



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

# Relazione tra variazioni del carico idraulico e forti terremoti nell'area veneto-friulana

Pier Luigi Bragato

Il movimento di fluidi ha un ruolo importante nel processo sismico. I fluidi possono avere diversa origine e natura. Tra di essi vi è l'acqua di **origine meteorica**.

L'accumulo d'acqua sulla superficie terrestre (laghi artificiali) o al suo interno (falda, acquiferi carsici) può creare nuove fratture nella crosta (**terremoti indotti**) o attivare faglie preesistenti vicine allo stato critico (**terremoti innescati o "triggerati"**).

Fenomeno ben noto, soprattutto in relazione a **microsismità** conseguente a forti precipitazioni oppure a **forti terremoti indotti/innescati da eventi eccezionali** (p.e. la creazione di un grande bacino idrico, come ipotizzato per il terremoto cinese di Wuenchuan del 2008, M 7.9).

L'effetto è particolarmente studiato per il margine (carsico) sud Alpino:

- Devoti et al. (2015): il massiccio del Cansiglio ha ampie deformazioni verticali e **orizzontali** a seguito di forti precipitazioni (p.e. 2010);
- Pintori et al. (2021): hanno analizzato e modellato dal punto di vista idrologico/geofisico la relazione tra precipitazioni e microsismicità in Valbelluna;
- Almagro Vidal et al. (2021): le forti precipitazioni possono alterare significativamente i parametri elastici della crosta fino a oltre 3 km di profondità (Valbelluna/Cansiglio).

*lavori basati sui dati GPS di deformazione  
crostale disponibili per gli ultimi 10/15 anni e  
microsismicità*

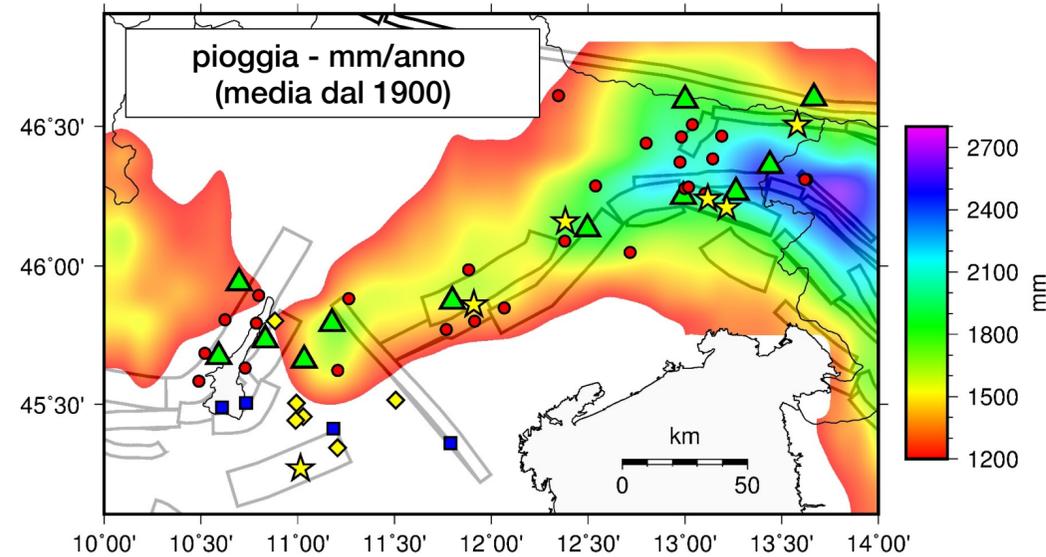
# Esiste una relazione **sistematica** tra carico idraulico e **forti terremoti**?

(Bragato, 2021)

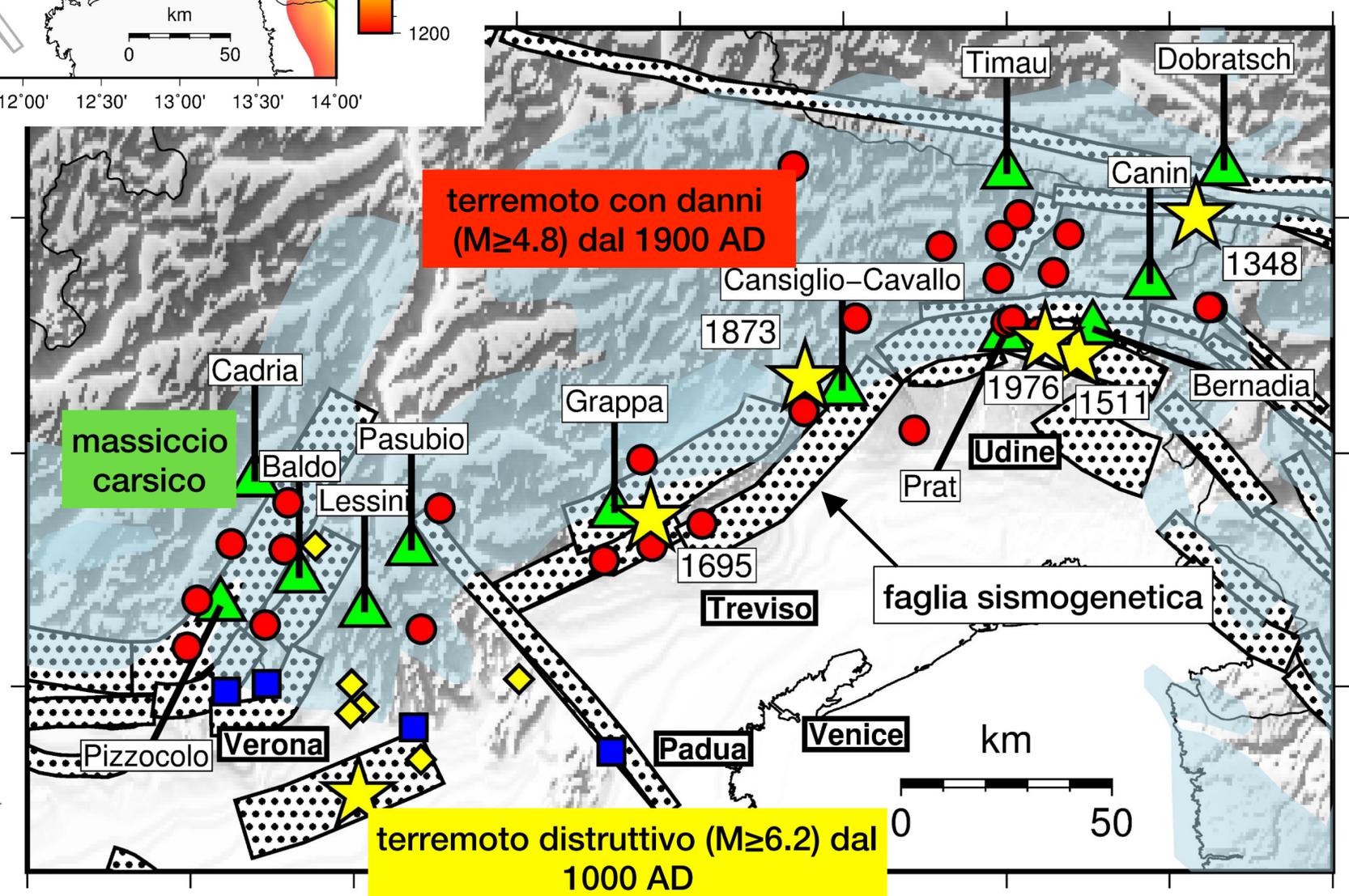
necessità di analizzare lunghi periodi (>100 anni) utilizzando

