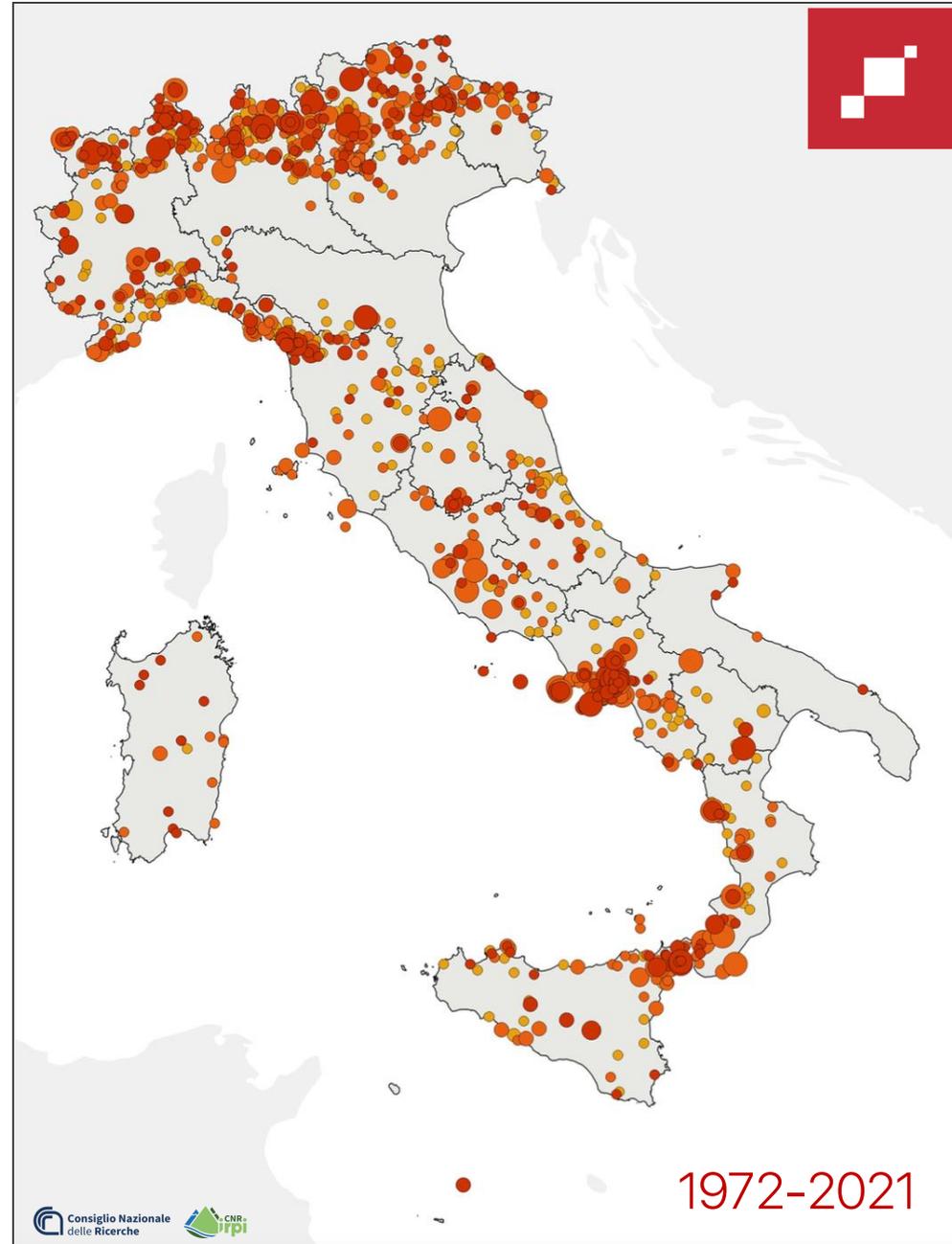
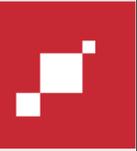
feriti per Frana



evacuati e senzatetto per Frana



Bianchi e Salvati 2023



# CAMBIAMENTI NEL RISCHIO DA FRANA

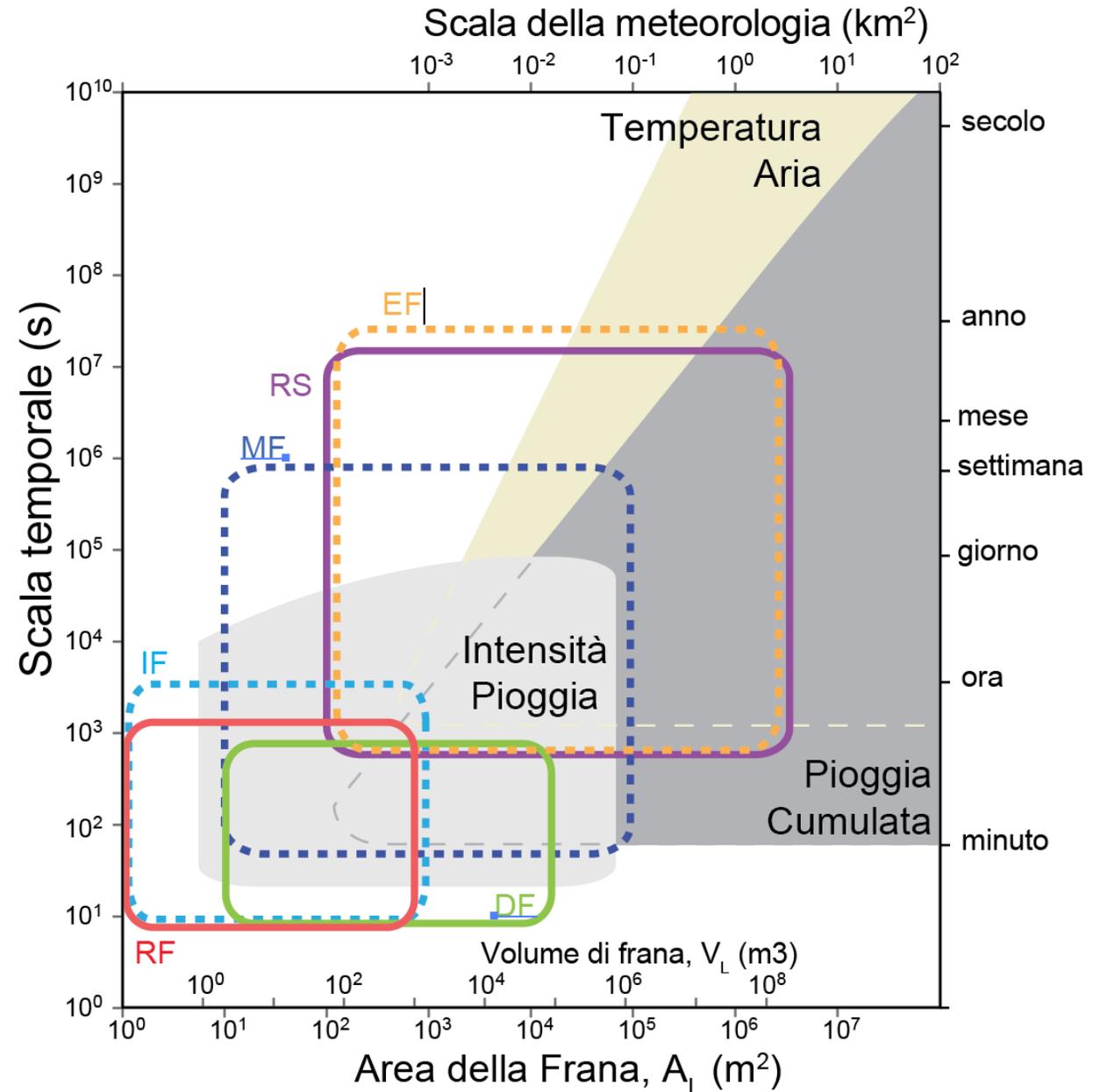
- Il **rischio** dovuto alle **frane cambierà** in risposta ai **cambiamenti climatici** in atto e attesi?



