



Consiglio Nazionale delle Ricerche

21 Dicembre 2015
CNR – Sede Centrale – Aula Convegni
P.le Aldo Moro, 7 - Roma

2015
CONFERENZA ANNUALE

Dipartimento Scienze del Sistema
Terra e Tecnologie per l'Ambiente

« I CAMBIAMENTI CLIMATICI SONO UN PROBLEMA GLOBALE
CON GRAVI IMPLICAZIONI AMBIENTALI, SOCIALI, ECONOMICHE,
DISTRIBUTIVE E POLITICHE, E COSTITUISCONO UNA DELLE
PRINCIPALI SFIDE ATTUALI PER L'UMANITÀ. »

PAPA FRANCESCO
LETTERA ENCICLICA "LAUDATO SI"

"LA RISPOSTA DELLA RICERCA CNR
ALLE SFIDE AMBIENTALI"

Il progetto INSIEME:

*INduced Seismicity in Italy: Estimation,
Monitoring, and sEismic risk mitigation*

Tony Alfredo Stabile

Tecnologie energetiche e sismicità indotta



Koyana dam (India) → terremoto **Ms 6.3**, 1962

Tecnologie energetiche e sismicità indotta



Koyna dam (India) → terremoto **Ms 6.3**, 1962



Oil production well (Coalinga, California, USA)

→ terremoto **Mw 6.5**, 1983

Tecnologie energetiche e sismicità indotta



Koyna dam (India) → terremoto **Ms 6.3**, 1962



Oil production well (Coalinga, California, USA)
→ terremoto **Mw 6.5**, 1983



Injection well (Prague, Oklahoma, USA)
→ terremoto **Mw 5.7**, 2011

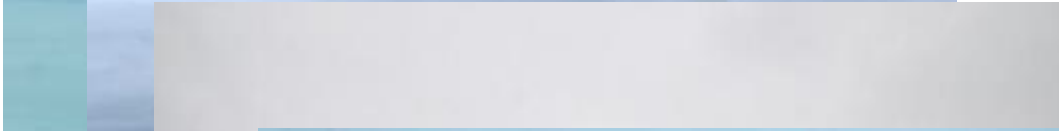
Tecnologie energetiche e sismicità indotta



Koyna dam (India) → terremoto **Ms 6.3**, 1962



Oil production well (Coalinga, California, USA)
→ terremoto **Mw 6.5**, 1983



Injection well (Prague, Oklahoma, USA)
→ terremoto **Mw 5.7**, 2011



The Geysers Geothermal field
(California, USA)
→ 7 terremoti **Mw > 4** (2007-11)

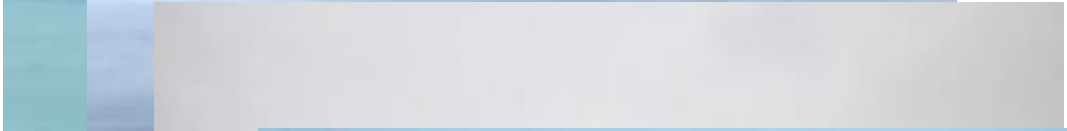
Tecnologie energetiche e sismicità indotta



