



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA

33° Convegno Nazionale Bologna

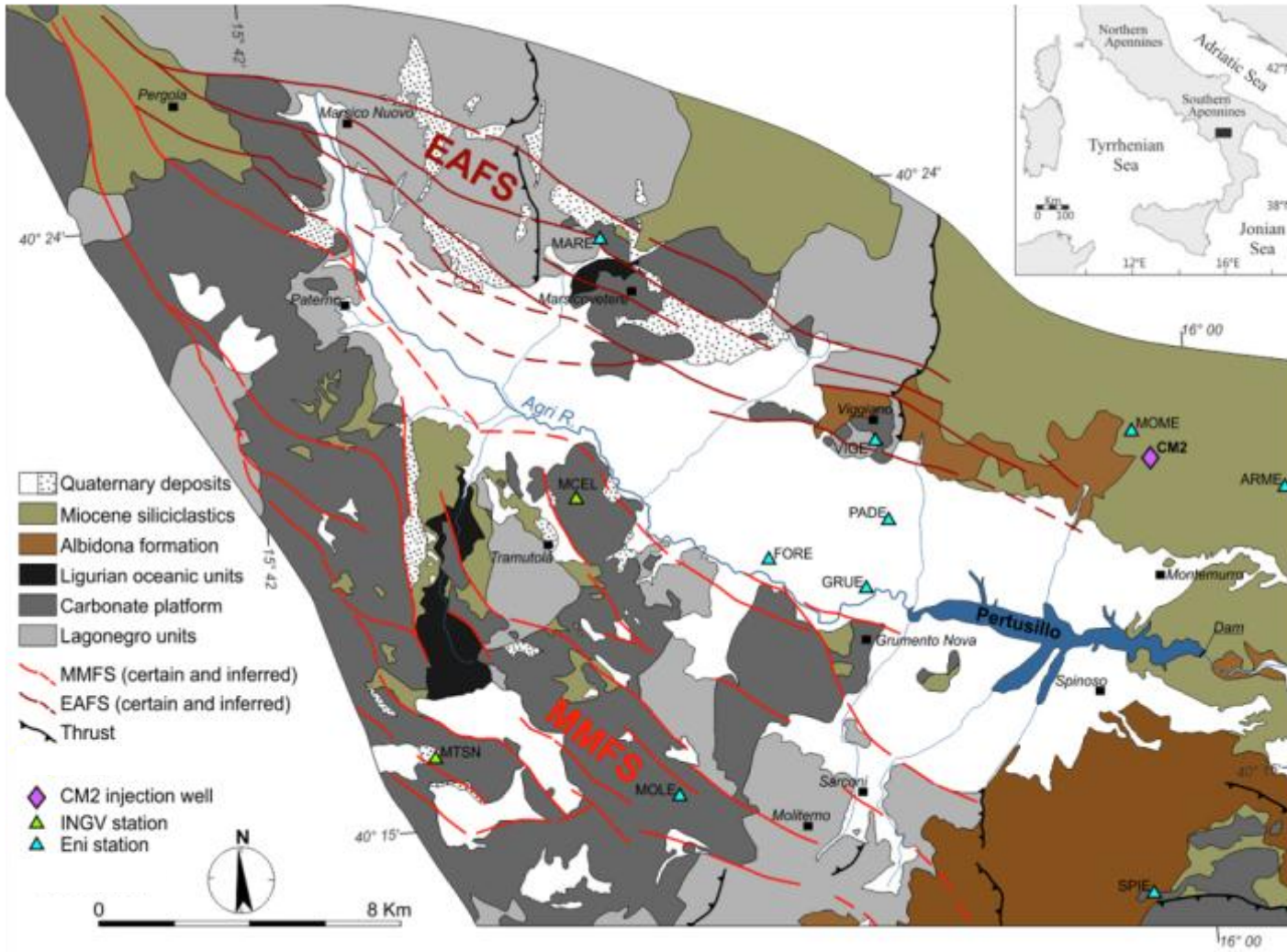
Presente e futuro delle ricerche sulla sismicità indotta in Italia

IL CASO DELLA VAL D'AGRI: RUOLO DEL LAGO PERTUSILLO E DEL POZZO COSTA MOLINA 2

Tony Alfredo Stabile

CNR – Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, Tito (Italy)

La Val d'Agri è un bacino intermontano situato lungo la zona assiale della catena appenninica meridionale. Secondo la classificazione sismica nazionale la pericolosità sismica dell'area è molto rilevante, con un'accelerazione massima attesa compresa tra 0.25 e 0.275 g per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.



Due sistemi di faglia:

- NW-trending, SW-dipping Eastern Agri Fault System (EAFS) (Benedetti et al., 1998; Cello et al., 2003)

(Benedetti et al., 1998; Cello et al., 2003)

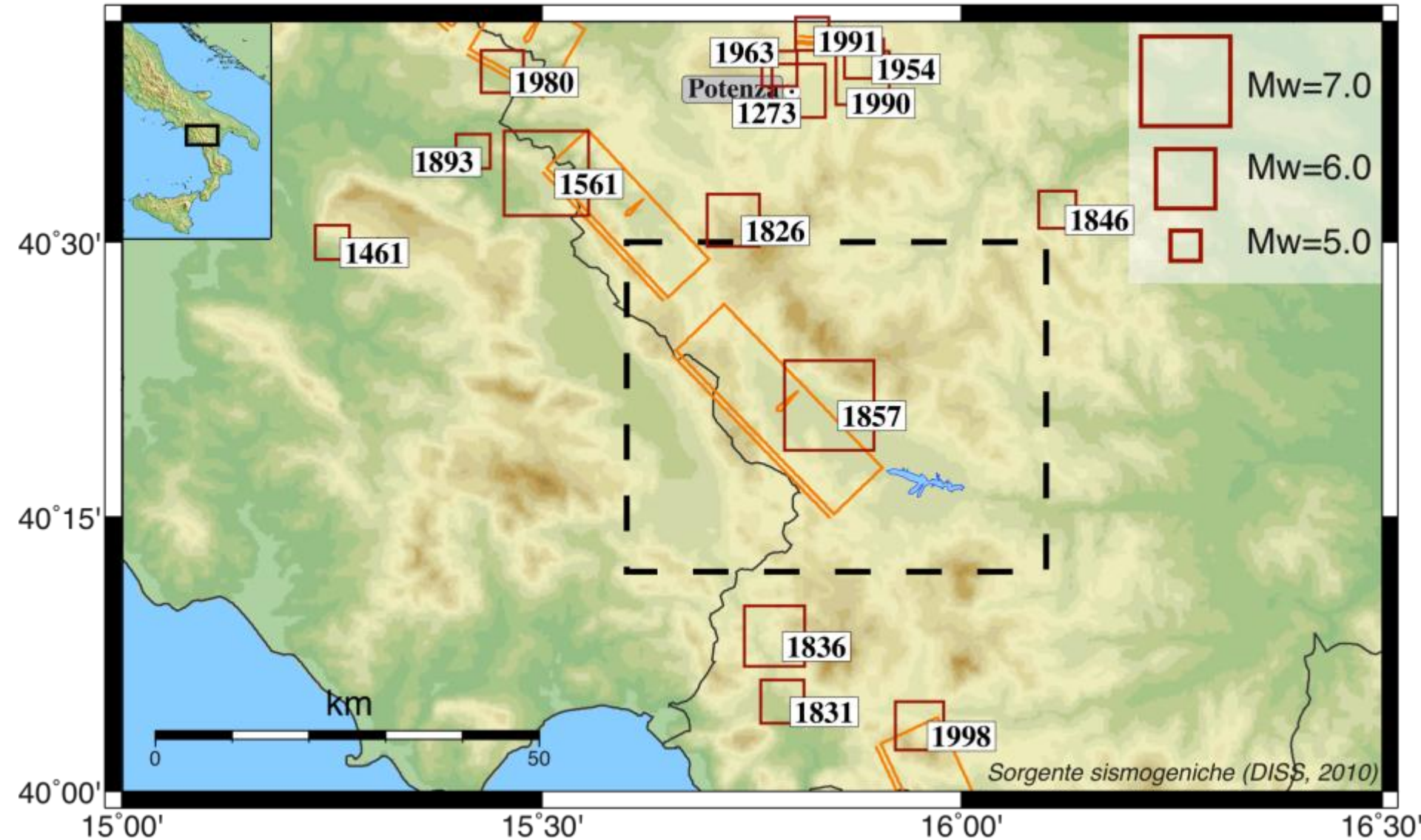
- NW-trending, NE-dipping Monti della Maddalena Fault System (MMFS) (Pantosti and Valensise, 1988; Maschio et al., 2005; Improta et al., 2010)

(Pantosti and Valensise, 1988; Maschio et al., 2005; Improta et al., 2010)