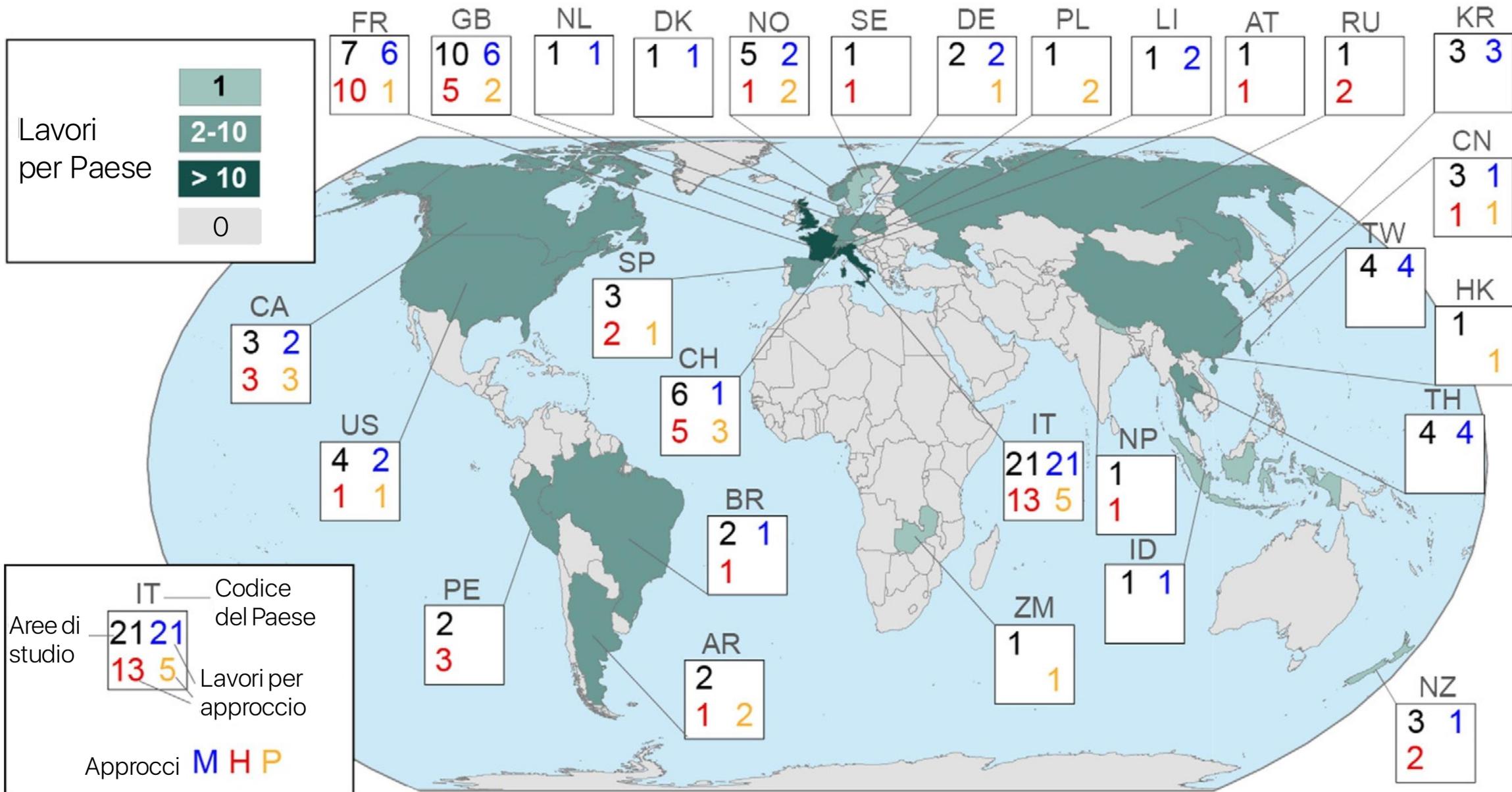
# CLIMA E FRANE

- RF cadute massi
- IF crolli di ghiaccio
- DF colate di detrito
- MF colate di terra
- EF colate di fango
- RS scivolamenti in roccia