Koyna dam (India) → terremoto **Ms 6.3**, 1962



Oil production well (Coalinga, California, USA)
→ terremoto **Mw 6.5**, 1983



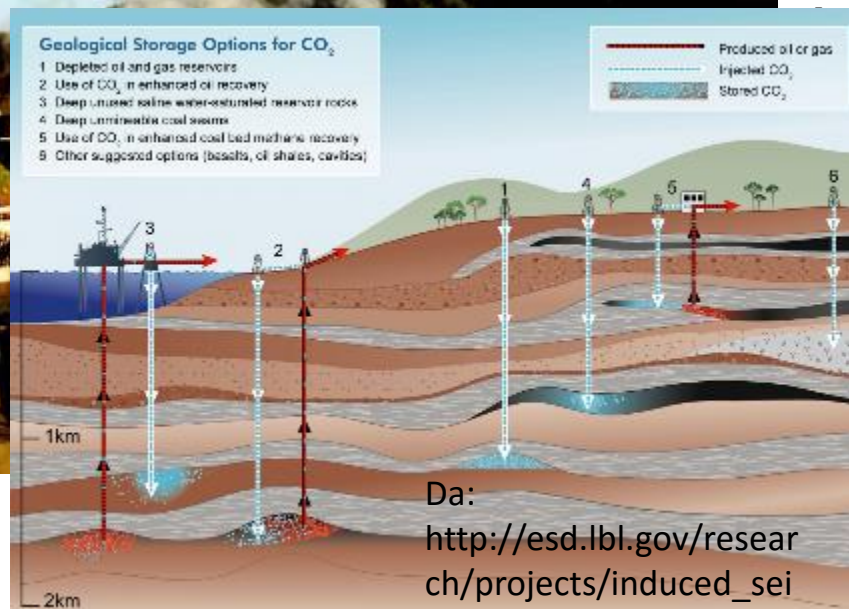
Injection well (Prague, Oklahoma, USA)
→ terremoto **Mw 5.7**, 2011



The Geysers Geothermal field
(California, USA)



7 terremoti **Mw > 4** (2007-11)



Da:
http://esd.lbl.gov/research/projects/induced_seismicity/

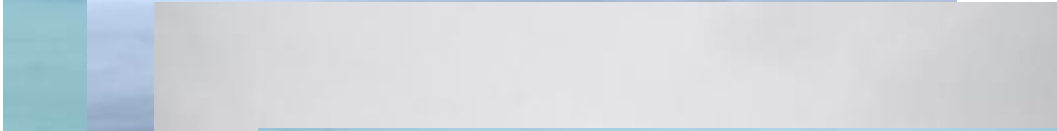
Tecnologie energetiche e sismicità indotta



Koyna dam (India) → terremoto **Ms 6.3**, 1962



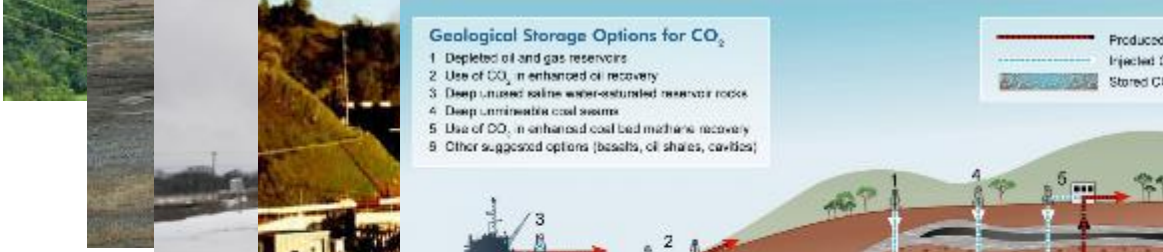
Oil production well (Coalinga, California, USA)
→ terremoto **Mw 6.5**, 1983