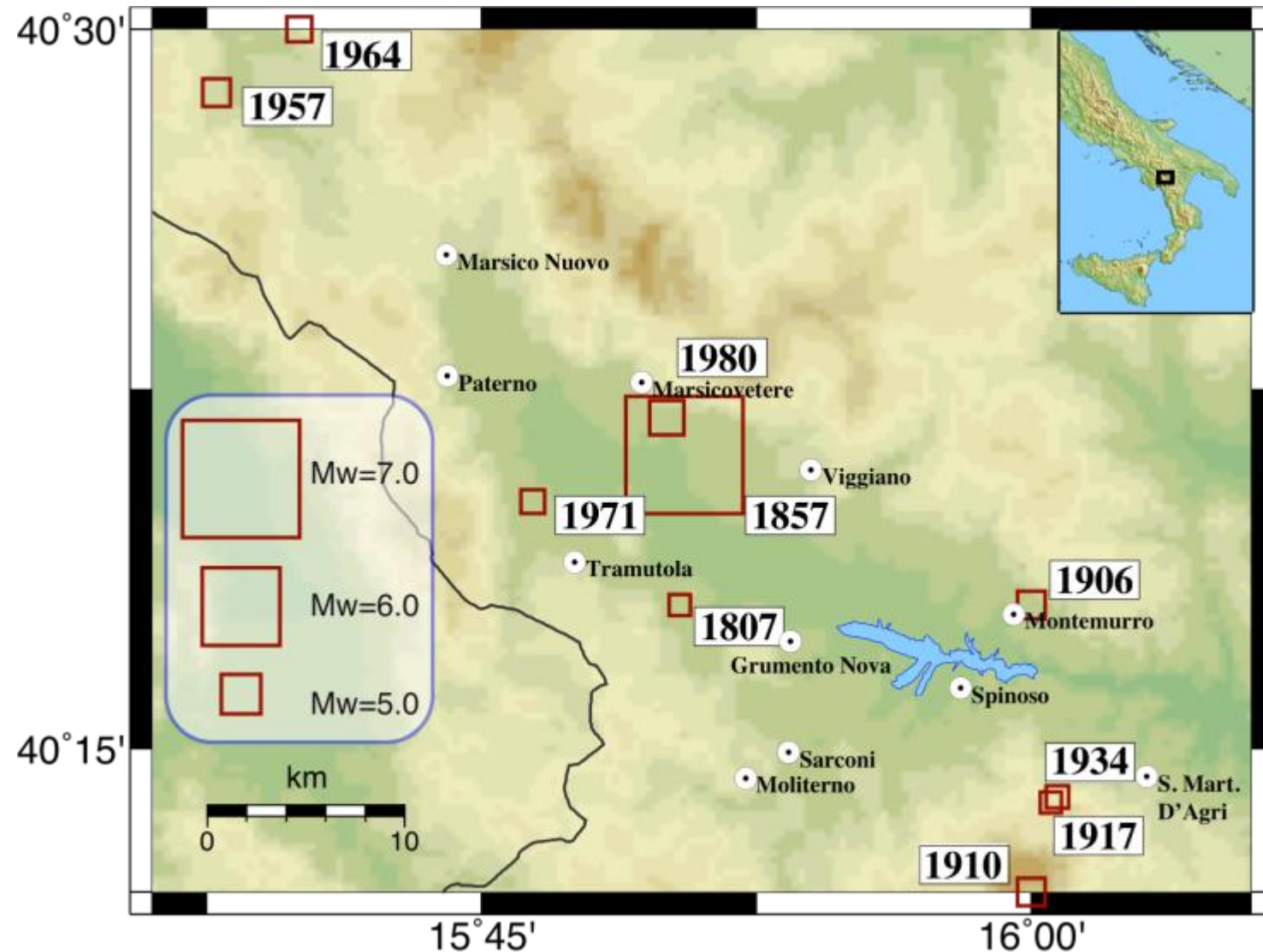
- CPTI** – **C**atalogo **P**arametrico dei **T**erremoti **I**taliani
- CSI** – **C**atalogo della **S**ismicità **I**taliana
- BSI** – **B**ollettino **S**ismico **I**taliano
- Eni** – Database rete microsismica dell'**Eni**
- ISIDe** – **I**talian **S**eismological **I**nstrumental and parametric **D**ata-base



Sismicità storica in Val d'Agri e nelle aree contigue



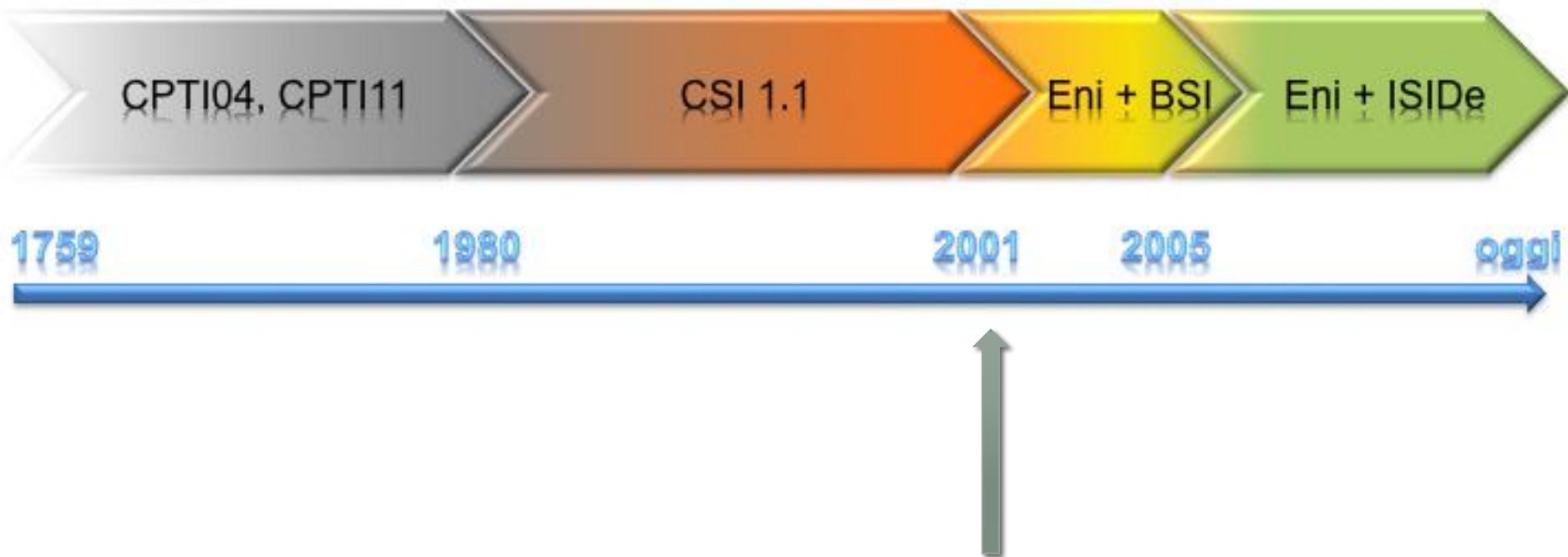
Zoom nell'Alta Val d'Agri: sismicità storica $M_w \geq 4.5$



- 1807 – $M=4.5$
- 1857 – $M=7.0$
- 1906 – $M=4.7$
- 1910 – $M=4.7$
- 1917 – $M=4.5$
- 1934 – $M=4.6$
- 1957 – $M=4.7$
- 1964 – $M=4.6$
- 1971 – $M=4.6$
- 1980 – $M=4.9$