- pioggia cumulata
- intensità della pioggia
- temperatura dell'aria

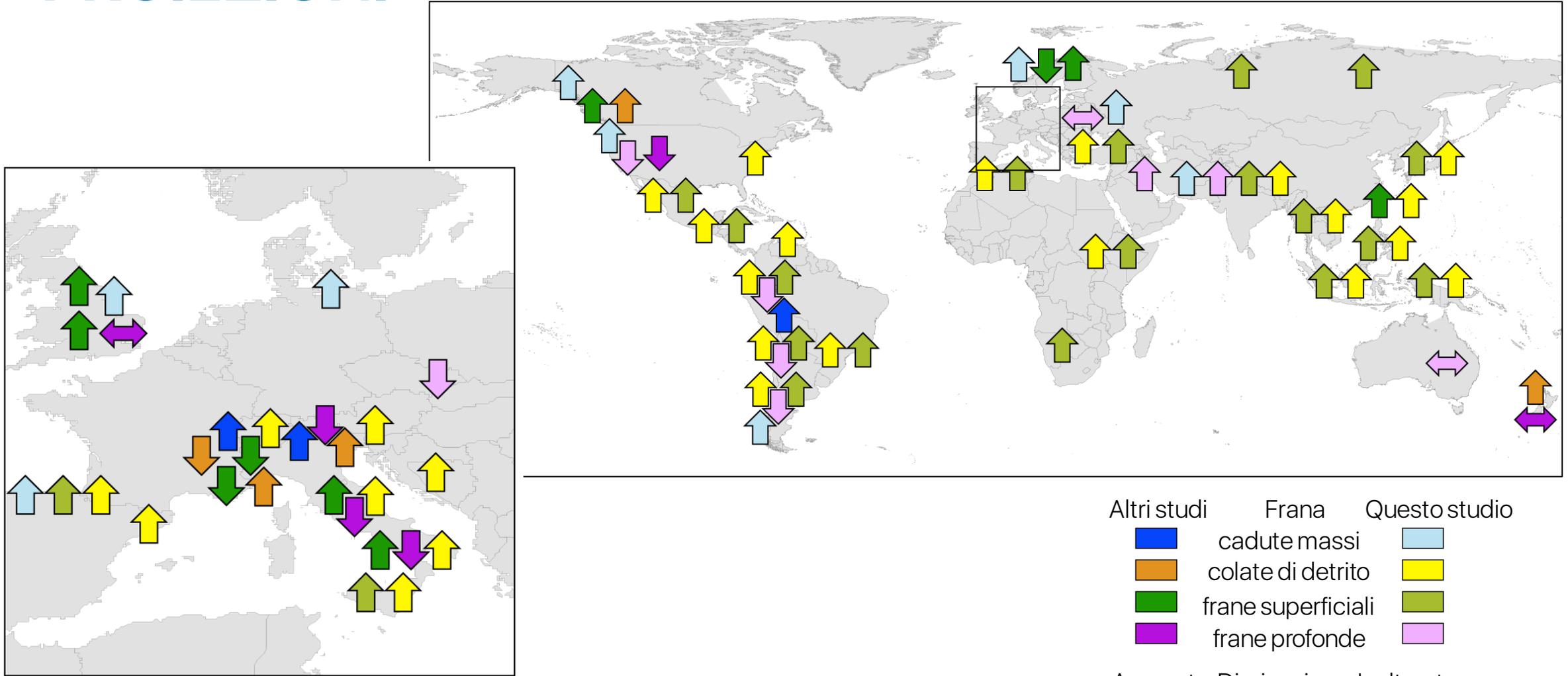


Gariano e Guzzetti 2016



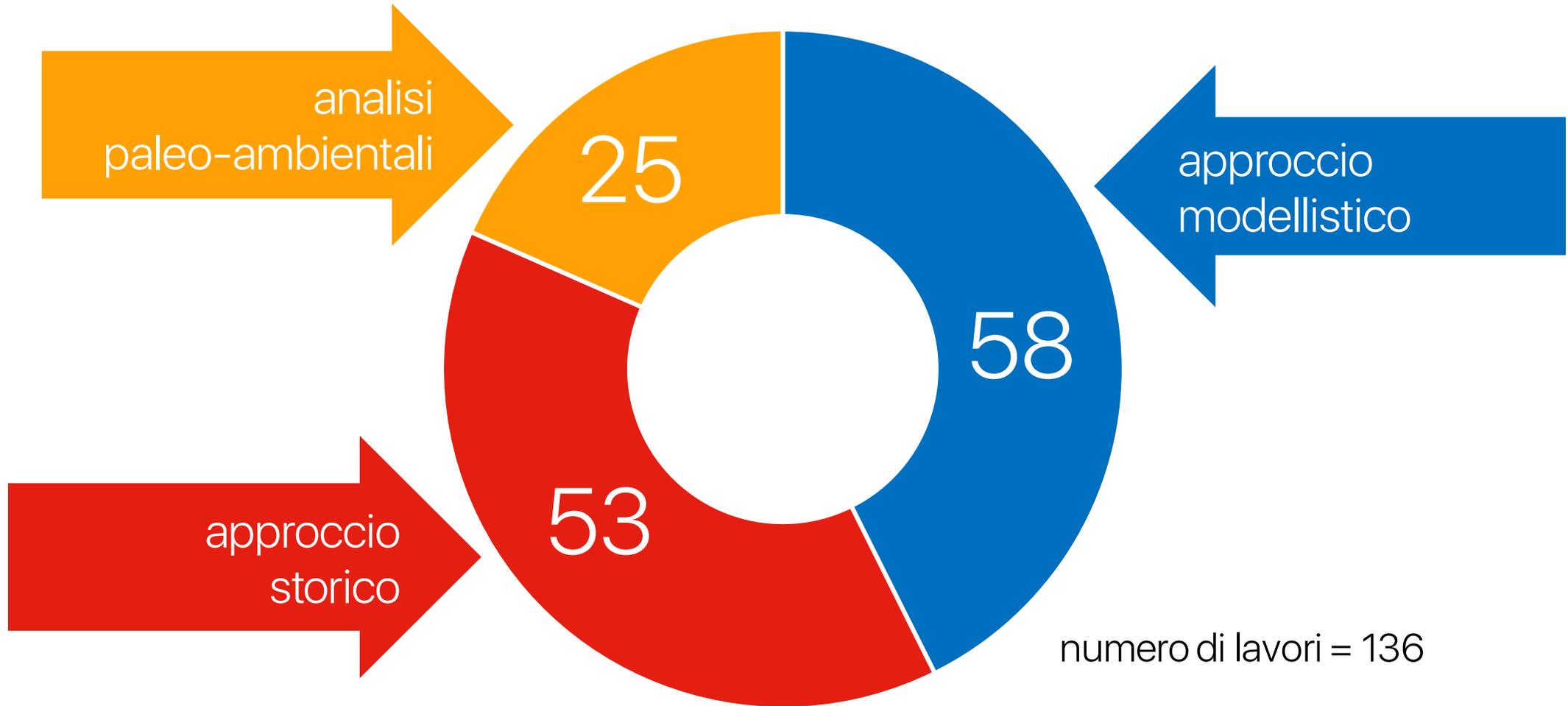
Gariano e Guzzetti 2016, 2021

# PROIEZIONI



Gariano e Guzzetti 2016

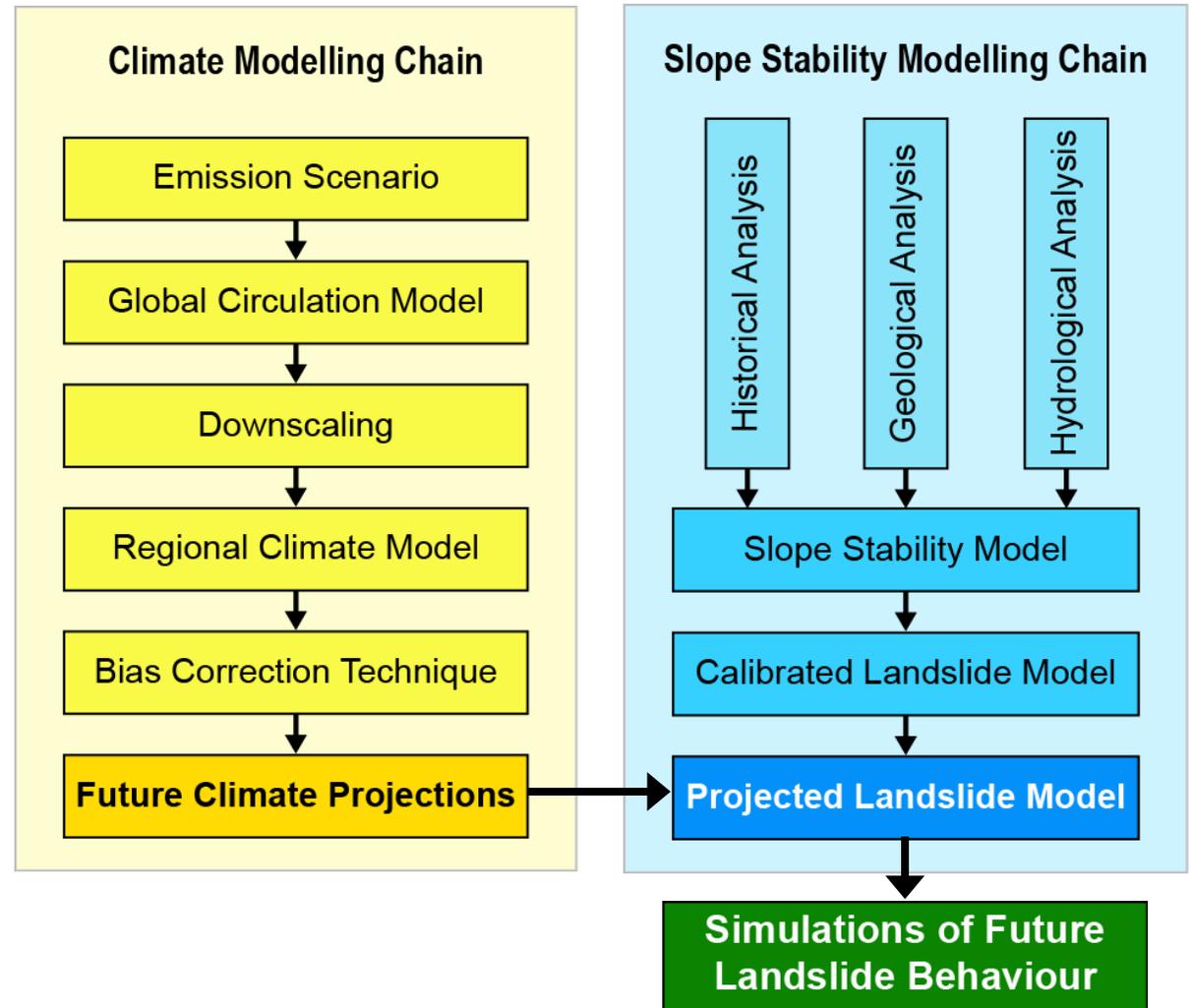
# APPROCCI



modificato da: Gariano e Guzzetti 2016