- cataloghi macrosismici;
- indicatori climatici;
- metodi statistici.

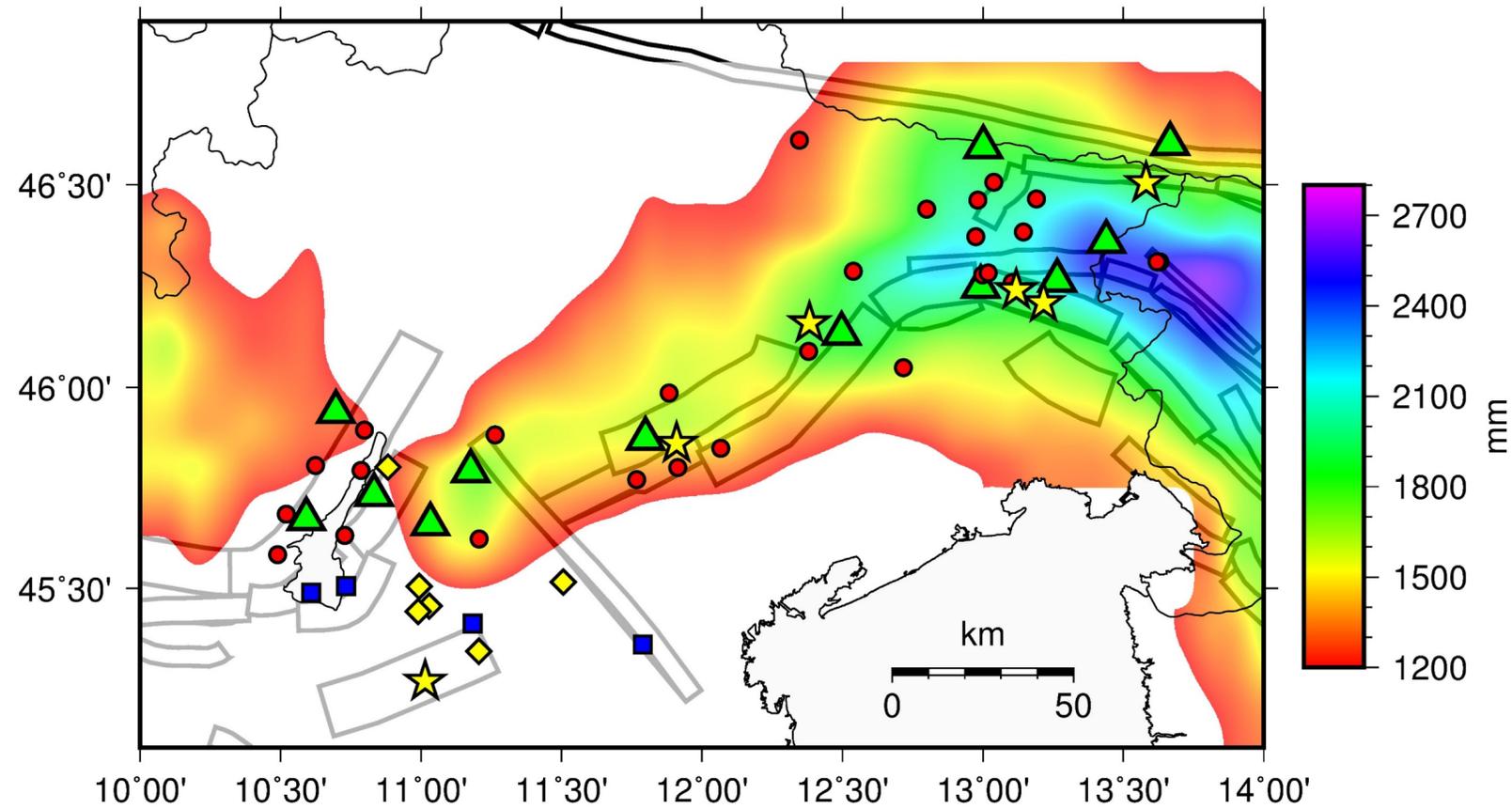
lungo il margine alpino sud-orientale ci sono condizioni ottimali per l'accumulo d'acqua nel sottosuolo e la sua interazione con I terremoti