Dati CPTI11

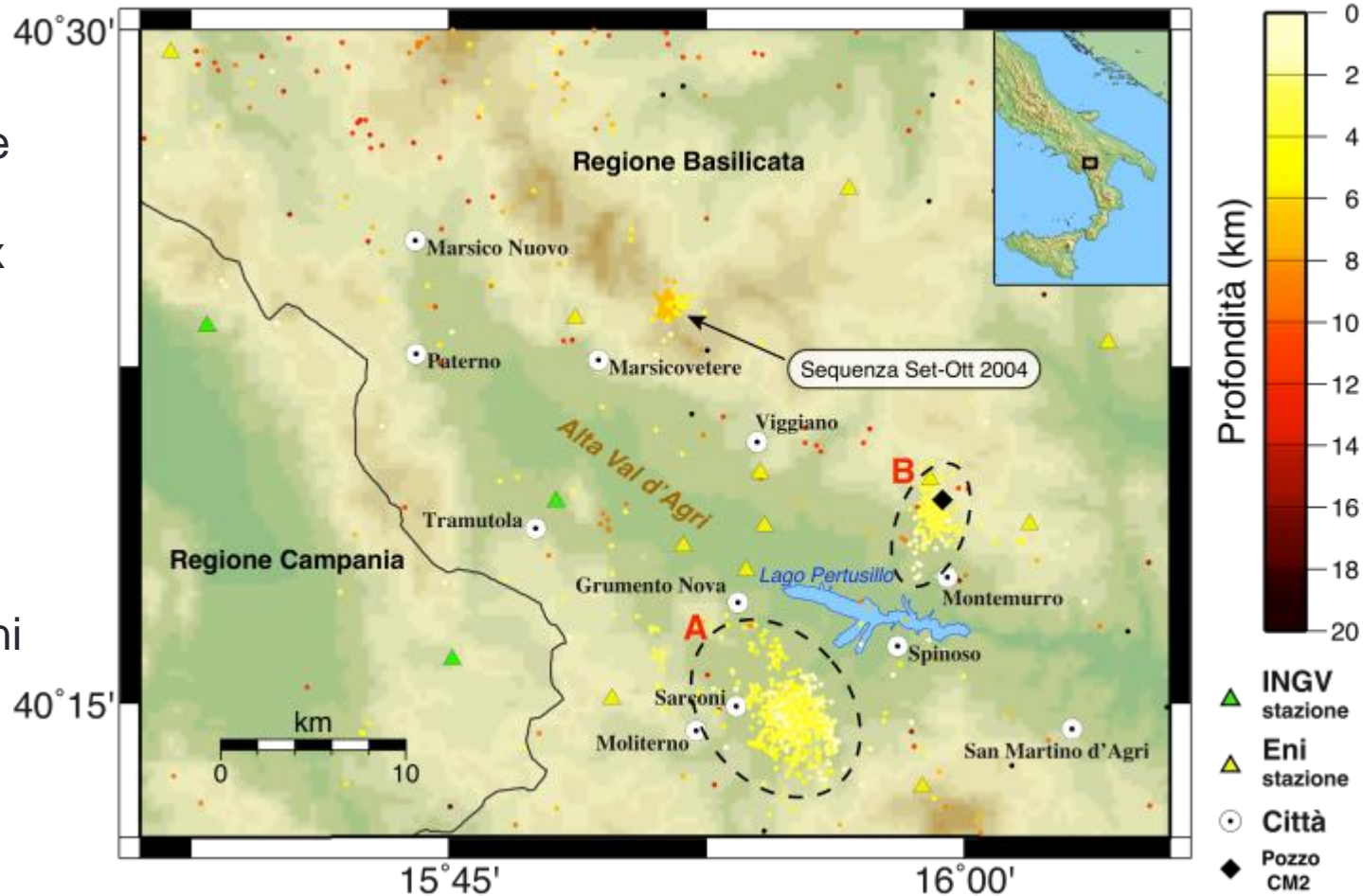
- CPTI** – **C**atalogo **P**arametrico dei **T**erremoti **I**taliani
- CSI** – **C**atalogo della **S**ismicità **I**taliana
- BSI** – **B**ollettino **S**ismico **I**taliano
- Eni** – Database rete microsismica dell'**Eni**
- ISIDe** – **I**talian **S**eismological **I**nstrumental and parametric **D**ata-base



Abbiamo rilocalizzato 1786 eventi registrati dalla rete microsismica Eni (15 stazioni equipaggiate con geofoni triassiali Lennartz LE-3D; dati triggerati)

Localizzazione assoluta con codice non lineare (NonLinLoc, Lomax et al. 2000)

Modello di velocità 1D dell'area (Valoroso et al. 2009) con correzioni statiche

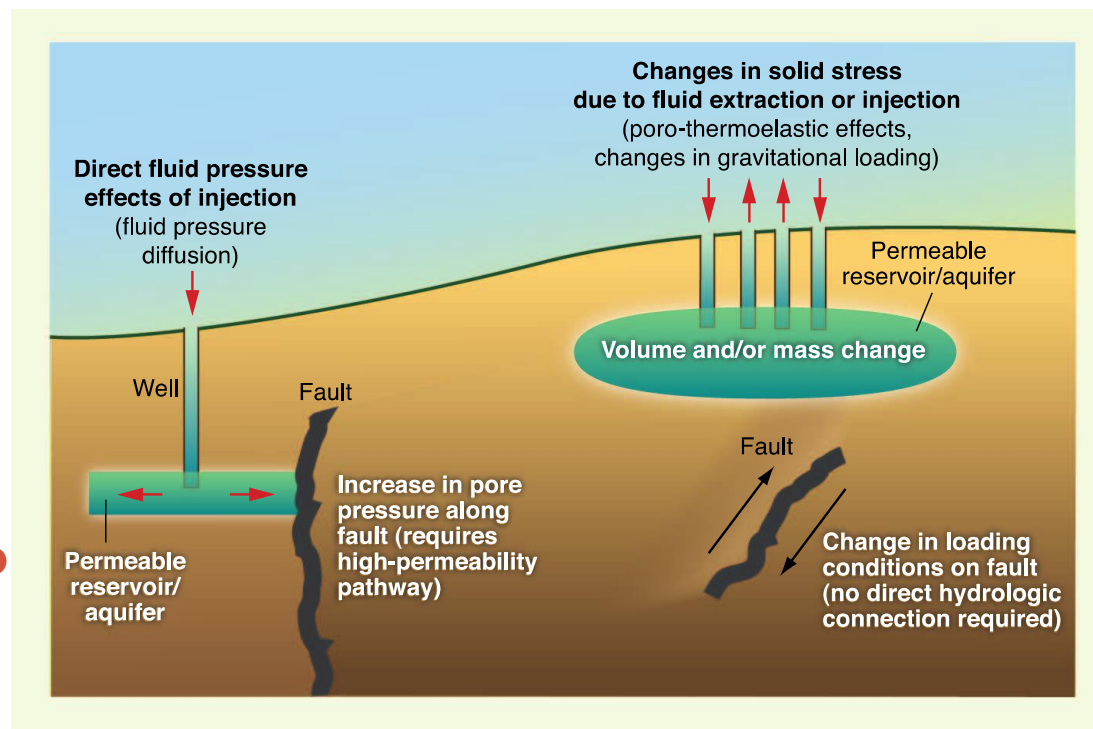


- Riempimento di invasi idrici
- Esplosioni controllate per attività minerarie o costruzione di grandi infrastrutture
- Test nucleari
- Iniezione/estrazione di fluidi
 - *Energia geotermica*
 - *Sfruttamento di giacimenti petroliferi*
 - *Re-iniezione di acque di strato*
 - *Stoccaggio di gas*
 - *Estrazione di CO₂*
 - ...

$$\tau_{crit} = \tau_0 + \mu(\sigma_n - P)$$

Variazione dello stress
(risposta immediata)

Diffusione della pressione di poro
(risposta ritardata)



Il lago artificiale del Pertusillo

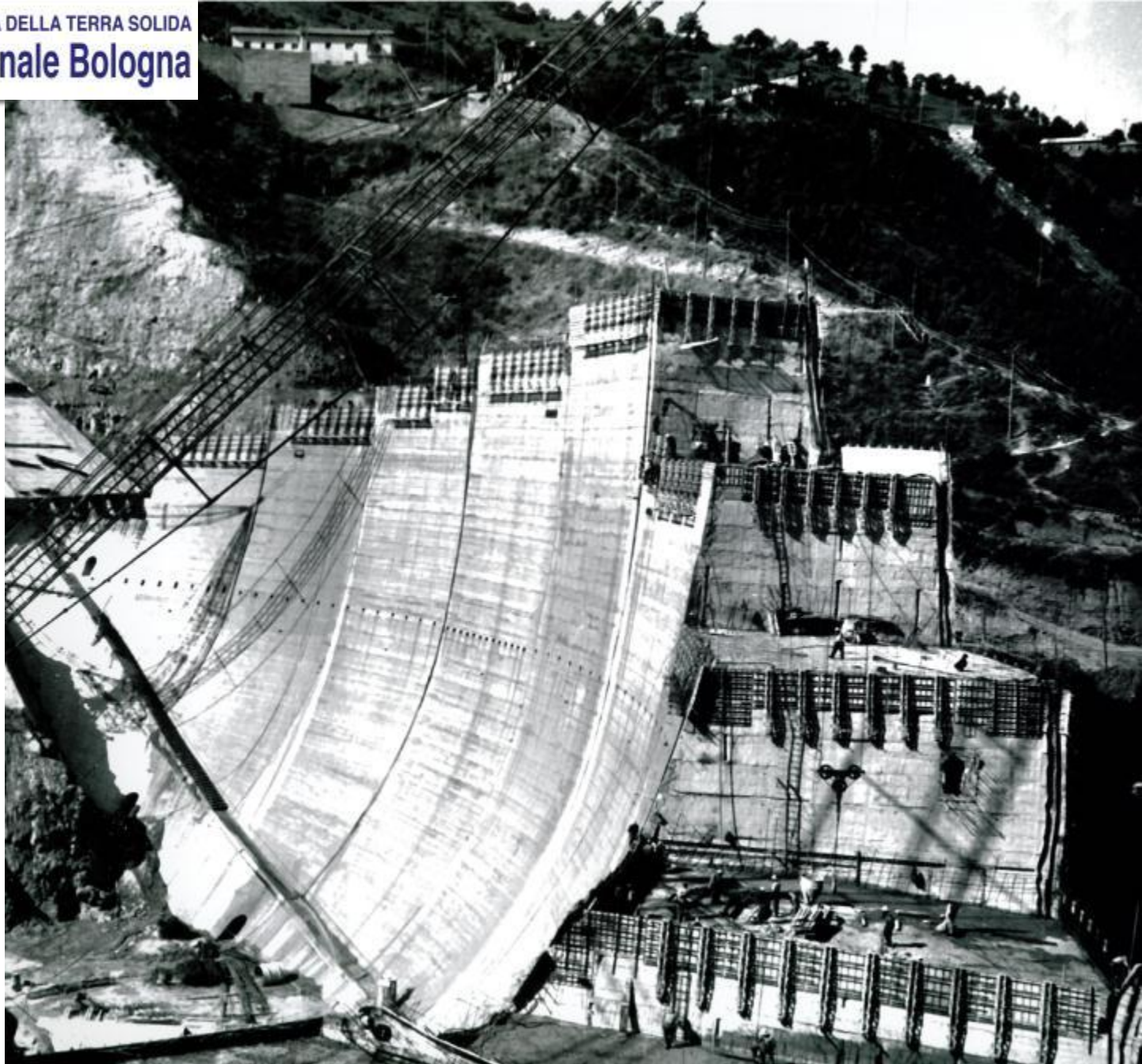


Immagine da "Ordine degli ingegneri della Provincia di Potenza"





GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA

33° Convegno Nazionale Bologna

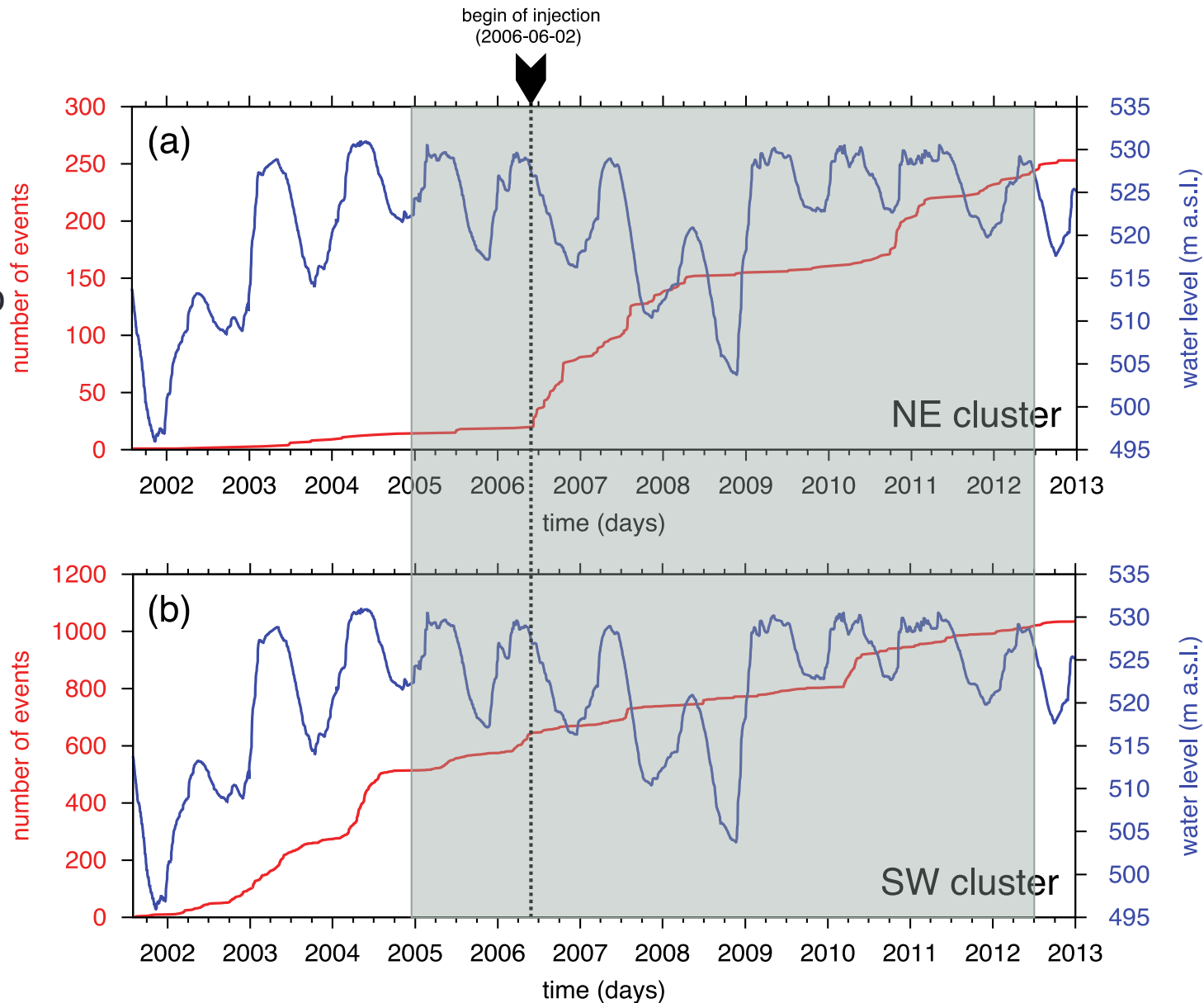




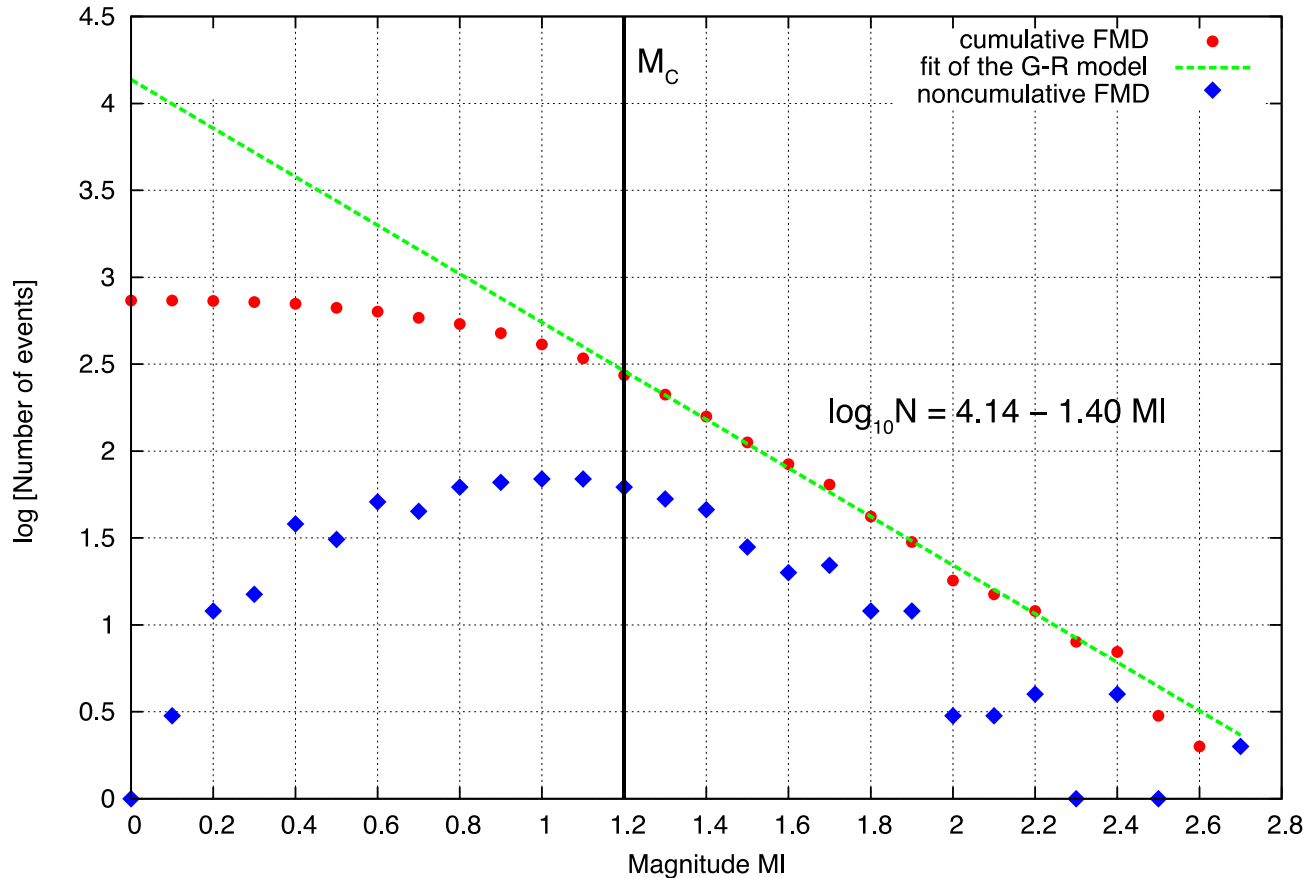
Da: <http://www.eni.it>

Il riempimento dell'invaso del Pertusillo è iniziato ad ottobre del 1963. Le variazioni stagionali dell'invaso sono di circa 10–15 m. Tali variazioni della colonna d'acqua producono sul fondo del lago variazioni di pressione di circa 0.10–0.15 MPa.