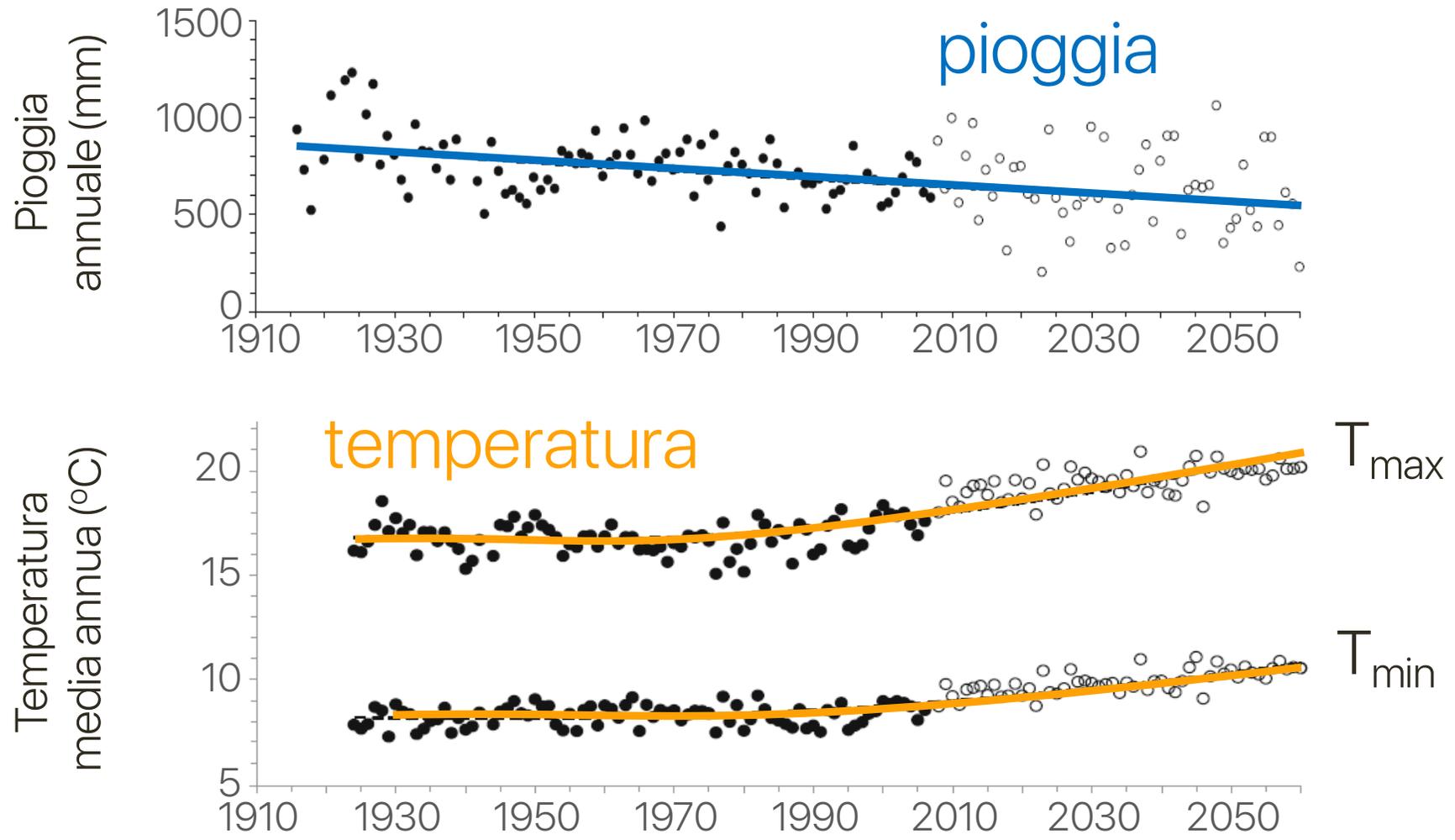
# APPROCCIO MODELLISTICO

- singola frana
- intero paesaggio



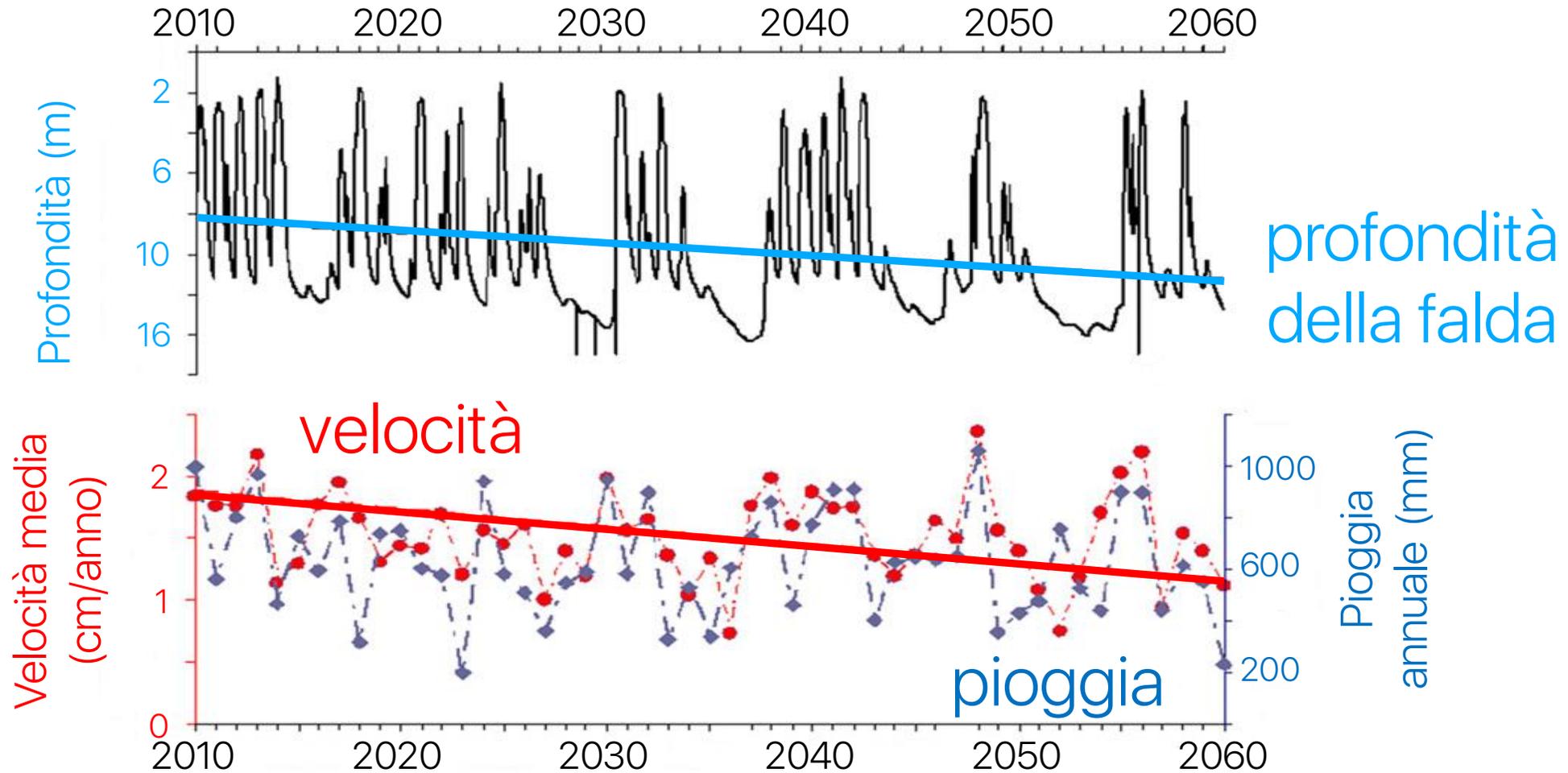
Gariano e Guzzetti 2016

# SINGOLA FRANA



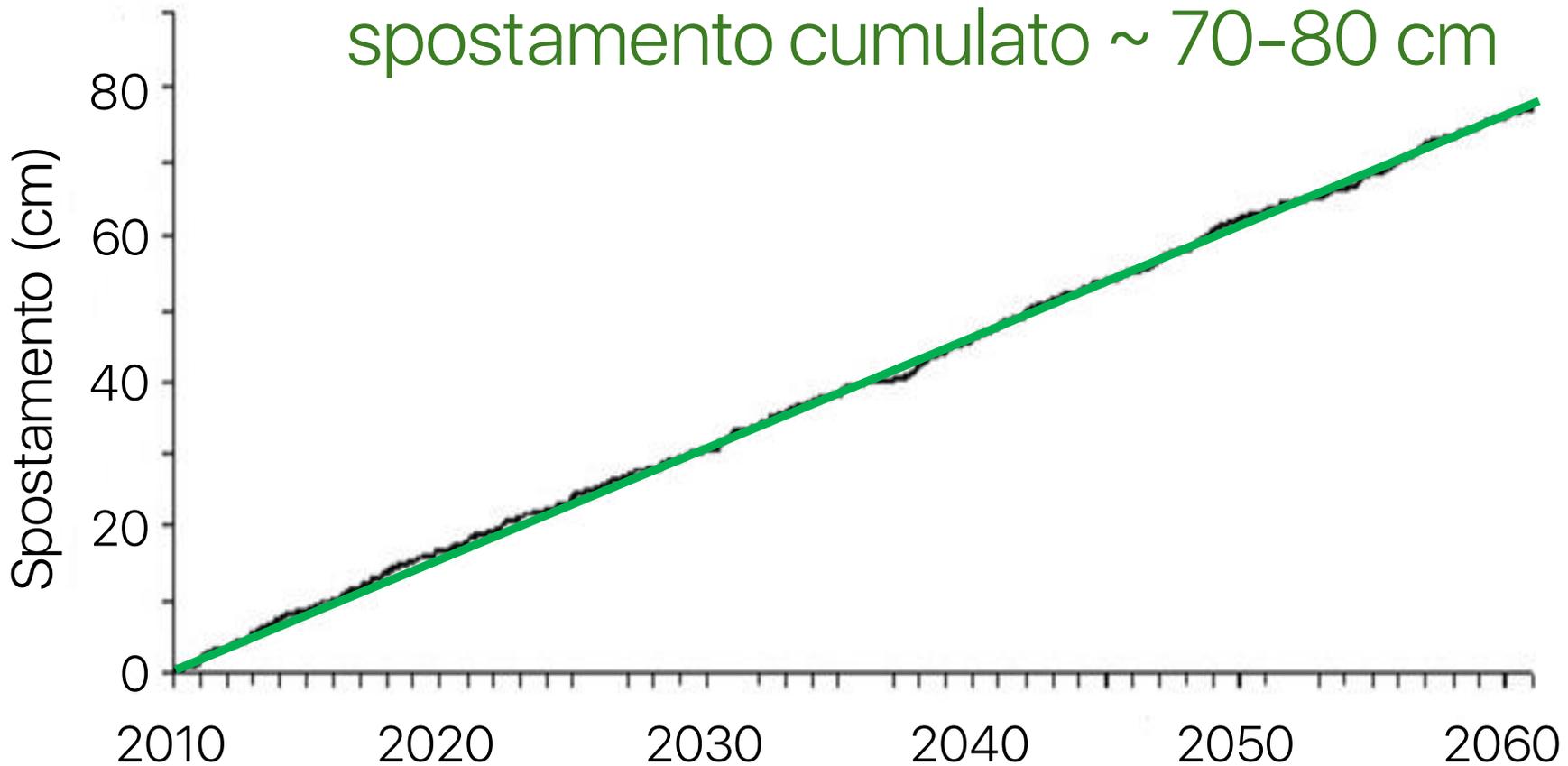
Comegna et al 2013

# SINGOLA FRANA



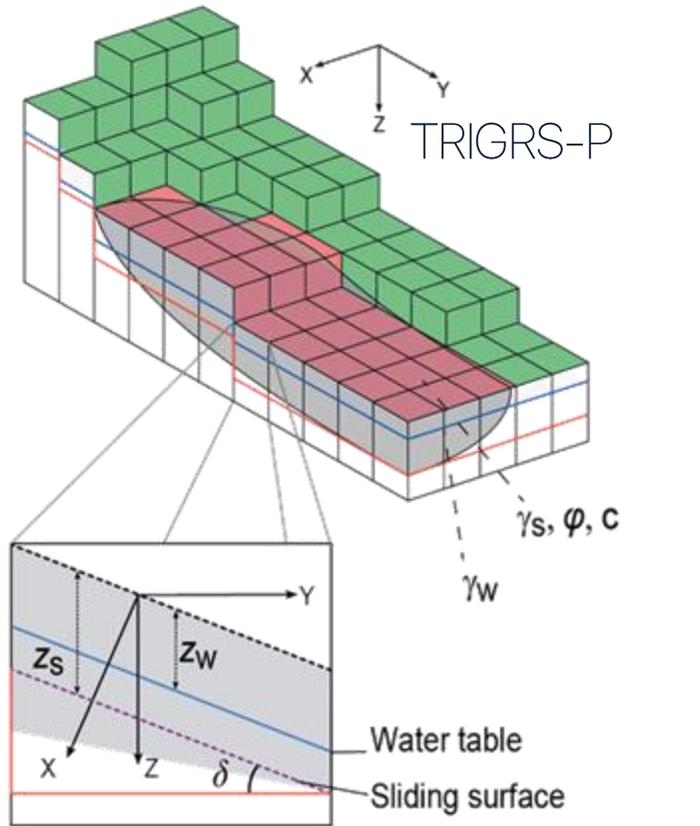
Comegna et al 2013