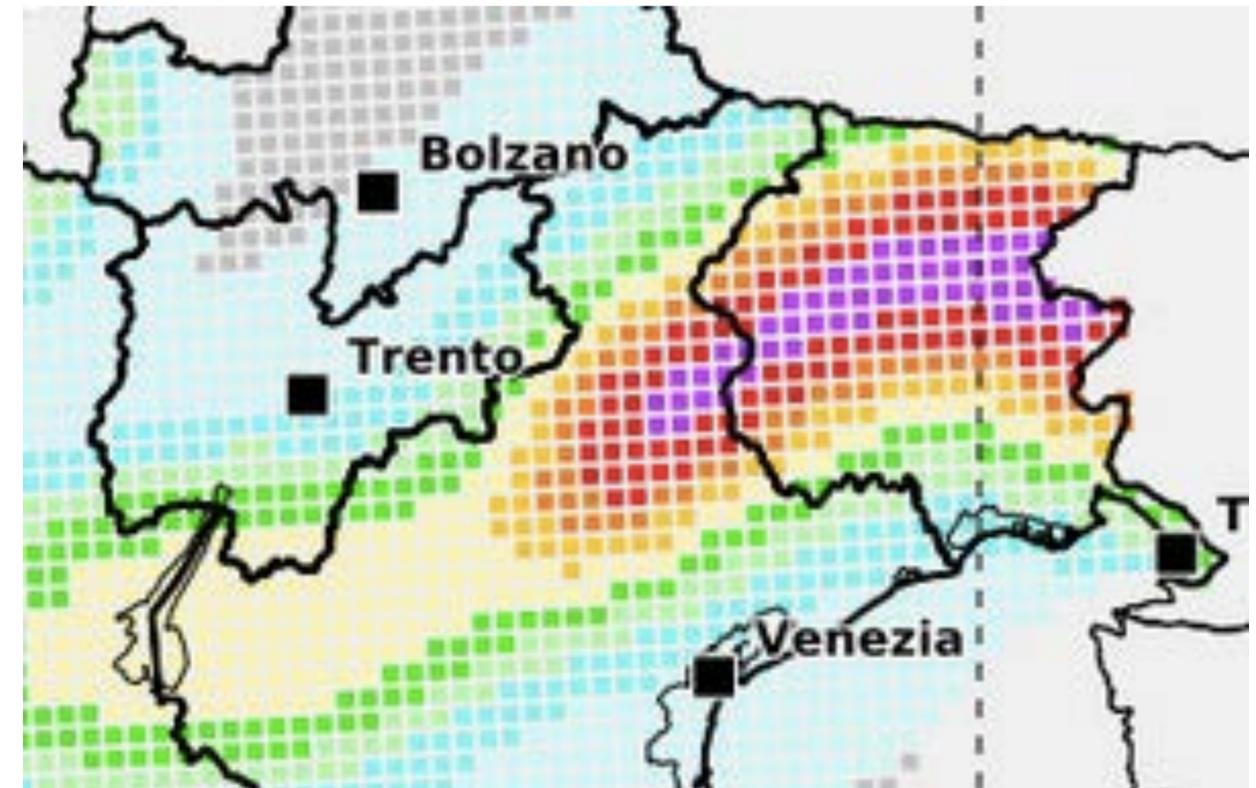
- *clima umido (il più piovoso d'Italia)*  
*produzione di acqua*
- *neve abbondante (in particolare a NE)*  
*più efficaci della pioggia nel trasferire acqua al terreno*
- *roccia carbonatica con sistemi carsici ben sviluppati*  
*favoriscono la raccolta di acqua*
- *grandi massici carsici in prossimità di faglie sismogenetiche*  
*effetto diretto sulle faglie*



curiosa somiglianza tra la **mappa delle precipitazioni** e **mappa della pericolosità sismica**



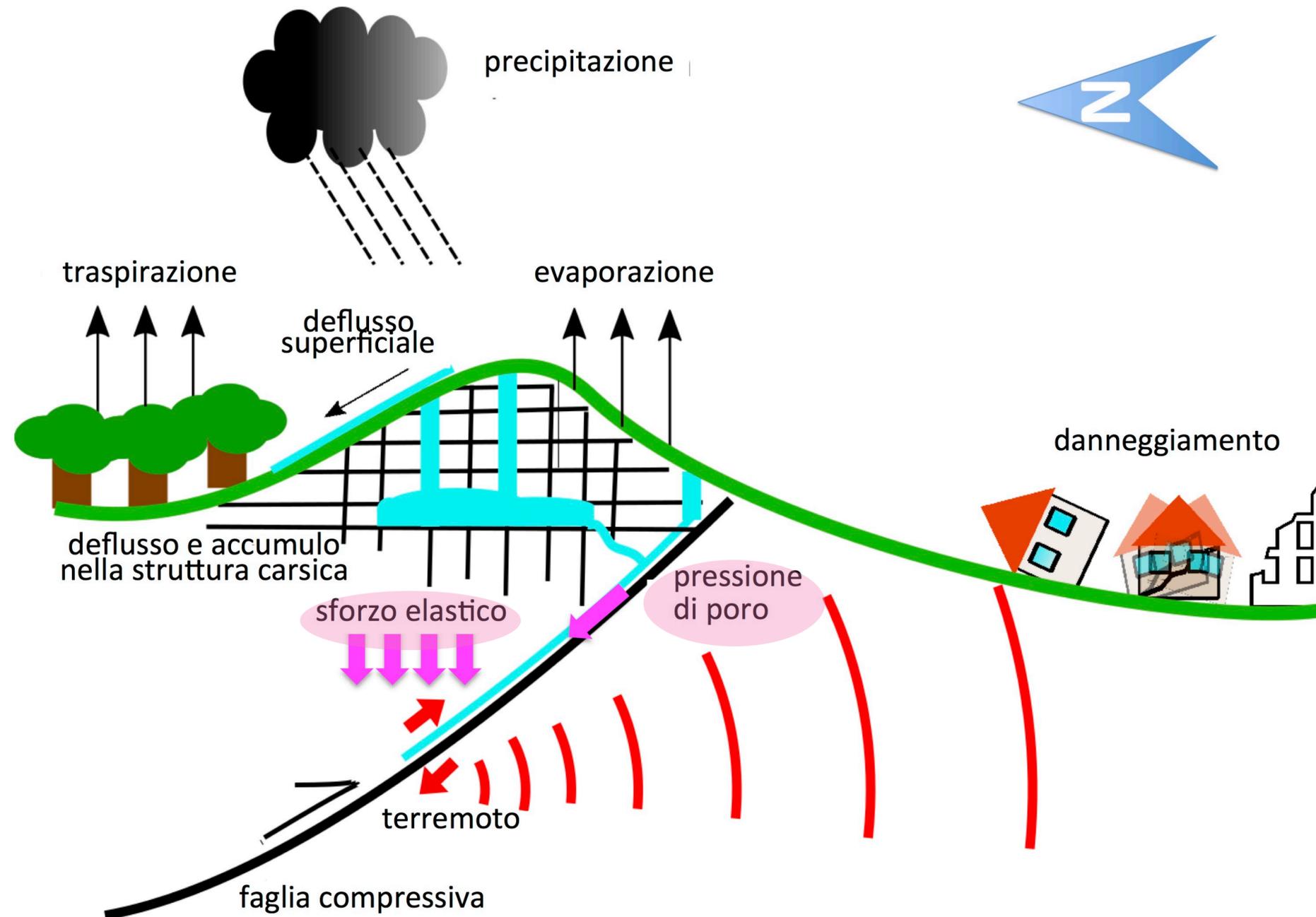
pioggia - mm/anno (media dal 1900)