La re-iniezione delle acque di strato al pozzo Costa Molina 2 è iniziata il 2 giugno 2006



ISIDe database (<http://iside.rm.ingv.it>) + ENI database → periodo Gen 2005 – Giu 2012



Stima di M_C :

- Maximum Curvature method
- Entire-magnitude-range method (EMR)

(Woessner and Wiemer, 2005)

Fit del modello di Gutenberg–Richter:

- non-linear Levenberg-Marquardt least-squares algorithm

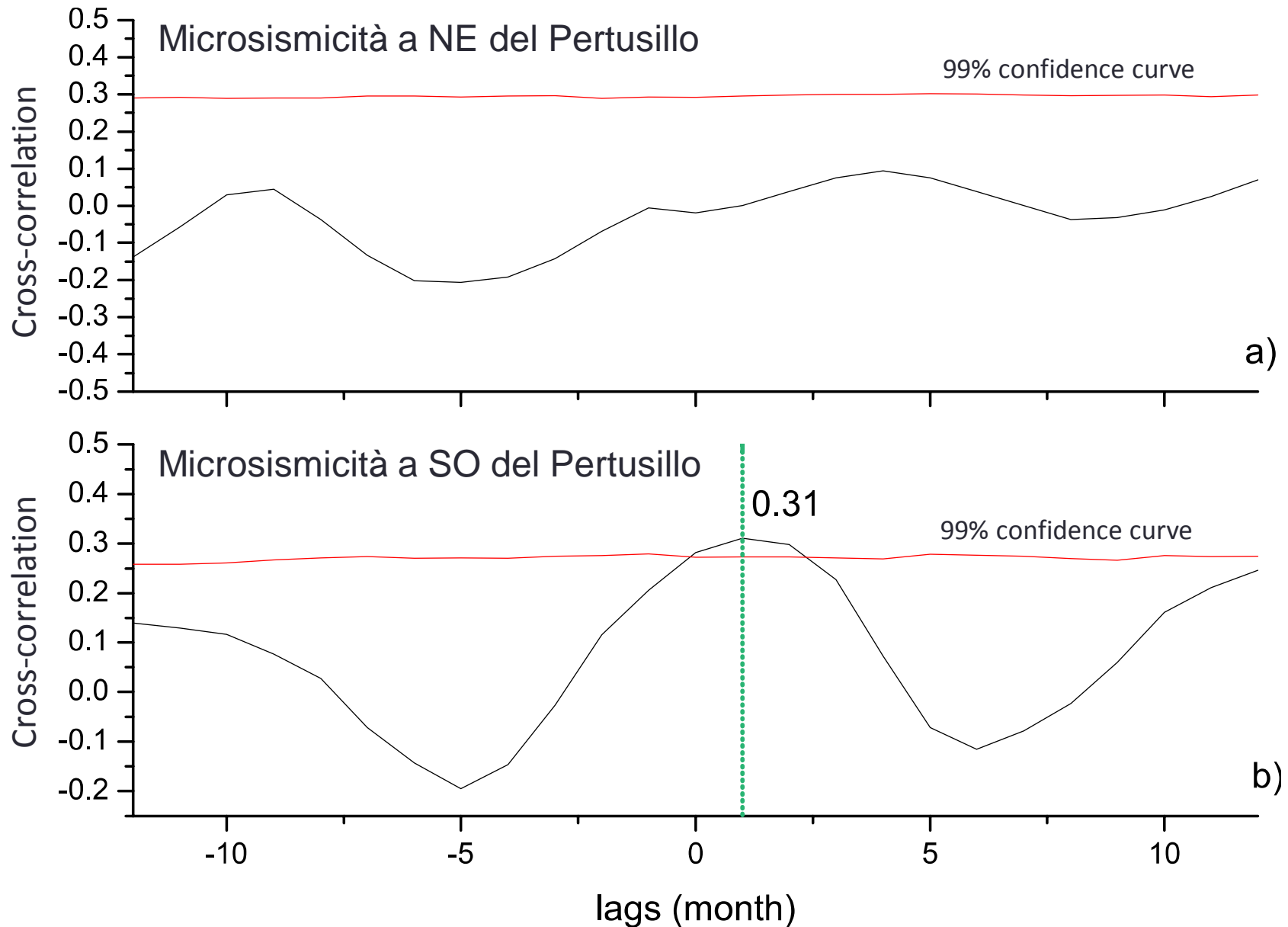
(Marquardt, 1963)

Intera sismicità: $M_C = 1.2 \pm 0.1$; $a = 4.14 \pm 0.05$; $b = 1.40 \pm 0.03$

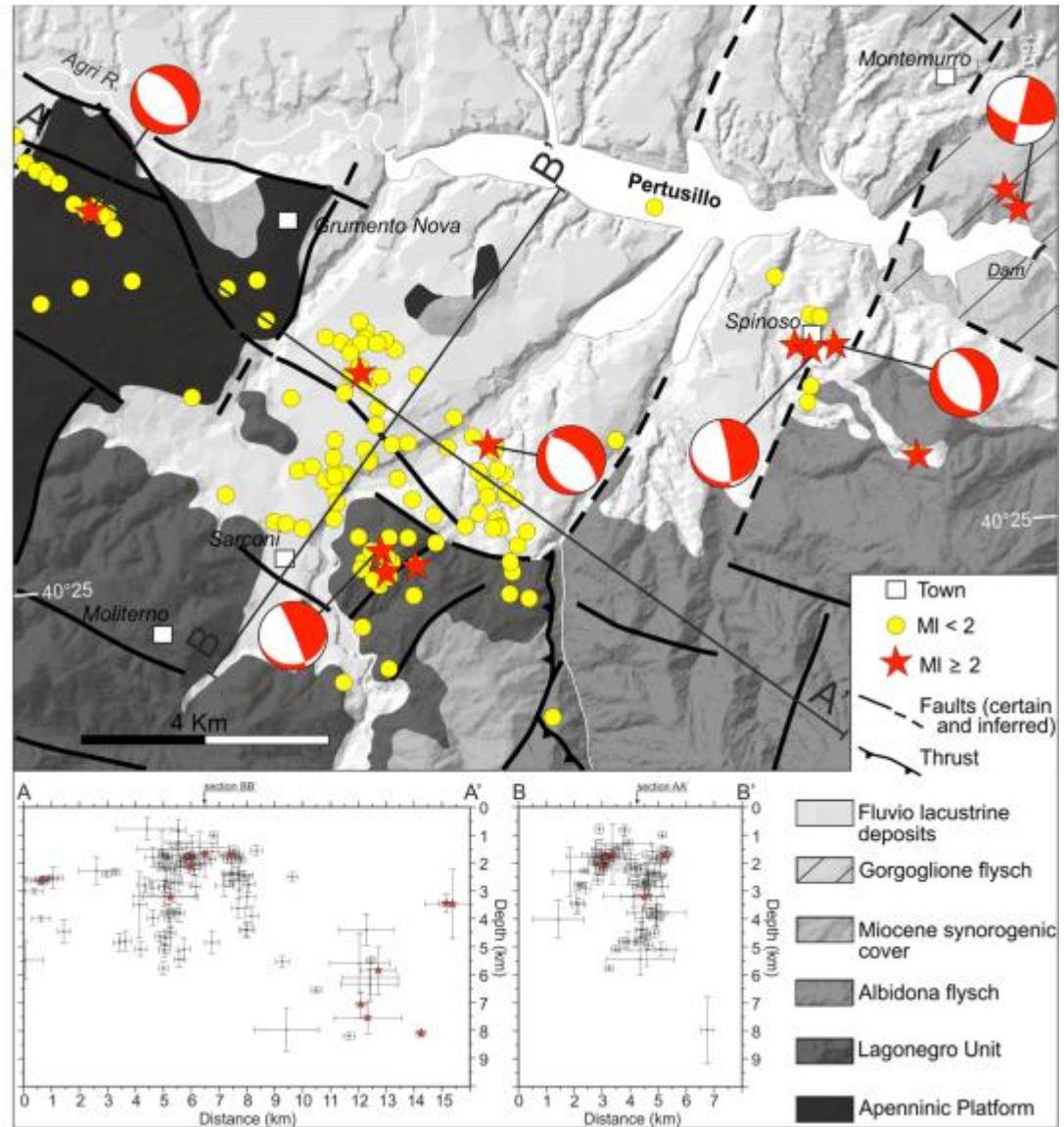
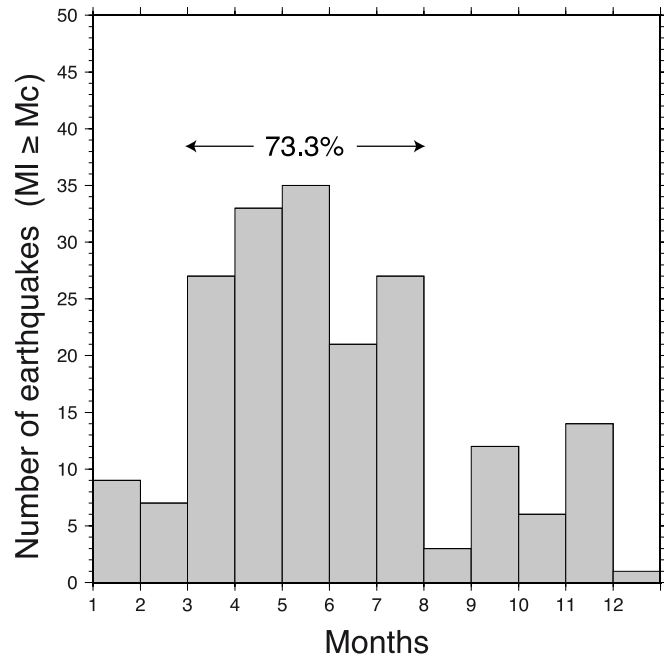
Sismicità a NE: $M_C = 1.1 \pm 0.1$; $a = 3.43 \pm 0.13$; $b = 1.37 \pm 0.07$