# SINGOLA FRANA



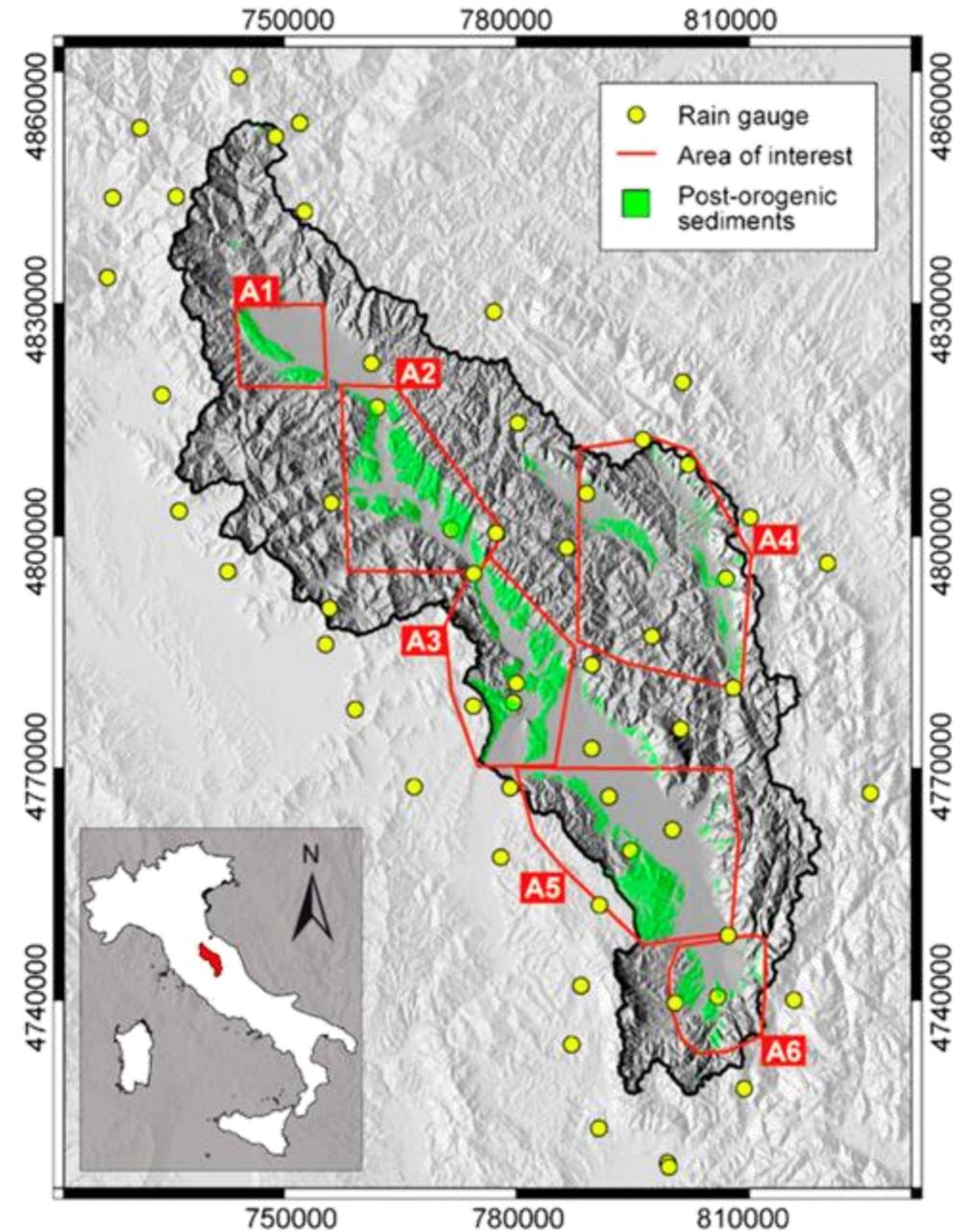
Comegna et al 2013

# RISPOSTA DEL PAESAGGIO

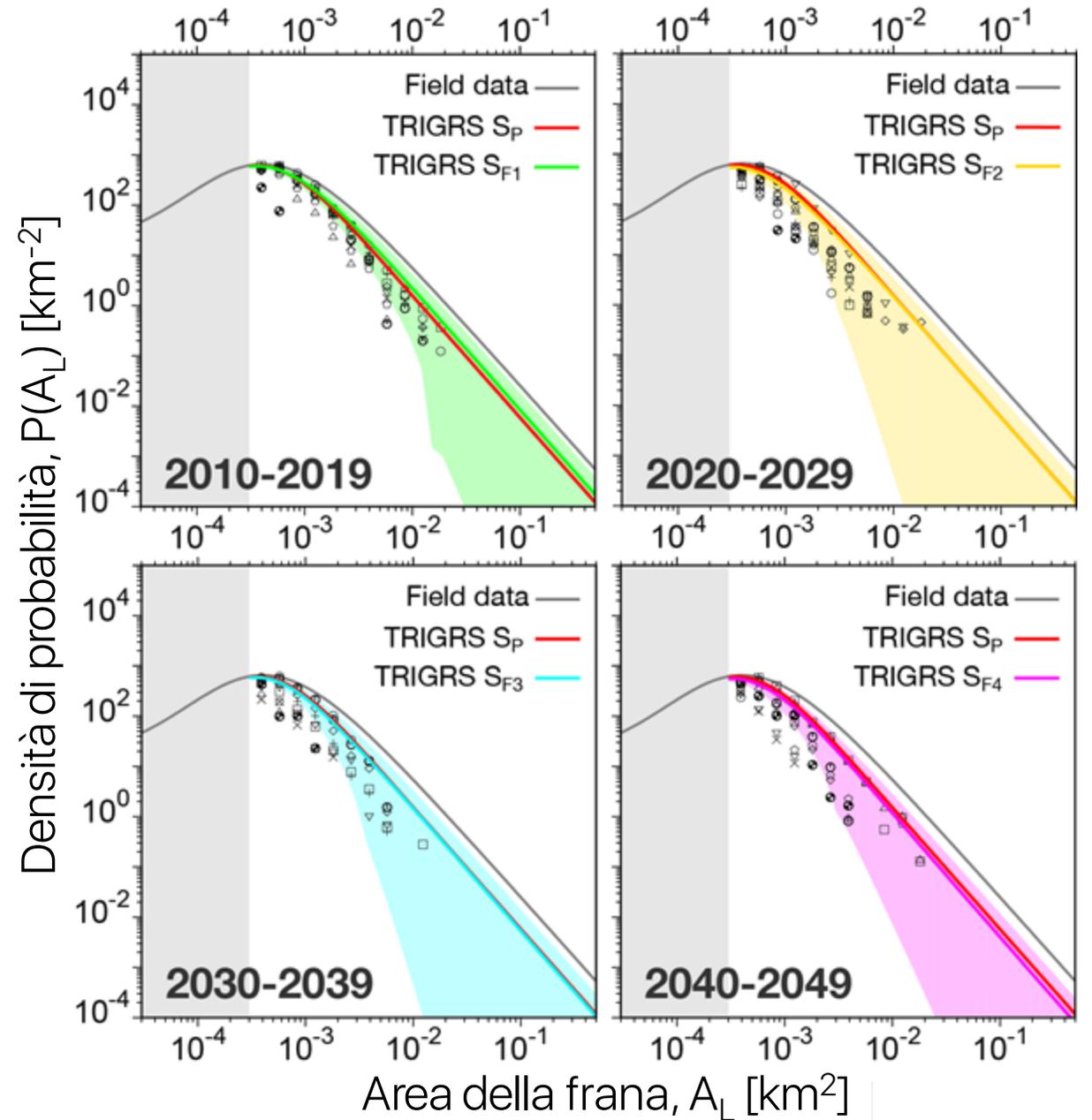


$$FS = \frac{R}{D} = \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\delta)} + \frac{c - \psi \cdot \gamma_w \cdot \tan(\varphi)}{\gamma_s \cdot z_s \cdot \sin(\delta) \cdot \cos(\delta)}$$