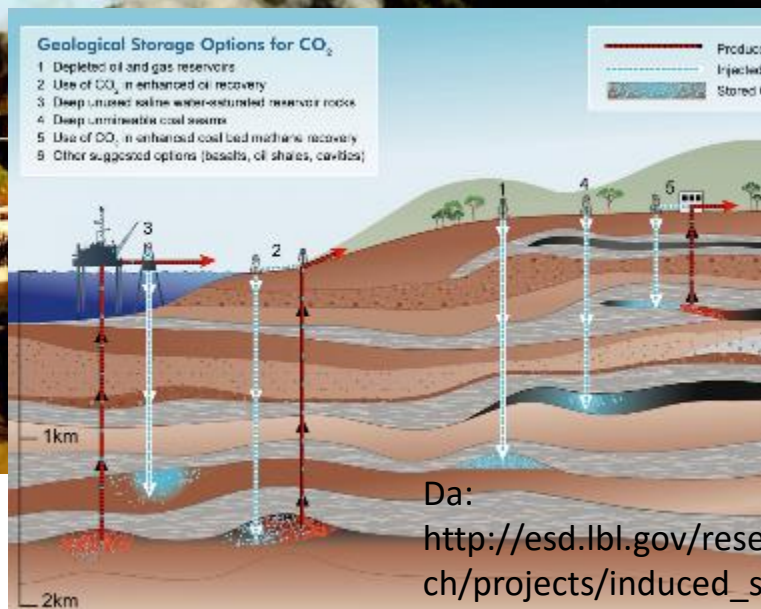
Injection well (Prague, Oklahoma, USA)
→ terremoto **Mw 5.7**, 2011



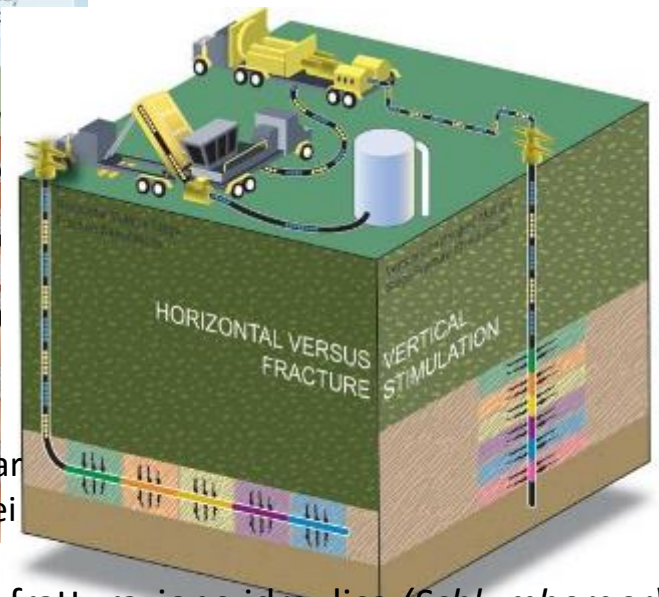
The Geysers Geothermal field
(California, USA)



7 terremoti **Mw > 4** (2007-11)



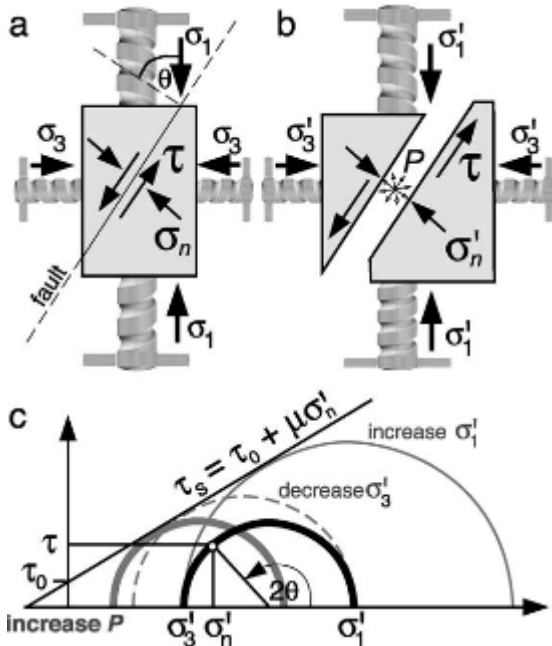
Da:
http://esd.lbl.gov/research/projects/induced_seismicity/



Monitoraggio della fratturazione idraulica (*Schlumberger*)

Tecnologie energetiche e sismicità indotta

Da: Saar and Manga, EPSL (2003)