mappa di pericolosità sismica

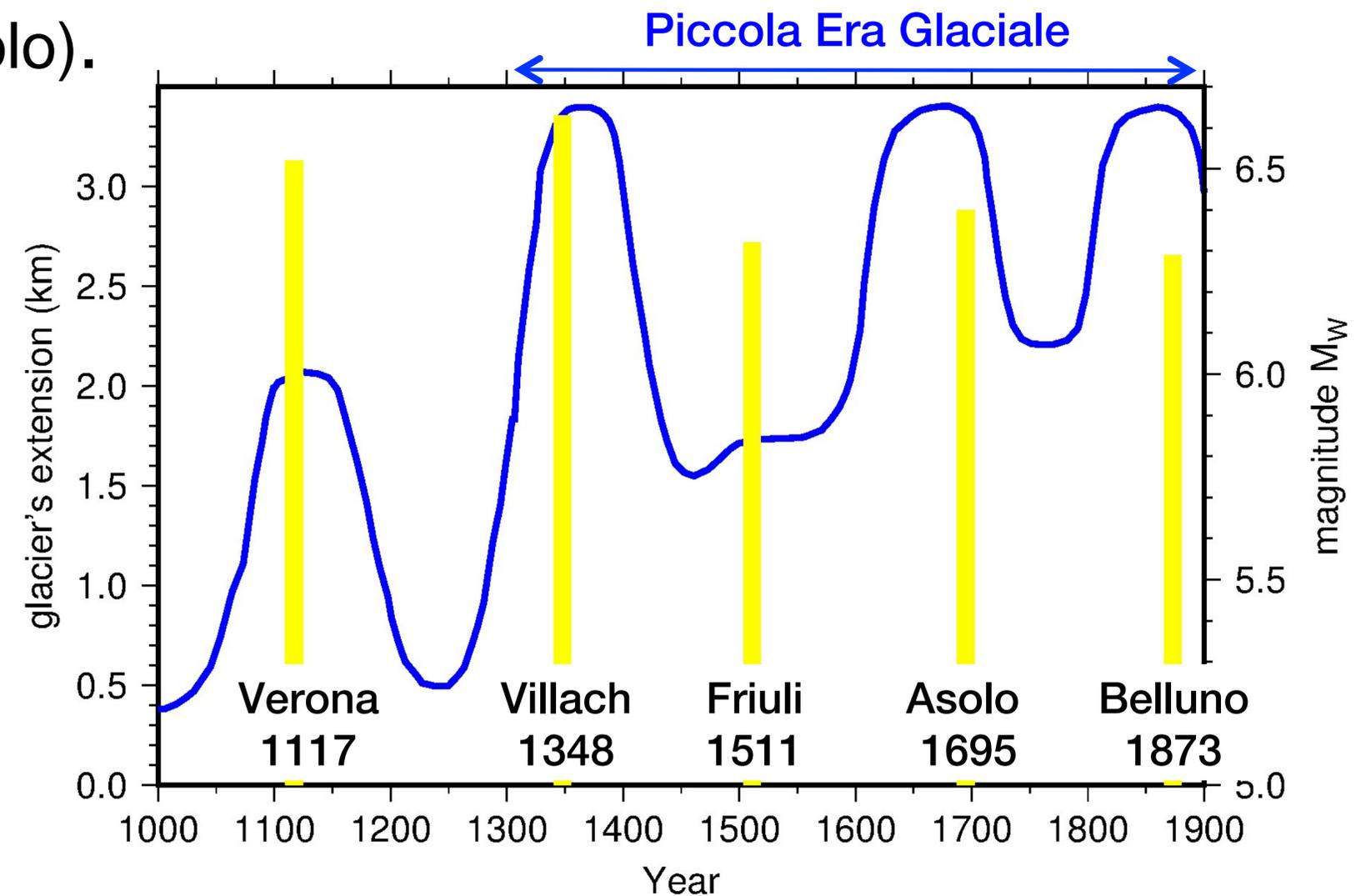
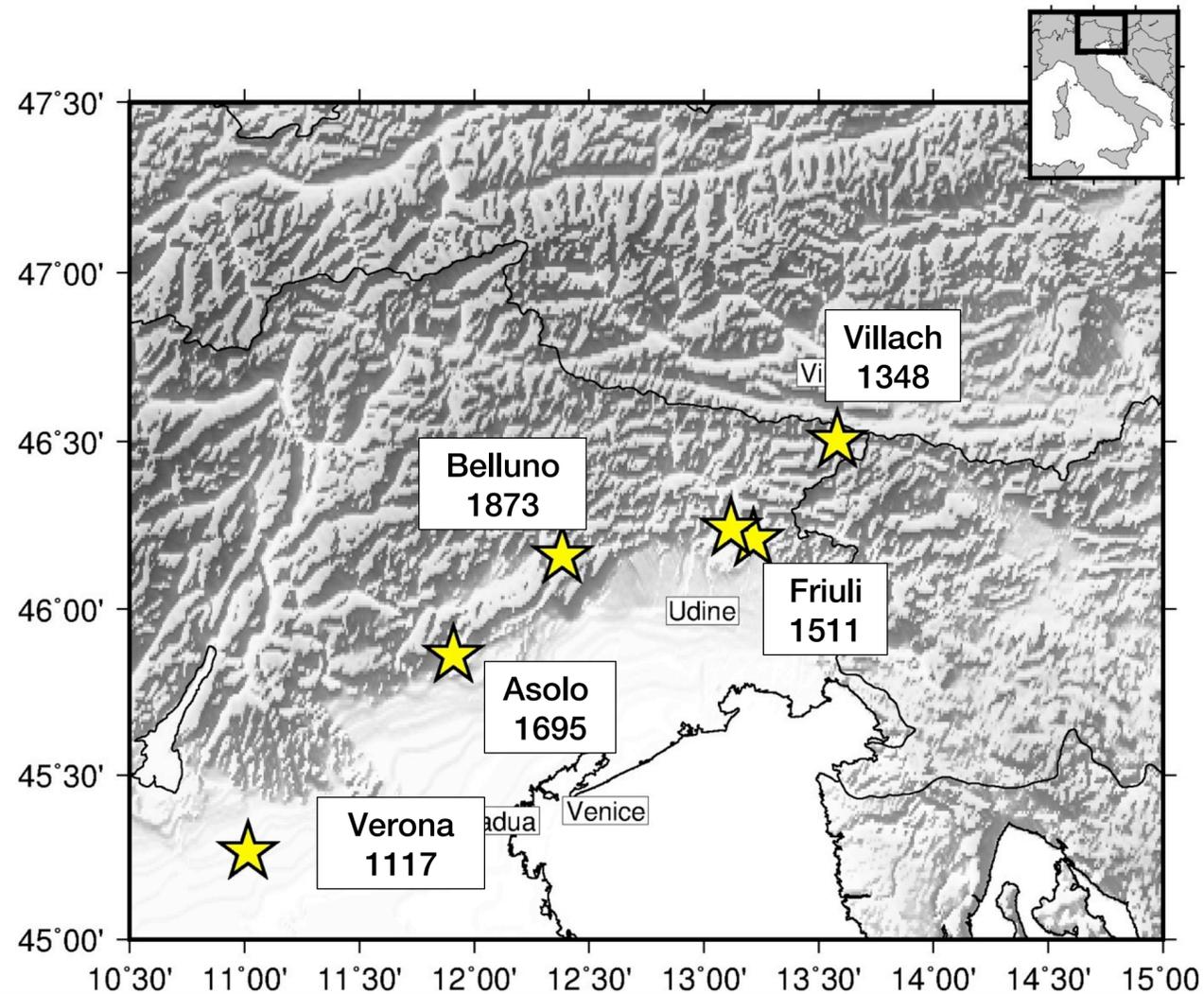
casuale o influenzata dal carico idraulico?