Sismicità a SO: $M_C = 1.2 \pm 0.1$; $a = 4.08 \pm 0.06$; $b = 1.43 \pm 0.03$

b-value Appennino Meridionale = 0.96 (Giulia and Meletti, 2008)



La microsismicità ($M_I \leq 2.7$) localizzata a sud del lago del Pertusillo è una sismicità continua indotta dall'invaso. La sismicità si genera con ciclicità annuale con un ritardo di circa un mese rispetto alle variazioni cicliche dell'invaso ed interessa la parte terminale meridionale del Sistema di Faglie dei Monti della Maddalena (MMFS)



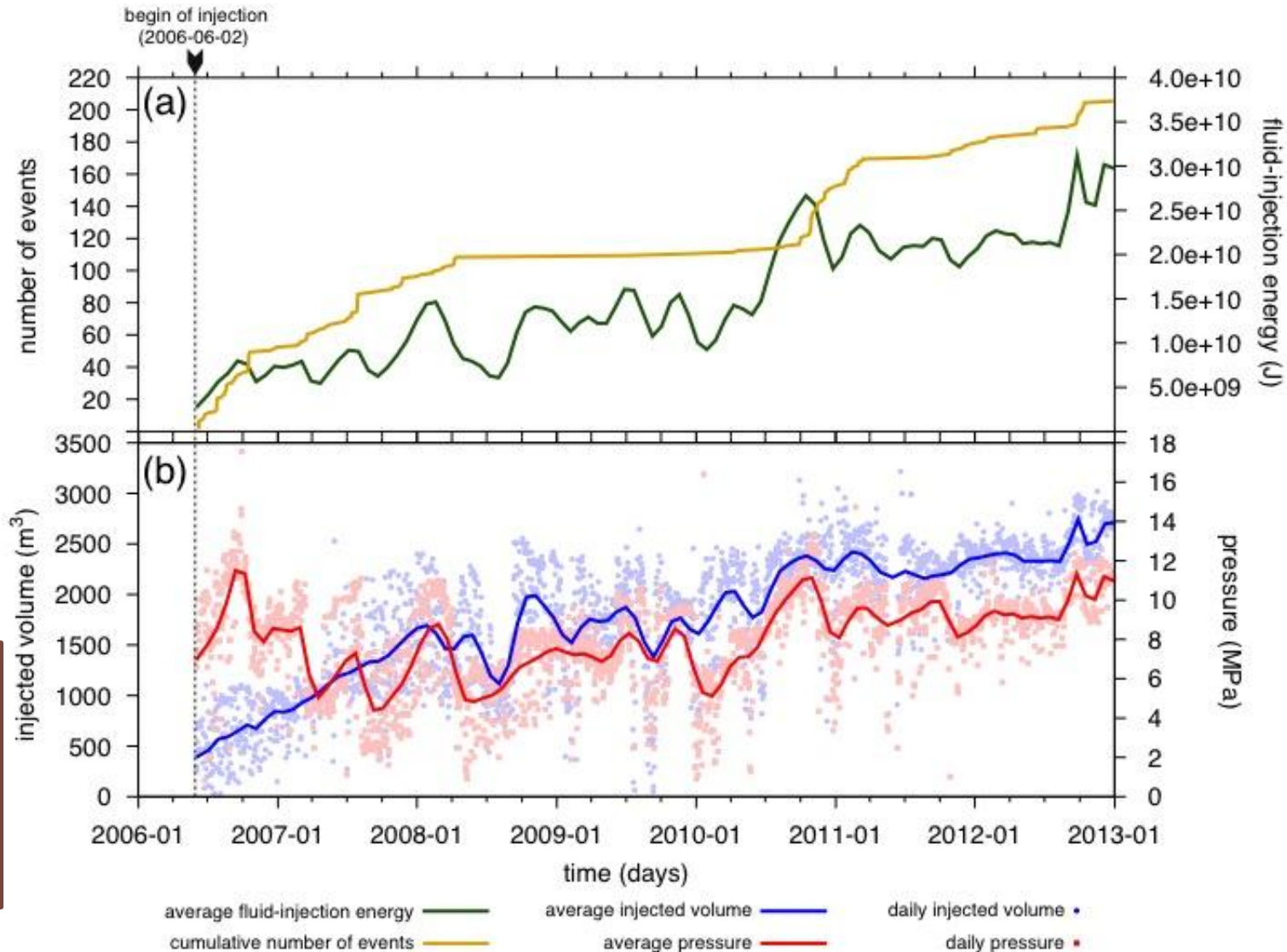
(a) Numero cumulativo degli eventi localizzati nei pressi del pozzo Costa Molina 2 (linea gialla) ed energia media di iniezione $E_{inj} = P V$ (linea verde)

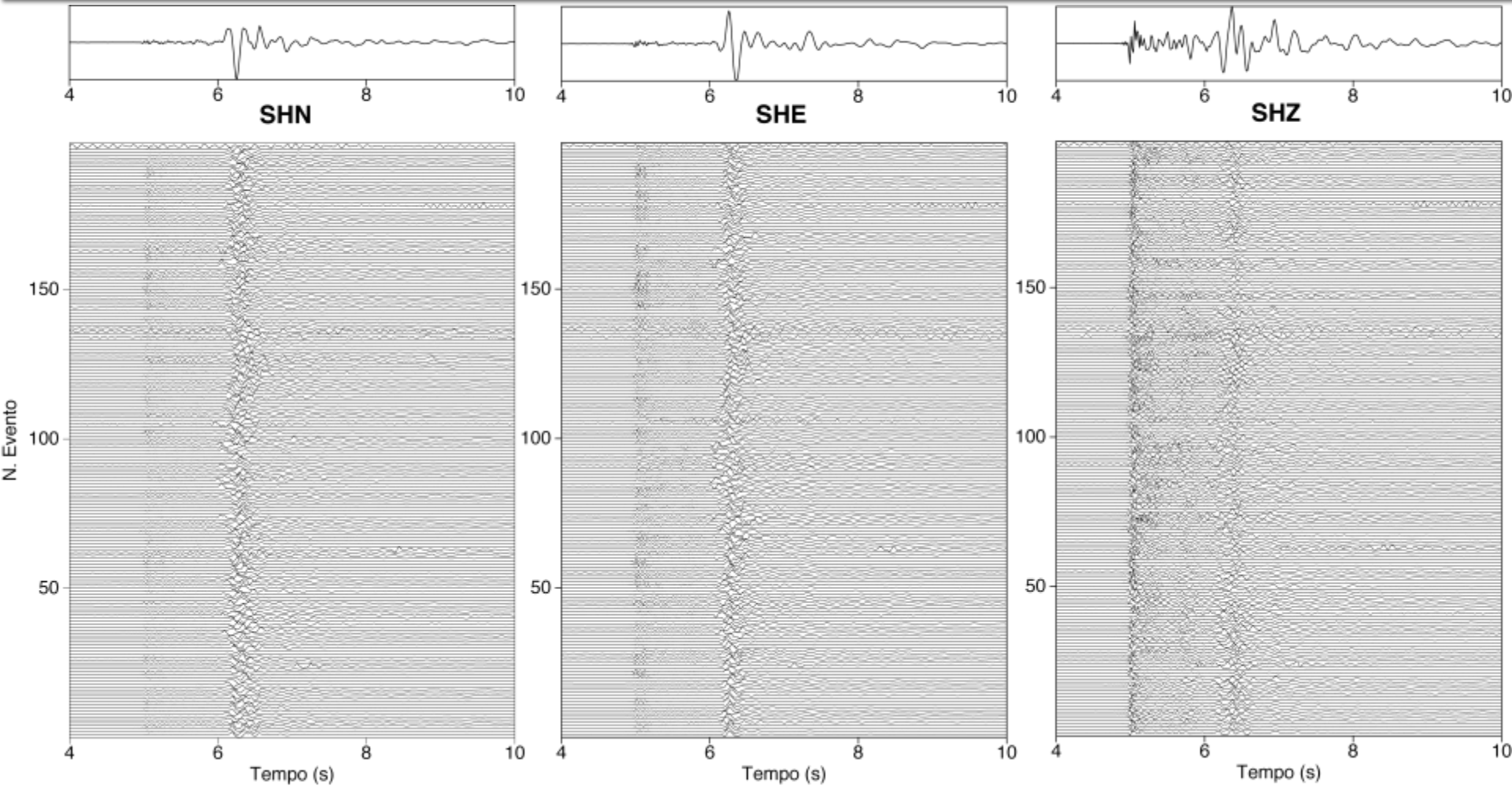
(b) Volumi V iniettati (colore blu) e pressioni P di iniezione (colore rosso).