Coulomb failure criterion

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

Variazione dello stress

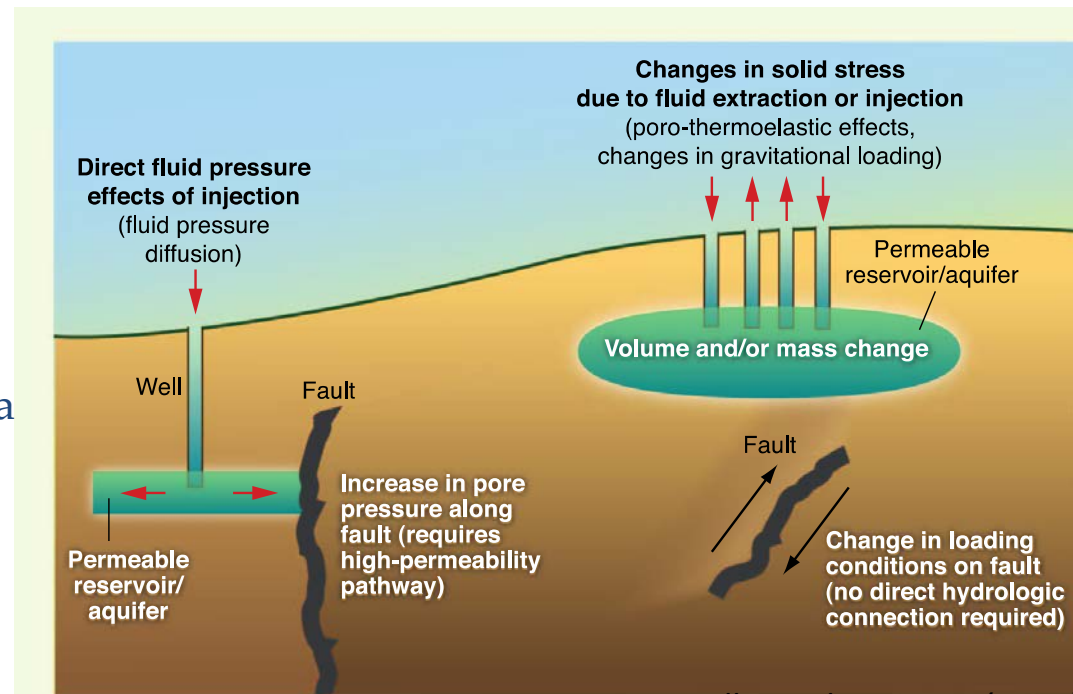
(risposta immediata)

Diffusione della pressione di poro

(risposta ritardata)

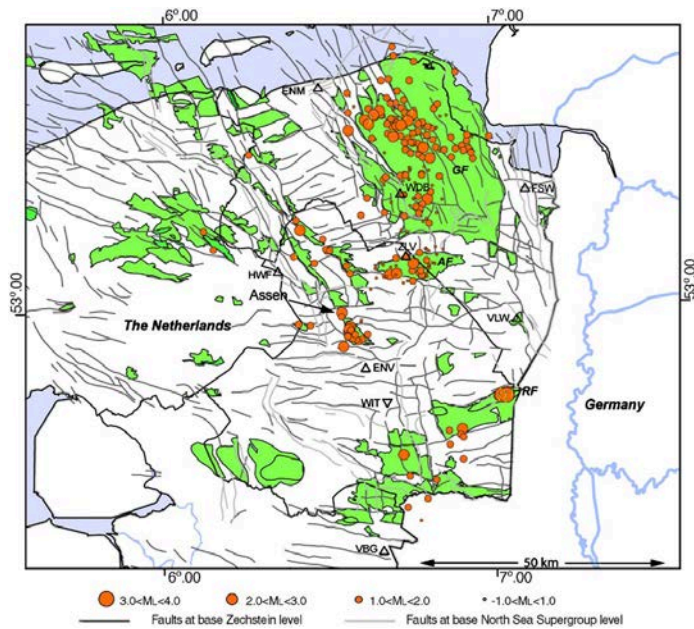
Complessità del sistema:

- assetto geologico-strutturale
- posizione e orientazione relative delle faglie rispetto alla tecnologia energetica
- caratteristiche perturbazione antropica
- presenza e migrazione dei fluidi
- campo di stress
- deformazione superficiale
- pressione di poro, permeabilità, ecc...