# modello di interazione tra precipitazioni e terremoti



## analisi per l'ultimo millennio:

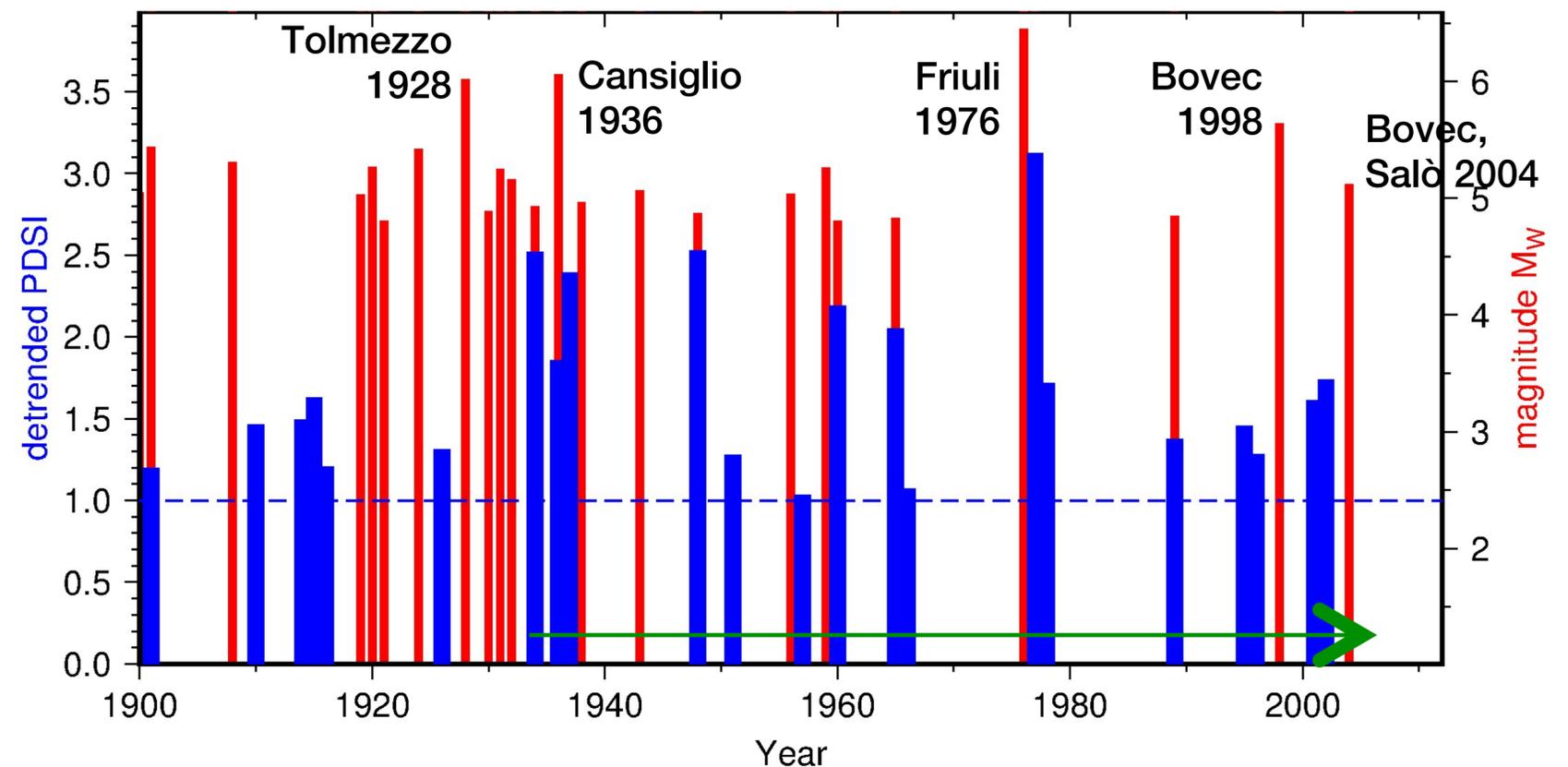
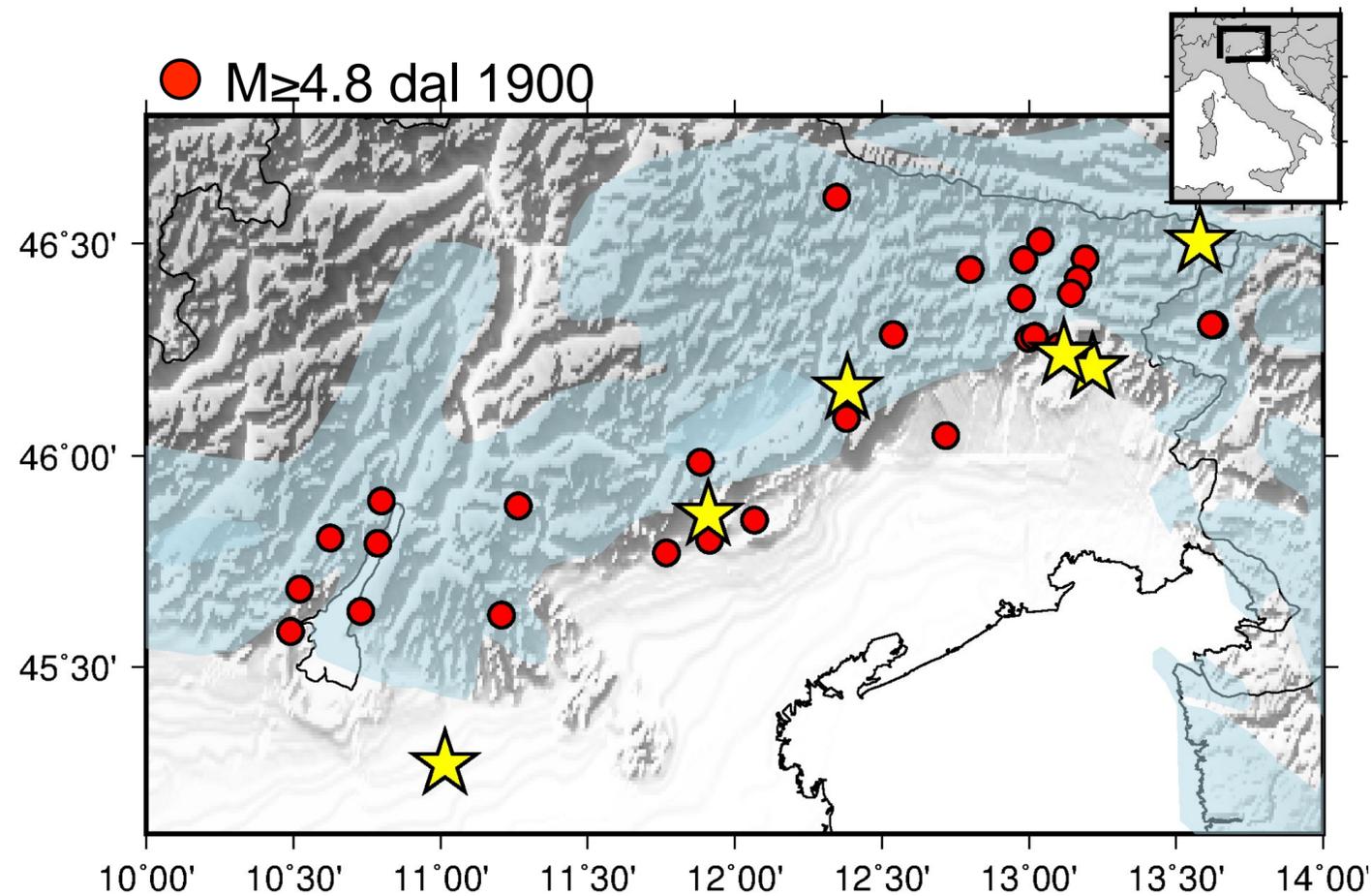
- **terremoti distruttivi** ( $M \geq 6.2$ ) da catalogo macrosismico;
- indice climatico: **estensione dei ghiacciai alpini** (indicatore di clima freddo/umido che, con maggiori precipitazioni e minore evaporazione, favorisce il carico idraulico del sottosuolo).