La re-iniezione delle acque di strato è iniziata il 2 giugno 2006 (linea verticale tratteggiata).

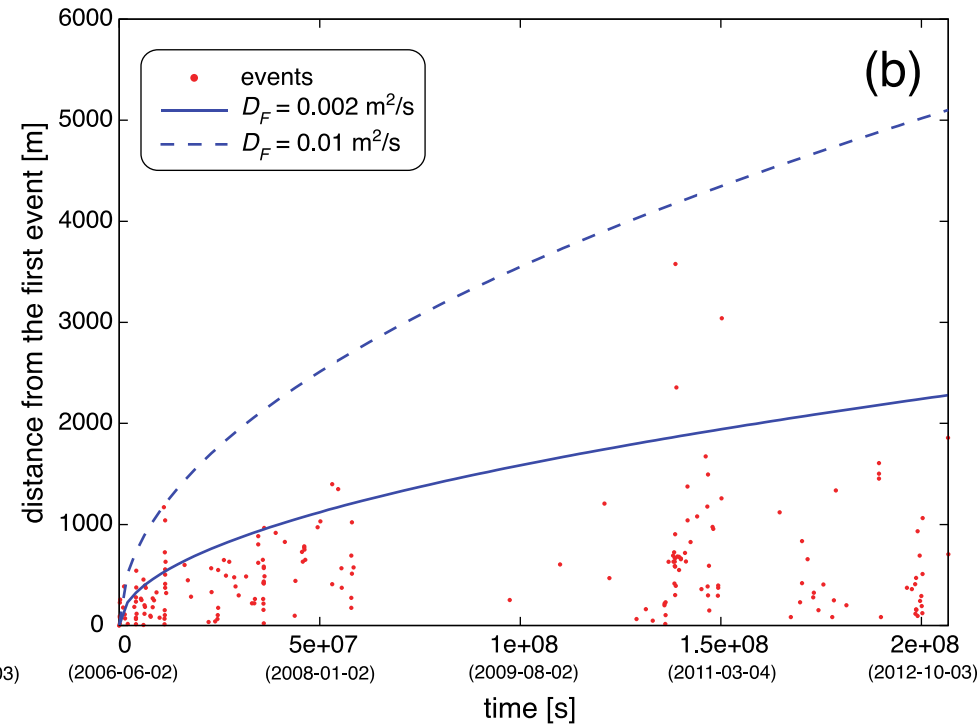
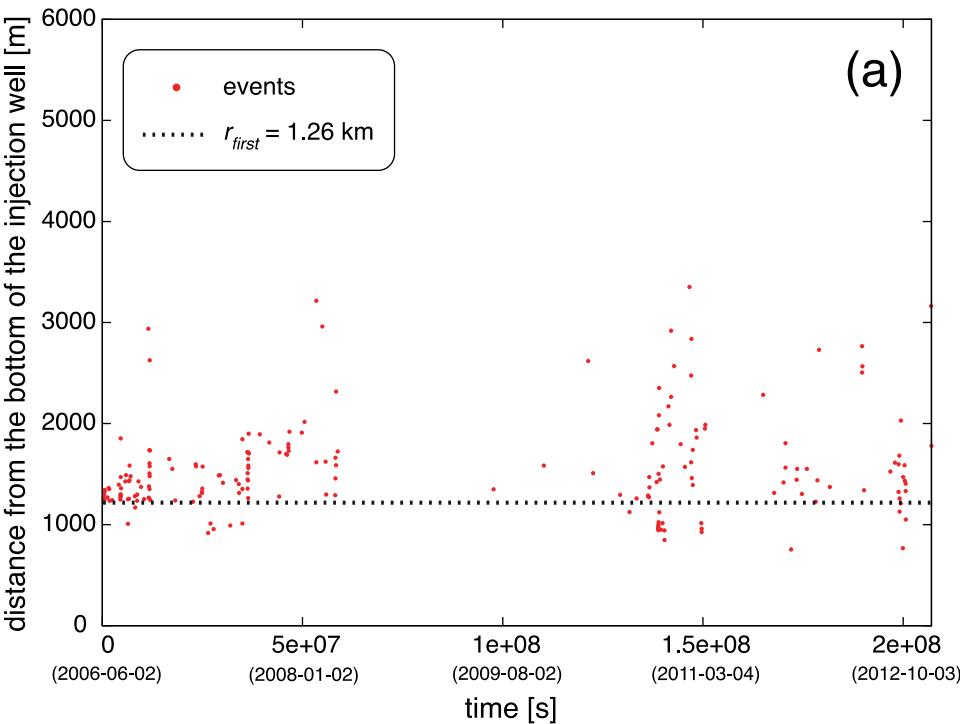
Primo evento registrato:

- $M_l = 1.6$
- 6 giugno 2006
- 13:29:19 UTC





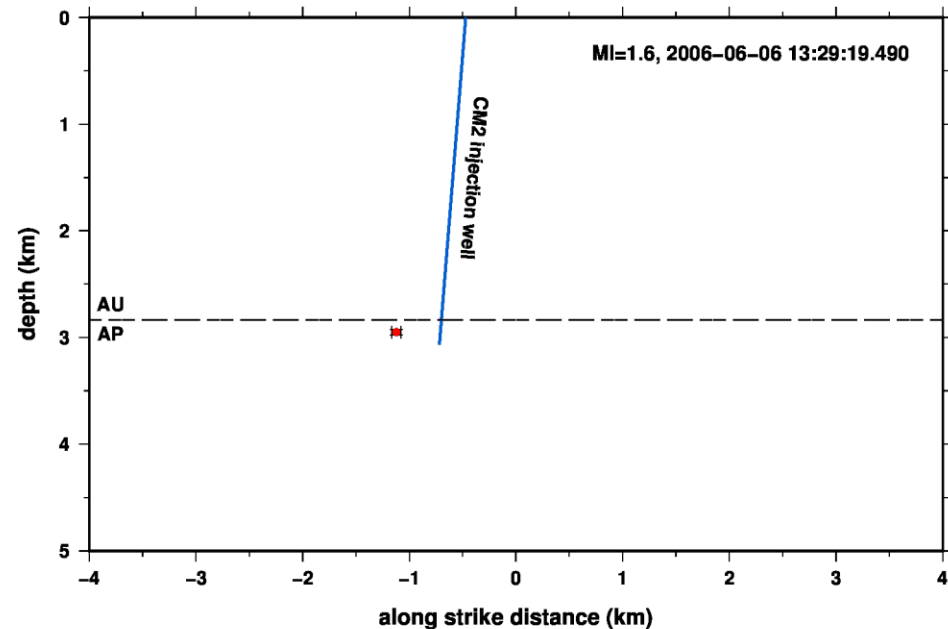
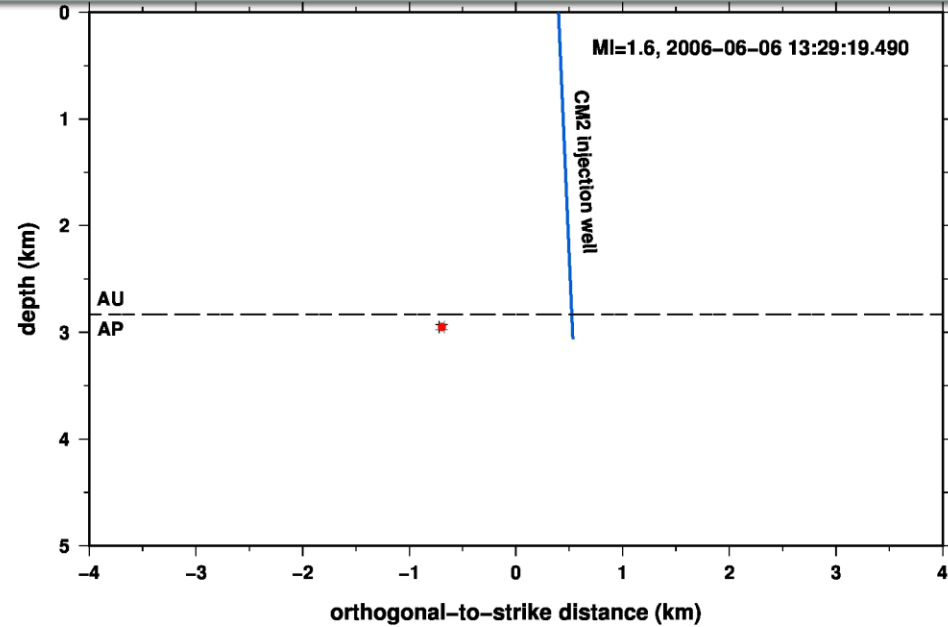
Registrazioni dei 206 eventi localizzati nei pressi del pozzo Costa Molina 2 lungo le tre componenti assiali SHN (componente Nord), SHE (componente Est), SHZ (componente verticale) del geofono della stazione ARME installata nel territorio comunale di Armento. In alto ad ogni sezione sismica è riportata anche la corrispondente traccia stack.