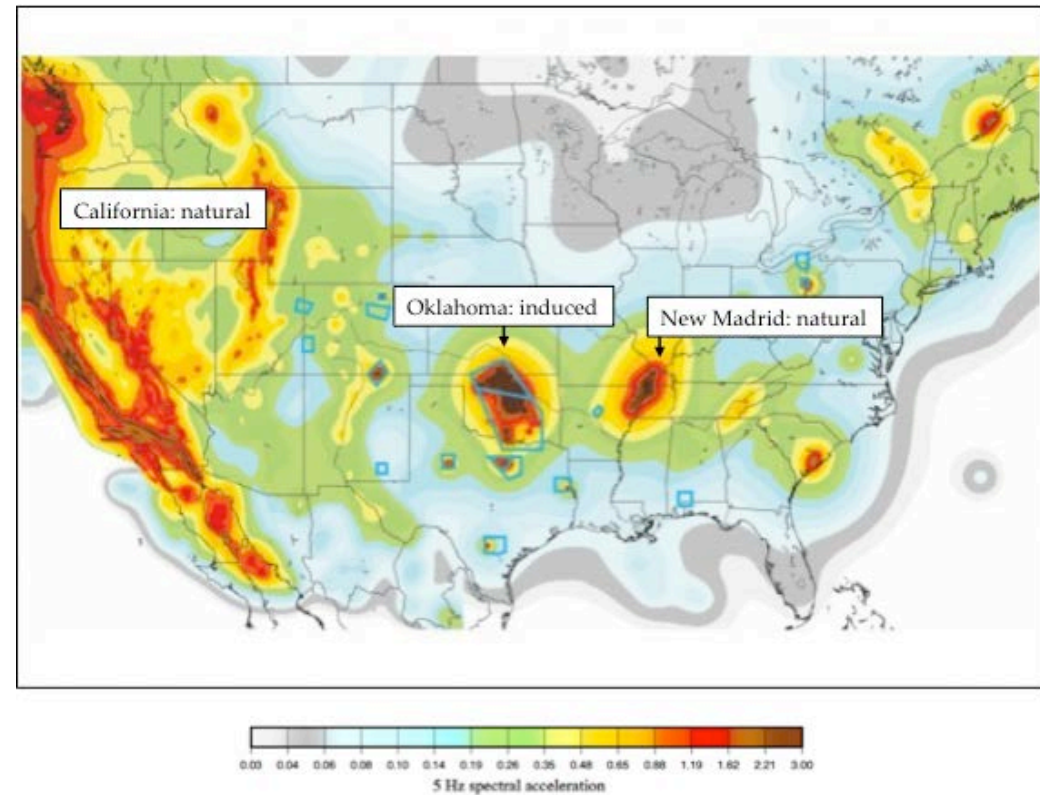
Da: Ellsworth, Science (2013)

Tecnologie energetiche e sismicità indotta



Dal 2003 la legge mineraria olandese obbliga le compagnie che sfruttano le risorse del sottosuolo a sottomettere alle autorità olandesi un'informazione dettagliata della produzione e a fornire loro stime di pericolosità e rischio sismico (van Eck et al., 2006)

USA National Seismic Hazard Model, 2015 che include la sismicità indotta



Source: USGS OFR 2015-1070 (Petersen et al., 2015)

Tecnologie energetiche e sismicità indotta



- Concessioni estrazione di idrocarburi
- Concessioni per lo stoccaggio
- Pozzi per geotermia
- Esplorazione di idrocarburi