Alvioli et al 2018



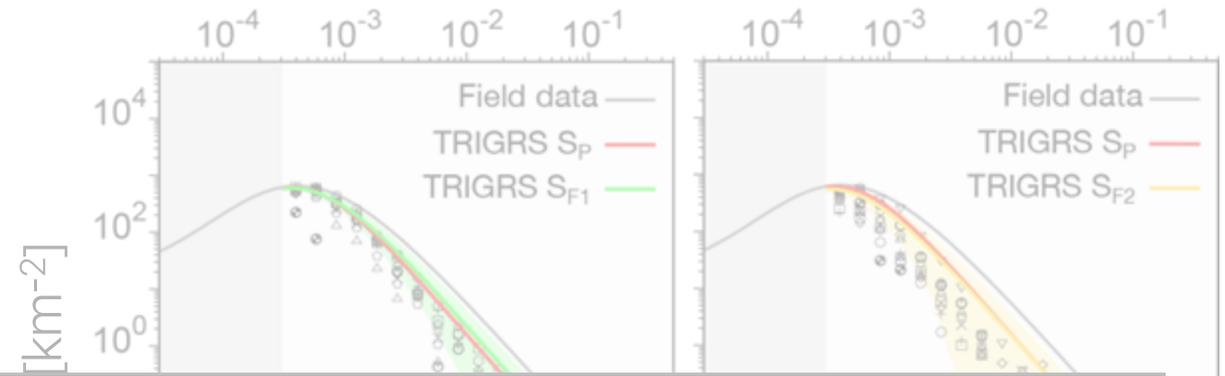
# AREA DELLE FRANE



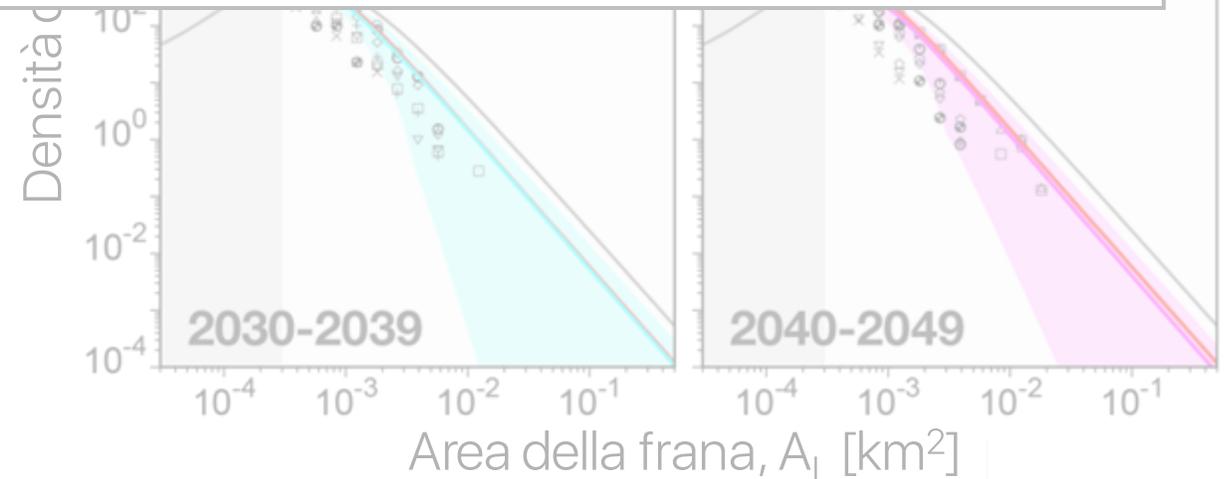
RCP4.5, forte mitigazione

Alvioli et al 2018

# AREA DELLE FRANE



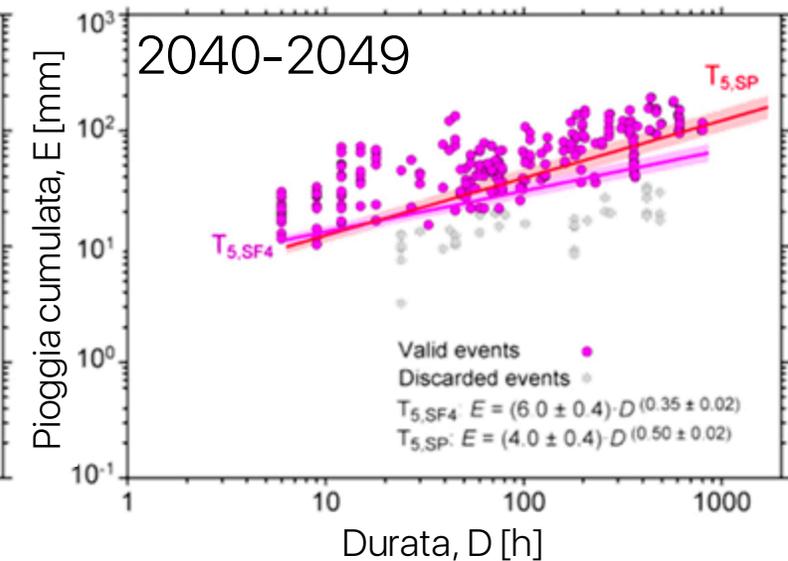
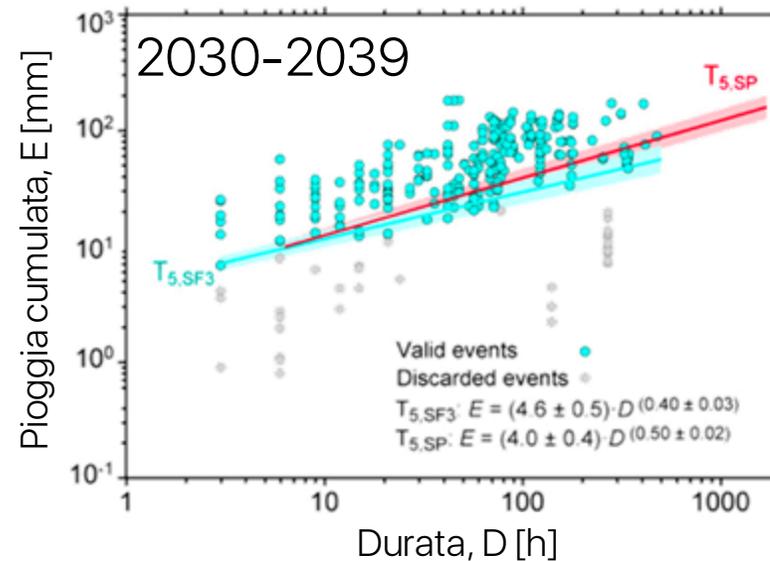
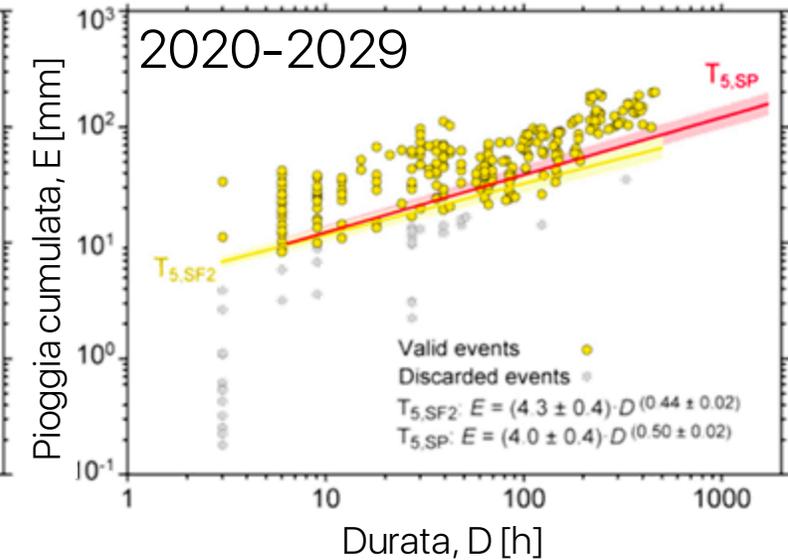
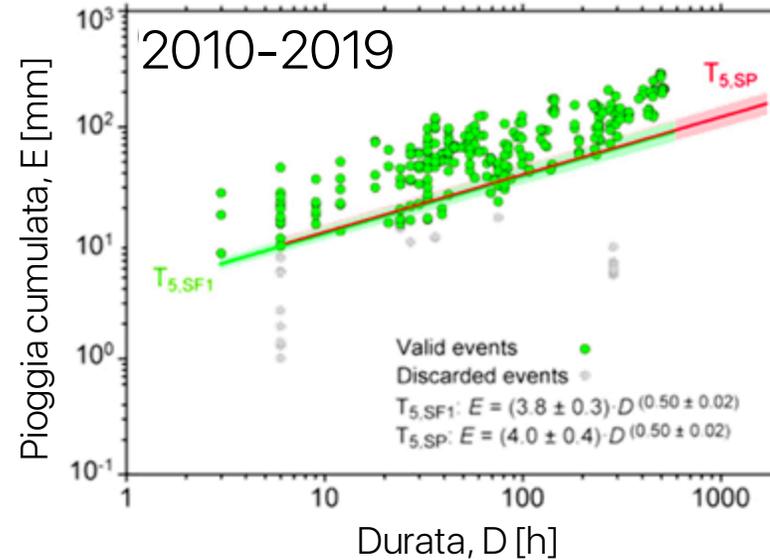
conclusione: la distribuzione delle dimensioni delle frane non cambierà