*corrispondenza biunivoca tra forti terremoti e massimi relativi glaciali*

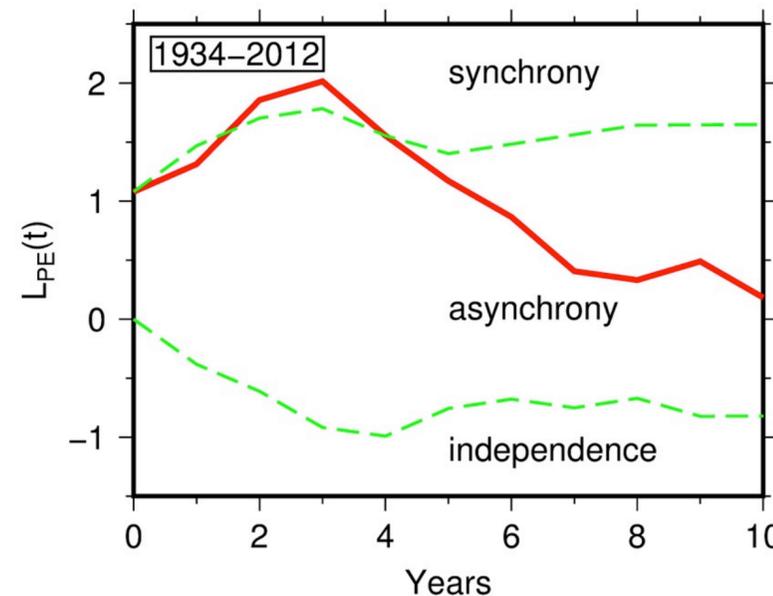
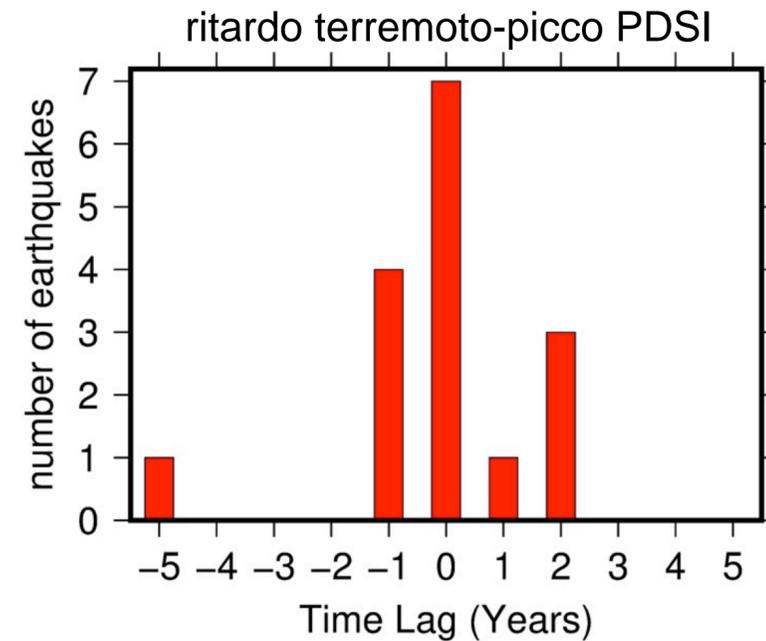
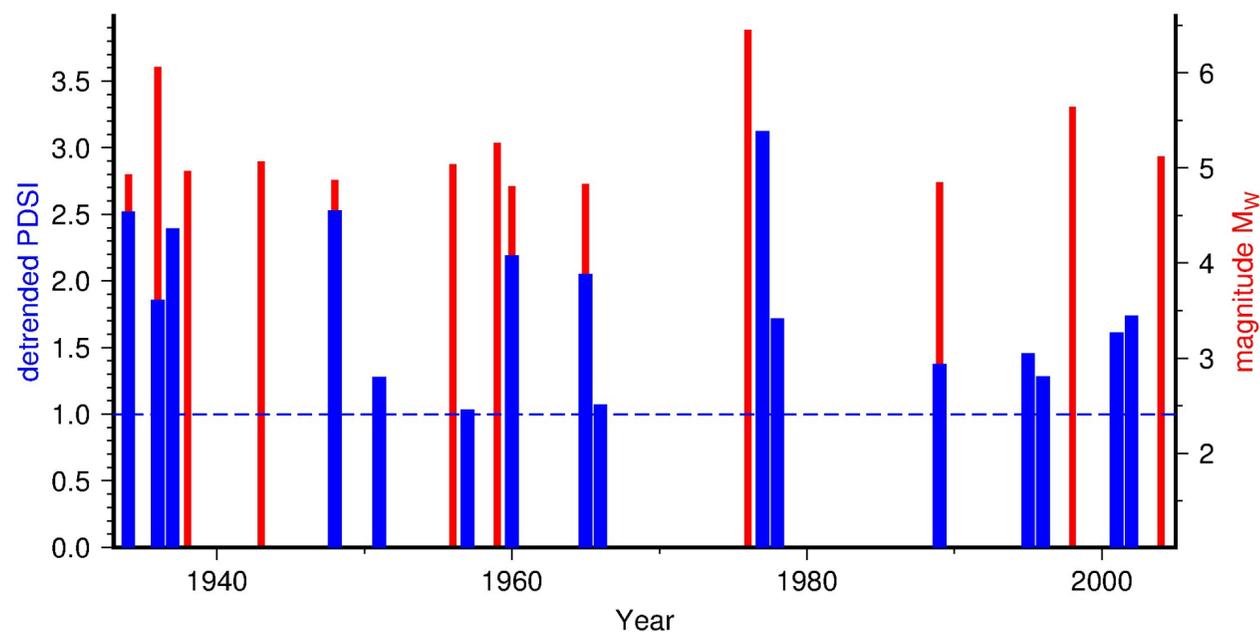
## analisi dal 1900:

- **terremoti con danneggiamento** ( $M \geq 4.8$ ) da catalogo macrosismico;
- indice climatico: **Palmer Drought Severity Index** (PDSI) indice di accumulo di acqua in suoli agricoli che tiene conto di precipitazione ed evaporazione (valori corretti per il trend).