Non esistono ancora procedure uniche e chiare che regolano la progettazione, la costruzione e la gestione delle tecnologie energetiche potenzialmente in grado di indurre sismicità

- Maggiore attenzione alla tematica è stata posta dopo l'occorrenza dei terremoti Mw 6.1 in Emilia del 20-29 maggio 2012
- Nel 2014:
 - Report Commissione ICHESE (aprile 2014)
 - Tavolo ISPRA (giugno 2014)
Identificati 15 siti di nota o ipotizzata sismicità indotta
 - LAB Cavone (luglio 2014)
Nessuna correlazione tra i terremoti in Emilia e le tecnologie energetiche presenti nell'area
 - Linee guida MISE (novembre 2014)
- Nel 2015:
 - Primi test in aree pilota
(attività coordinata dal MISE)

Obiettivi del progetto INSIEME

1. Approccio integrato e multidisciplinare per studiare i meccanismi fisici coinvolti nei processi di sismicità indotta

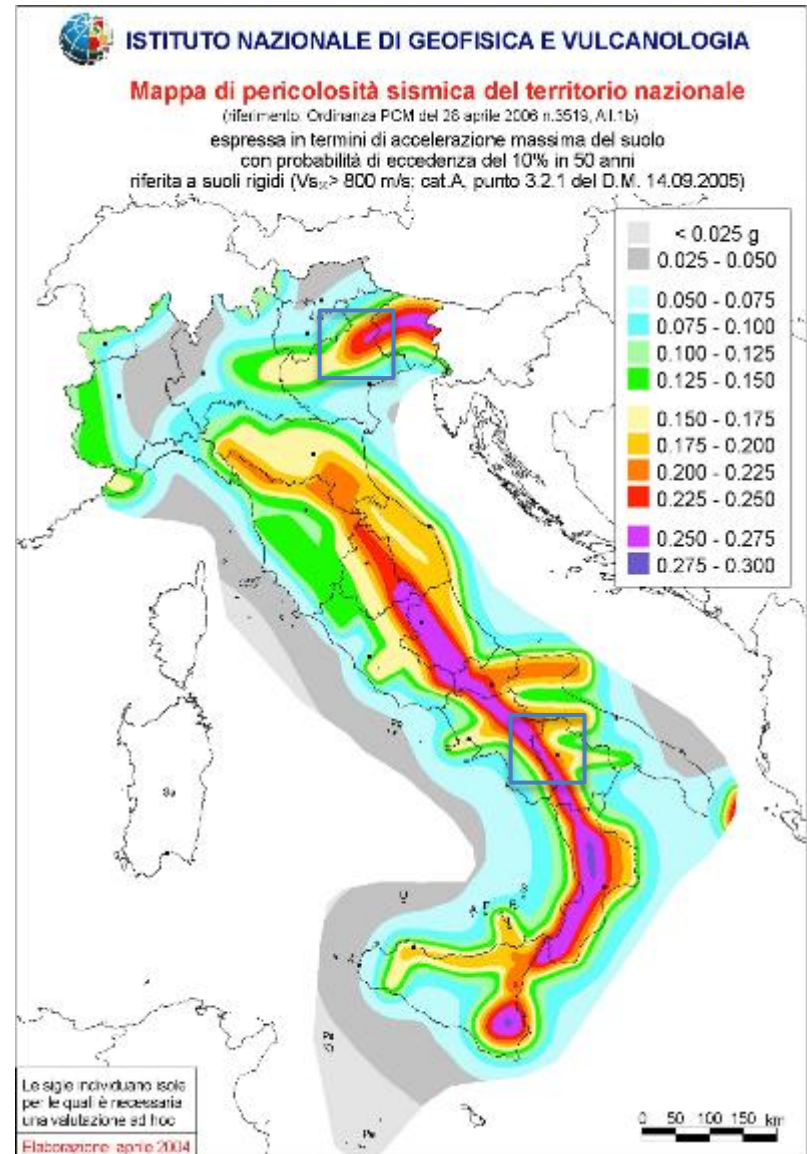
Studiare la sorgente sismica e il clustering dei terremoti