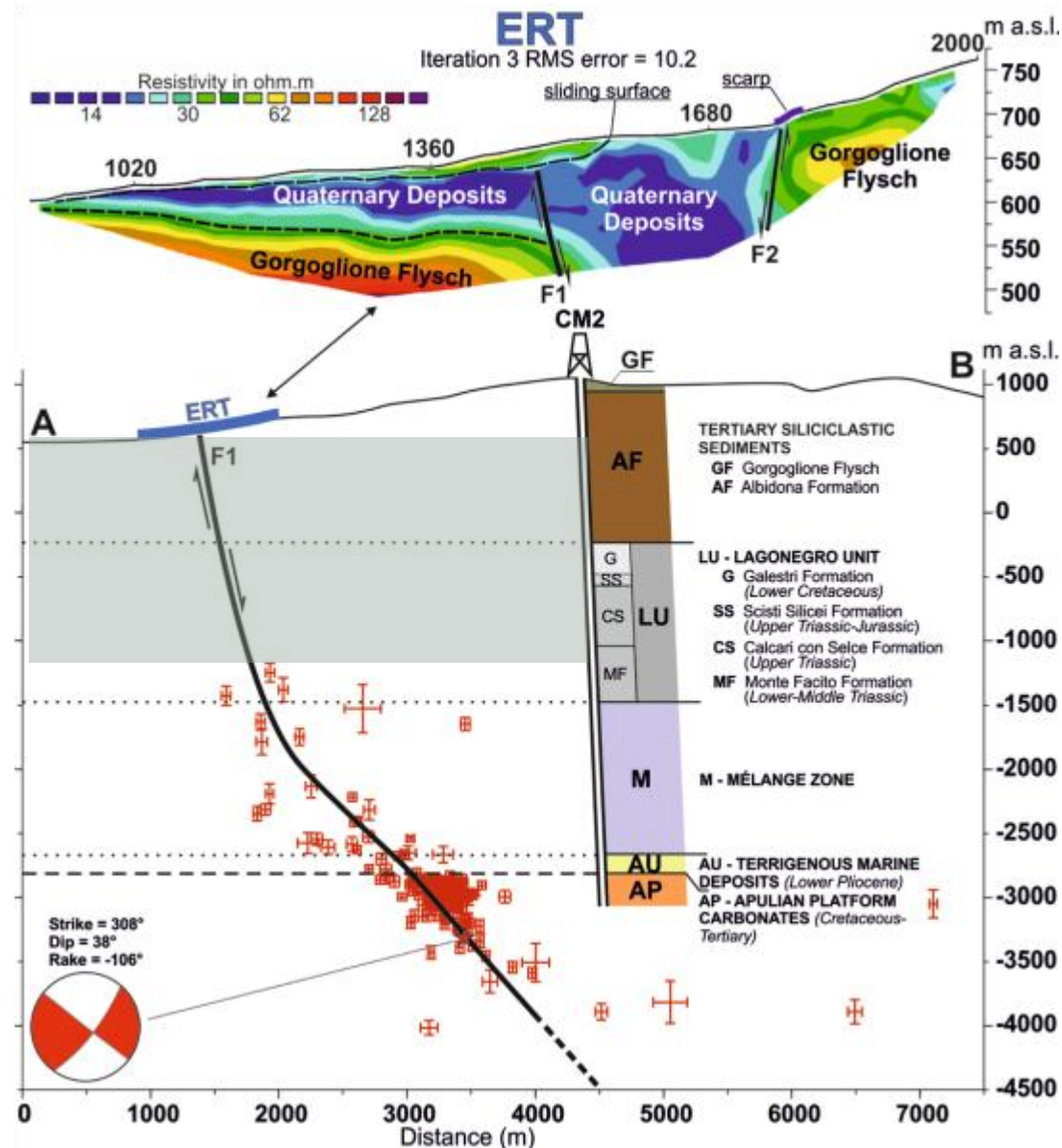
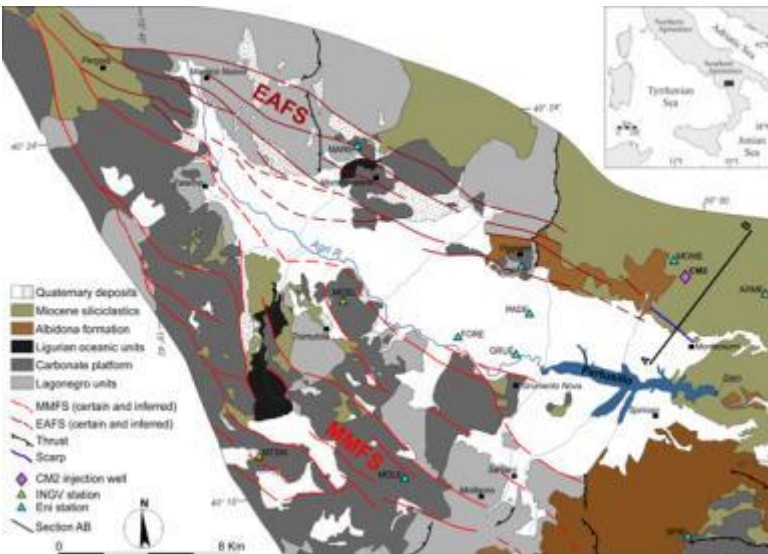
Stima della diffusività idraulica scalare usando la microsismicità (Shapiro et al., 2002):

$$r = \sqrt{4\pi Dt}$$

EVOLUZIONE SPAZIO-TEMPORALE DELLA SISMICITÀ ([visualizza video](#))



La microsismicità ($M_l \leq 2.0$) localizzata a nord del lago del Pertusillo, a circa 1.3 km di distanza dal pozzo di re-iniezione Costa Molina 2, è indotta dalla re-iniezione delle acque di strato e si distribuisce su una faglia che immerge a NE.



SISMICITÀ CONTINUA INDOTTA DALL'INVASO DEL PERTUSILLO

- Sismicità ($M_l \leq 2.7$) localizzata a Sud-Ovest dell'invaso del Pertusillo
- Correlata con le variazioni stagionali della colonna d'acqua
- b -value = 1.4, eventi sismici poco profondi, sciame sismico
- Risposta ritardata rispetto alle variazioni stagionali dell'invaso con $\Delta t = 1.0 \pm 0.5$ mesi
- Risposta a variazioni di pressione applicate sul fondo del lago di 0.10 – 0.15 MPa
- Avviene mediamente tra i mesi di marzo e luglio di ogni anno
- È distribuita in un piccolo volume ubicato in corrispondenza della terminazione meridionale del Sistema di Faglie dei Monti della Maddalena (MMFS)

SISMICITÀ INDOTTA DALLA RE-INIEZIONE DELLE ACQUE DI STRATO AL POZZO COSTA MOLINA 2

- Localizzata a Nord-Est dell'invaso del Pertusillo
- Non correlata con le variazioni stagionali della colonna d'acqua
- b -value = 1.4, eventi sismici poco profondi, sciame sismico
- Inizio della sismicità ($M_l \leq 2$) successivo all'avvio della re-iniezione (ritardo di 4 giorni)
- Localizzata a circa 1.3 km a Sud-Ovest del pozzo CM2
- Si distribuisce su una faglia N310° che immerge a Nord-Est

Sismicità naturale

- Studio della variabilità a piccola scala del meccanismo di rottura, dello sforzo agente e della resistenza offerta dalle rocce
- Comprendere i processi associati all'innesco e all'eventuale migrazione dei terremoti in Val d'Agri
- Studio multi-parametrico per determinare la geometria e le caratteristiche delle faglie interessate dai processi sismici in Val d'Agri

Sismicità indotta

- Studio ad alta risoluzione delle aree interessate dalla sismicità indotta
- Analisi statistiche quantitative per la caratterizzazione della sismicità indotta e la sua correlazione con le attività antropiche
- Ricerca di pattern che consentano di definire le diverse tipologie di sismicità indotta e di discriminarle dalla sismicità naturale
- Modello geomeccanico dell'area investigata che tiene conto delle perturbazioni antropiche

Rischio sismico

- Studi di vulnerabilità del costruito
- Eventuale rivalutazione della pericolosità sismica

Articoli di riferimento:

1. Stabile, T. A., A. Giocoli, V. Lapenna, A. Perrone, S. Piscitelli, and L. Telesca (2014), Evidences of low-magnitude continued reservoir induced seismicity associated with the Pertusillo artificial lake (southern Italy), *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 104(4), 1820-1828, doi:10.1785/0120130333
2. Stabile, T. A., A. Giocoli, A. Perrone, S. Piscitelli, and V. Lapenna (2014), Fluid injection induced seismicity reveals a NE dipping fault in the southeastern sector of the High Agri Valley (southern Italy), *Geophys. Res. Lett.*, 41(16), 5847-5854, doi:10.1002/2014GL060948



GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA

33° Convegno Nazionale Bologna

Presente e futuro delle ricerche sulla sismicità indotta in Italia

IL CASO DELLA VAL D'AGRI:
RUOLO DEL LAGO PERTUSILLO E
DEL POZZO COSTA MOLINA 2

GRAZIE PER LA CORTESE
ATTENZIONE