# dettaglio 1934-2005

## estremi PDSI >1 vs terremoti $M \geq 4.8$



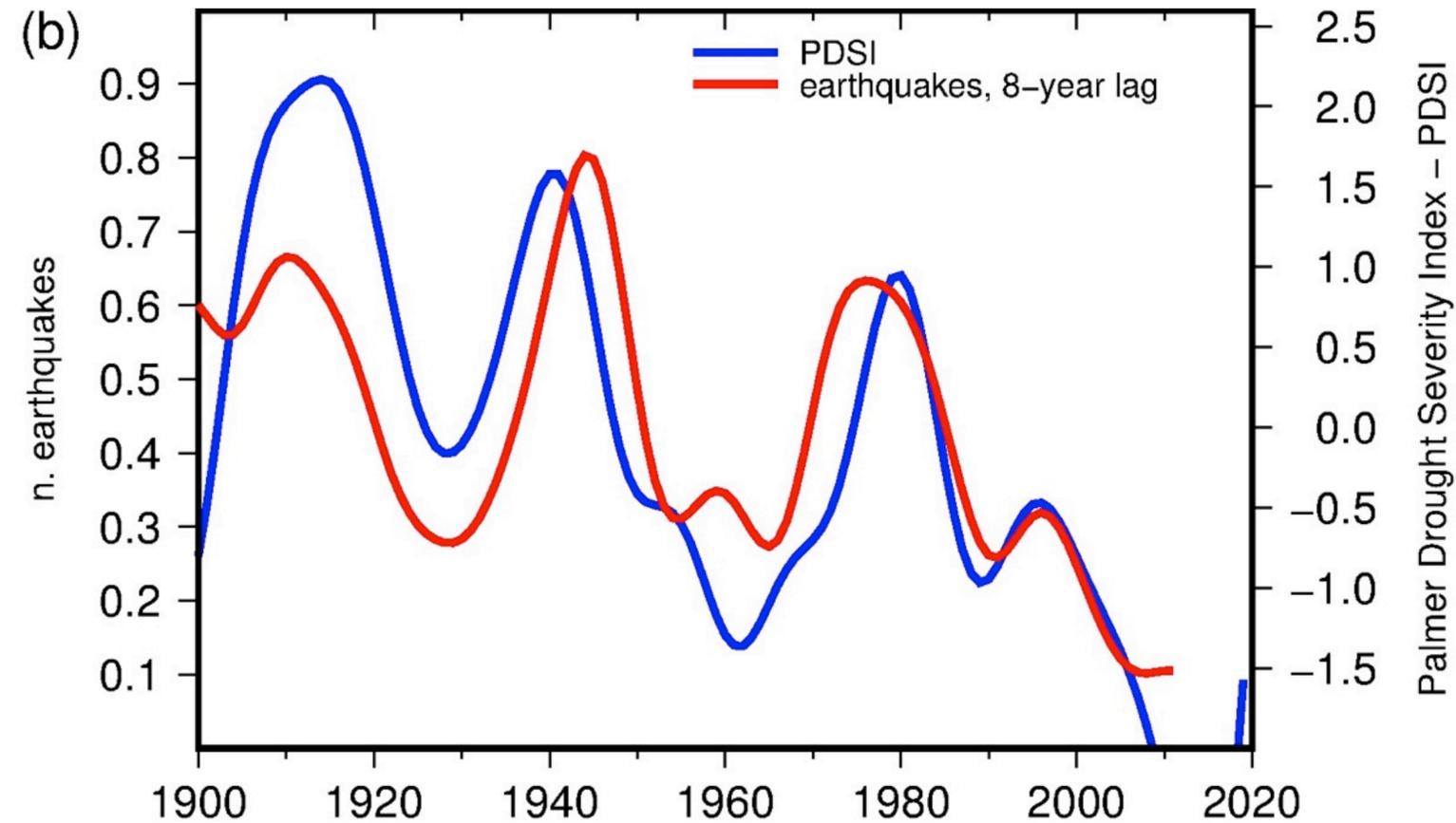
15 terremoti su 16 si sono verificati entro 3 anni dal picco PDSI (4 precedono ma in un periodo con trend crescente)

La sincronizzazione è **statisticamente significativa** (l.s. 5%) secondo il test di Ripley modificato per distribuzioni 1D

# Risultati

- **esiste stretta connessione temporale tra carico idraulico e forti terremoti** (sincronizzazione 1-3 anni). La natura della relazione è oggetto di studio;
- In un regime compressivo ciò è coerente con un meccanismo di triggering basato sulla **propagazione della pressione di poro**;
- **un effetto locale dei cambiamenti climatici potrebbe essere la riduzione del tasso di sismicità** (quello attuale è il maggiore gap sismico dal 1900, 18 anni dai terremoti  $M \geq 4.8$  di Salò e Bovec del 2004);
- il carico idraulico è **solo uno dei fattori** che influenza la temporizzazione dei terremoti (p.e. scarsa correlazione pre-1934);
- **l'indice PDSI non è utile a fini predittivi** (reagisce con ritardo alle accelerazioni idrauliche e non tiene conto delle precipitazioni nevose, più efficaci nel trasferire acqua nel sottosuolo).

# Non solo ambienti carsici ...



## California meridionale

relazione tra densità di forti terremoti ( $M \geq 5.7$ ) e PDSI (Bragato, 2021b)

**la sismicità è attualmente ai suoi minimi storici, in corrispondenza alle gravi siccità succedutesi a partire dal 2000**