RCP4.5, forte mitigazione

Alvioli et al 2018

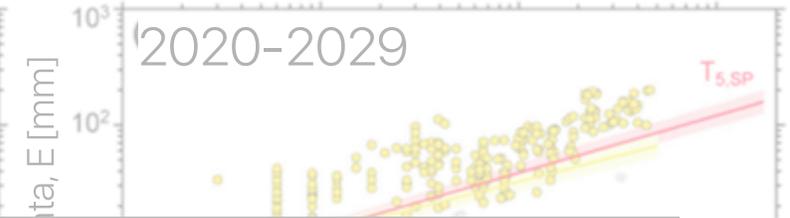
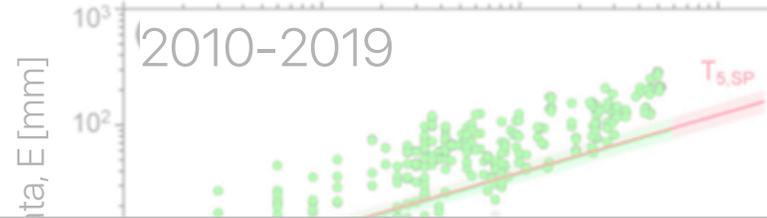
# SOGLIE DI PIOGGIA



RCP4.5, forte mitigazione

Alvioli et al 2018

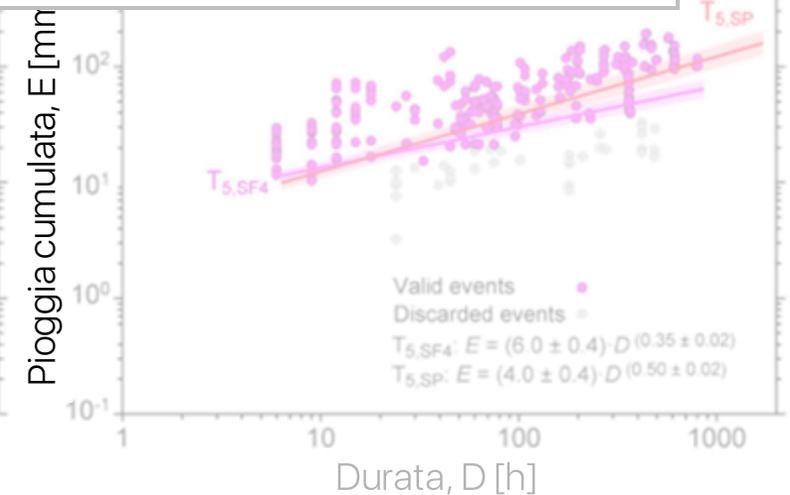
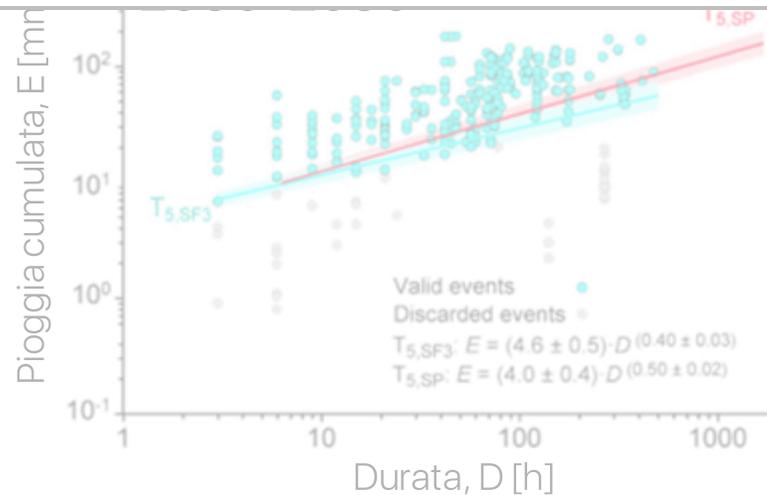
# SOGLIE DI PIOGGIA



conclusione: le soglie di pioggia per l'innescamento delle frane cambieranno



RCP4.5, forte mitigazione



Alvioli et al 2018

- Fatti
- Inondazioni
- Frane
- Considerazioni

# PAESAGGI FRAGILI



# STATISTICHE NAZIONALI

- $5.9 \times 10^7$  persone in  $3.0 \times 10^5$  km<sup>2</sup>
- $1.4 \times 10^7$  edifici &  $3.1 \times 10^7$  case
- $1.8 \times 10^5$  km di strade & ferrovie
- $5.0 \times 10^6$  imprese
- $1.8 \times 10^7$  impiegati
- PIL (2022) €  $1.9 \times 10^{12}$



[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Satellite\\_image\\_of\\_Italy\\_in\\_March\\_2003.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Satellite_image_of_Italy_in_March_2003.jpg) Jacques Desclotres, MODIS Rapid Response Team, NASA/GSFC, Public domain, via Wikimedia Commons

# POPOLAZIONE A RISCHIO

- $2.2 \times 10^7$  a rischio **sismico**
- $7.0 \times 10^6$  a rischio d'**inondazione**
- $2.0 \times 10^6$  a rischio di **frana**
- $2.5 \times 10^6$  a rischio **vulcanico**
- $1.5 \times 10^7$  a rischio di **crisi idrica**



INGV



ISPRA



Istat

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Satellite\\_image\\_of\\_Italy\\_in\\_March\\_2003.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Satellite_image_of_Italy_in_March_2003.jpg) Jacques Desjardins  
MODIS Rapid Response Team, NASA/GSFC, Public domain, via Wikimedia Commons



# UN POSTO SICURO?

- Non saremo in grado di rendere l'**ambiente** naturale e costruito un **luogo sicuro** ... in tempi brevi.
- Troppo **difficile, costoso, incerto**, socialmente **inaccettabile**.

# COSA FARE?

- Investire in **sistemi di allertamento**, a tutte le scale temporali e geografiche.
- **Migliorare le previsioni.**



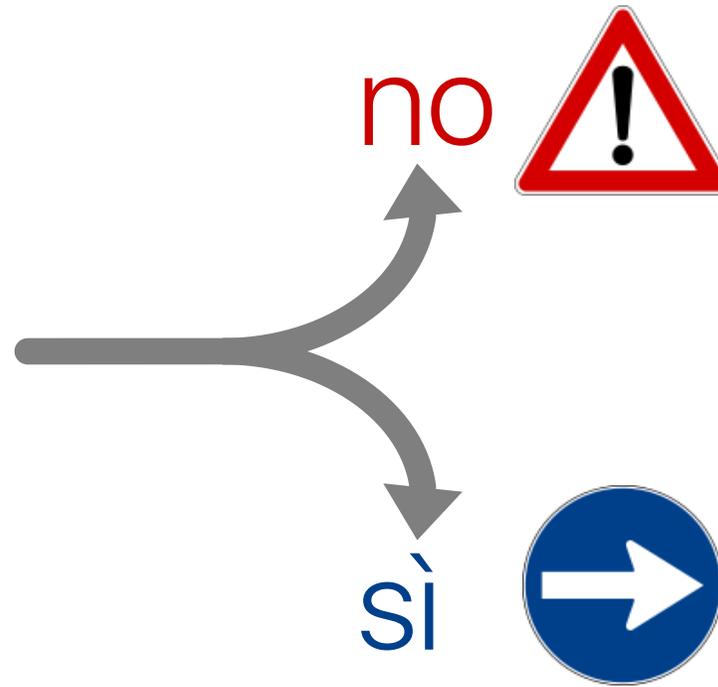
# PREVISIONI

- Si vorrebbero **previsioni certe**.
- Tutti i sistemi previsionali sono soggetti a **incertezze** ed **errori**.