Monitorare l'evoluzione spazio temporale della sismicità indotta

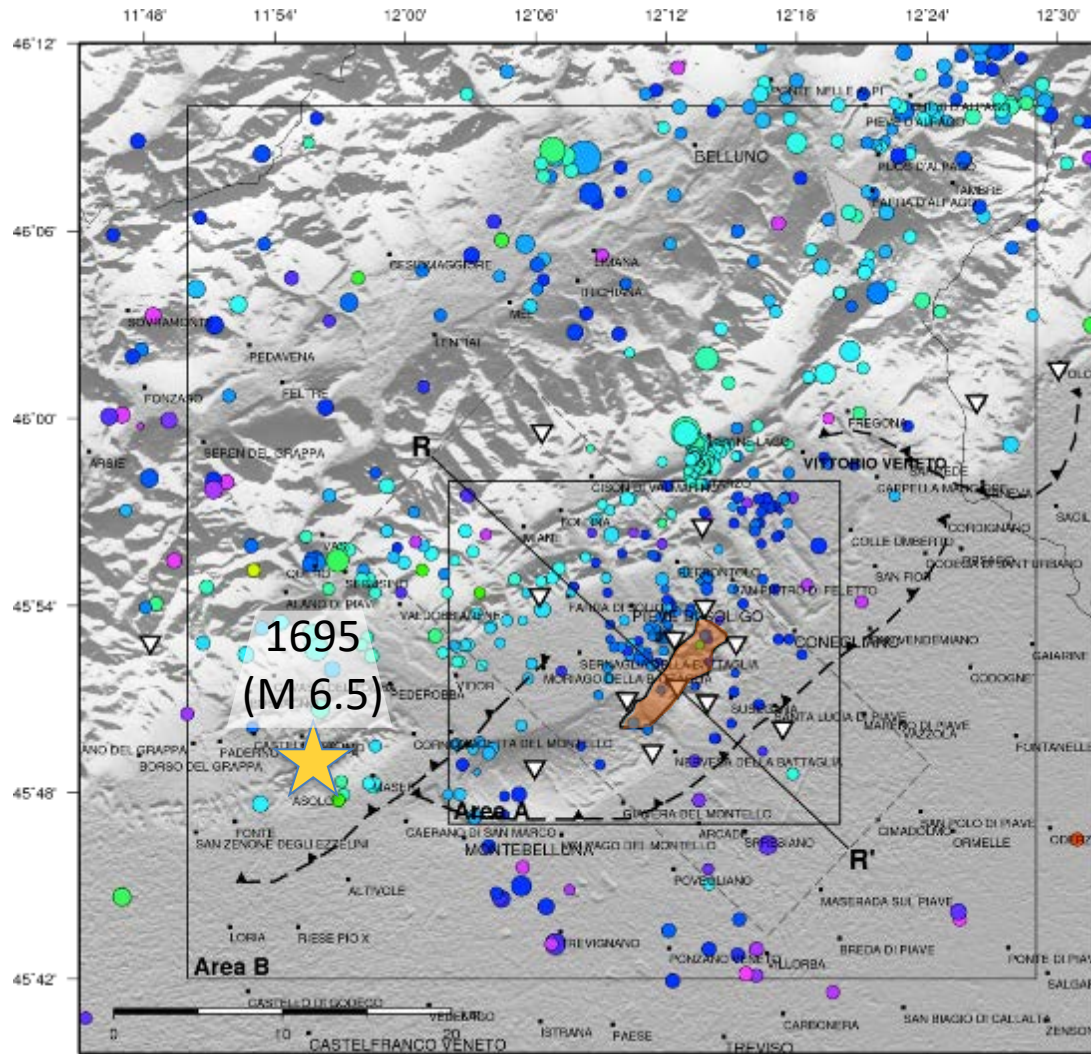
Tracciare la variabilità a piccola scala del meccanismo di rottura e della distribuzione dello stress