# INCERTEZZE

- Gestire le **incertezze** e le **probabilità** è difficile perché le **decisioni** sono **dicotomiche**.



# INCERTEZZE E DECISIONI

“Le **incertezze abbondano**. Questo è chiaro. Ma è altrettanto chiaro che l'**ostacolo maggiore** è di natura **politica** piuttosto che nella scienza.”

Wagner 2021

# INFORMARE E COMUNICARE

- Informare sui rischi e le loro conseguenze.
- Comunicare le incertezze.

# I NUMERI NON CONVINCONO

“Nessuna informazione sulle **probabilità di danno** - comunque formulata - servirà a **creare un clima favorevole** nell'opinione pubblica se non si affrontano le questioni relative al **contesto sociale.**”



Hornig 1993

# SCIENZA E NORME

- La **scienza** è **generale**, le **norme** sono **locali**.
- Le **norme** e l'**etica** definiscono le **responsabilità** operative, legali, sociali.

# CONOSCENZA

- Un **medico** non studia **medicina** (solo) per capire **come funziona il corpo umano**, ma per **curare le persone**.
- Un **geo-scienziato** non studia i **fenomeni** (solo) per capire **come funziona il pianeta**, ma per **aiutare le comunità** ad affrontare i rischi.

# RICERCA

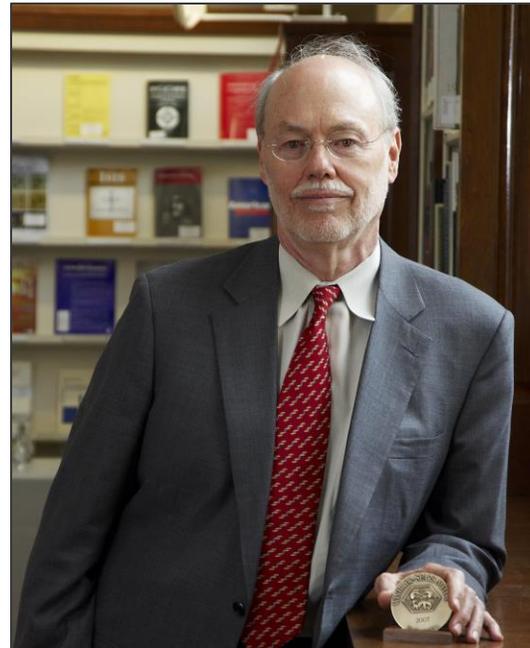
- Interdisciplinare
- Convergente
- Trasformativa



<https://beta.nsf.gov/funding/learn/research-types>

# RICERCA

- Interdisciplinare
- **Convergente**
- Trasformativa



Phil Sharp



Susan Hockfield



Marcia K. McNutt

Sharp & Hockfield 2017, McNutt 2017, 2022

# RICERCA CONVERGENTE

- Motivata da un problema specifico e rilevante, sfrutta una **intima integrazione tra le discipline** per **affrontare problemi complessi** nella scienza, nell'ingegneria e nella società.



<https://beta.nsf.gov/funding/learn/research-types/learn-about-convergence-research>

# RICERCA CONVERGENTE

- ... ha senso per i **rischi naturali** e la **riduzione del rischio** di catastrofi in un **clima che cambia**.



# RICERCA CONVERGENTE

- Un'idea semplice, il cui successo dipenderà da come sarà realizzata.



Conferenza del Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie  
per l'Ambiente | Sede centrale CNR | Roma | 12 dicembre 2023

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

Fausto Guzzetti  
Consiglio Nazionale delle Ricerche  
Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

# BIBLIOGRAFIA

- Alvioli M, Melillo M, Guzzetti F, Rossi M, Palazzi E, von Hardenberg J, Brunetti MT, Peruccacci S, 2018. Implications of climate change on landslide hazard in Central Italy. *Science of the Total Environment* 630, 1528-1543
- Bianchi C, Salvati P, 2023. Rapporto Periodico sul Rischio posto alla Popolazione italiana da Frane e Inondazioni, Anno 2022. Polaris, <https://polaris.irpi.cnr.it/>
- Blöschl G, Hall J, Parajka J, Perdigão RAP, Merz B, Arheimer B, Aronica GT, Bilibashi A, Bonacci O, Borga M, Čanjevac I, Castellarin A, Chirico GB, Claps P, Fiala K, Frolova N, Gorbachova L, Gül A, Hannaford J, Harrigan S, Kireeva M, Kiss A, Kjeldsen TR, Kohnová S, Koskela JJ, Ledvinka O, Macdonald N, Mavrova-Guirguinova M, Mediero L, Merz R, Molnar P, Montanari A, Murphy C, Osuch M, Ovcharuk V, Radevski I, Rogger M, Salinas JL, Sauquet E, Šraj M, Szolgay J, Viglione, A Volpi E, Wilson D, Zaimi K, Živković N, 2017. Changing climate shifts timing of European floods. *Science* 357, 588-590
- Brakenridge GR (2016) Global Active Archive of Large Flood Events. Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado, USA. <http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/>

# BIBLIOGRAFIA

- Comegna L, Picarelli L, Bucchignani E, Mercogliano P, 2013. Potential effects of incoming climate changes on the behaviour of slow active landslides in clay. *Landslides* 10, 373-391
- Froude MJ, Petley DN, 2018. Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18, 2161-2181
- Gaál L, Szolgay J, Kohnová S, Parajka J, Merz R, Viglione A, Blöschl G, 2012. Flood timescales: Understanding the interplay of climate and catchment processes through comparative hydrology. *Water Resources Research* 48, W04511
- Gariano SL, Guzzetti F, 2016. Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews* 162, 227-252
- Gariano SL, Guzzetti F, 2021. Mass-Movements and Climate Change. In: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier, B9780128182345000432
- Hirabayashi Y, Mahendran R, Koirala S, Konoshima L, Yamazaki D, Watanabe S, Kim H, Kanae S, 2013. Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change* 3, 816-821
- Hornig S, 1993. Reading risk: public response to print media accounts of technological risk. *Public Understanding of Science* 2, 95-109

# BIBLIOGRAFIA

IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp

Jiménez Cisneros BE, Oki T, Arnell NW, Benito G, Cogley JG, Döll P, Jiang T, Mwakalila SS, 2014. Freshwater Resources. In: Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC, 229-269

Kundzewicz ZW, Kanae S, Seneviratne SI, Handmer J, Nicholls N, Peduzzi P, Mechler R, Bouwer LM, Arnell N, Mach K, Muir-Wood R, Brakenridge GR, Kron W, Benito G, Honda Y, Takahashi K, Sherstyukov B, 2014. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. Hydrological Sciences Journal 59, 1-28

McNutt MK, 2017. Convergence in the Geosciences: Convergence in the Geosciences. GeoHealth 1, 2-3

McNutt MK, 2022. Civilization-Saving Science for the Twenty-First Century. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 50, 1-12

# BIBLIOGRAFIA

- Merz B, Aerts JCJH, Arnbjerg-Nielsen K, Baldi M, Becker A, Bichet A, Blöschl G, Bouwer LM, Brauer A, Cioffi F, Delgado JM, Gocht M, Guzzetti F, Harrigan S, Hirschboeck KK, Kilsby C, Kron W, Kwon HH, Lall U, Merz R, Nisse, K, Salvati P, Swierczynski T, Ulbrich U, Viglione A, Ward PJ, Weiler M, Wilhelm B, Nied M, 2014. Floods and climate: emerging perspectives for flood risk assessment and management. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14, 1921-1942
- Ombadi M, Risser MD, Rhoades AM, Varadharajan C, 2023. A warming-induced reduction in snow fraction amplifies rainfall extremes. *Nature* 619, 305-310
- Sharp P, Hockfield S, 2017. Convergence: The future of health. *Science* 355, 589.1-589
- Tanoue M, Hirabayashi Y, Ikeuchi H, 2016. Global-scale river flood vulnerability in the last 50 years. *Scientific Reports* 6, 6, 36021
- Wagner G, 2021. Are the uncertainties of scientific projections or the national political interests the greatest obstacle to an agreeable pricing of energy externalities? *Current Issues in Climate Research*, Accademia Nazionale dei Lincei & Accademia delle Scienze di Torino, 32-33