Capire le relazioni tra sismicità osservata e perturbazioni antropiche

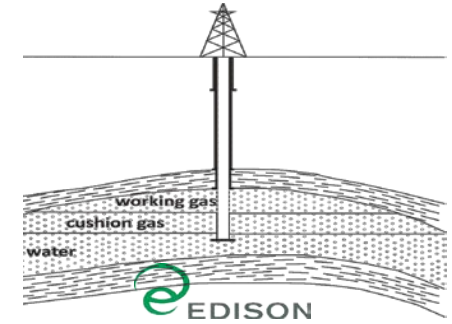
2. Mitigazione del rischio sismico



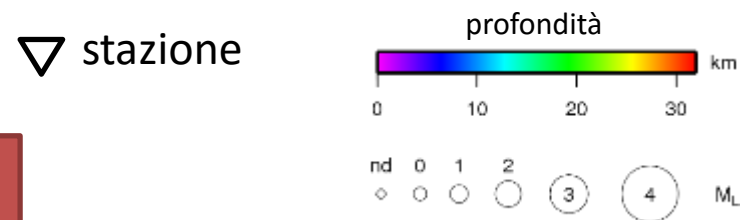
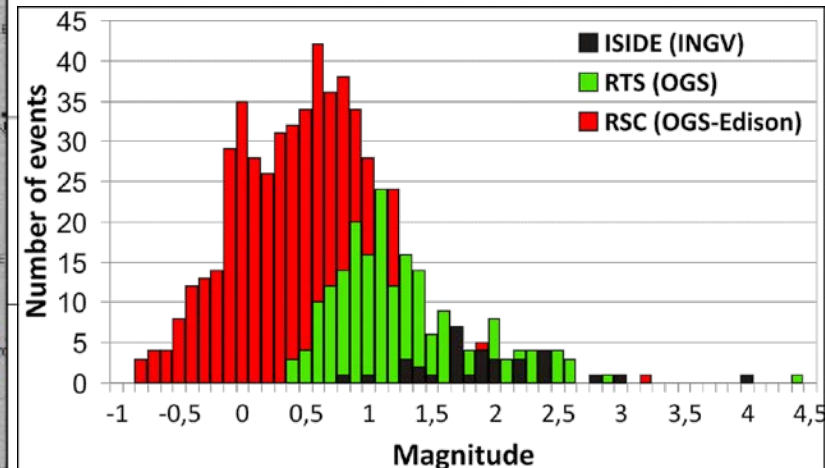
Test site 1: Collalto (Regione Veneto)



Trappola
strutturale(
anticlinale)
a 1.5-1.6
km di
profondità



↓ Estate: stoccaggio *gas*
↑ Inverno: estrazione *gas*



RSC operativa da dicembre 2012



Test site 2: Val d'Agri (Regione Basilicata)

15°45'

A – Sismicità continua indotta dal Pertusillo

Stabile et al., Bull. Seismol. Soc. Am. (2014)

Telesca et al., Stoch. Environ. Res. Risk Assess. (2014)

Stabile et al., Boll. Geofis. Teor. Appl. (2015)

B – Sismicità indotta dalla reiniezione

delle acque di strato

Stabile et al., Geophys. Res. Lett. (2014)



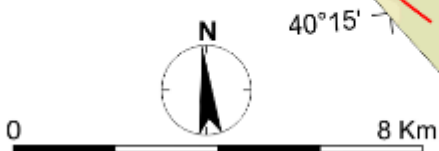
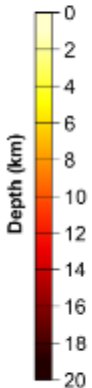
Estrazione di olio e gas

B Reiniezione delle acque di strato

1857
(M 7.0)

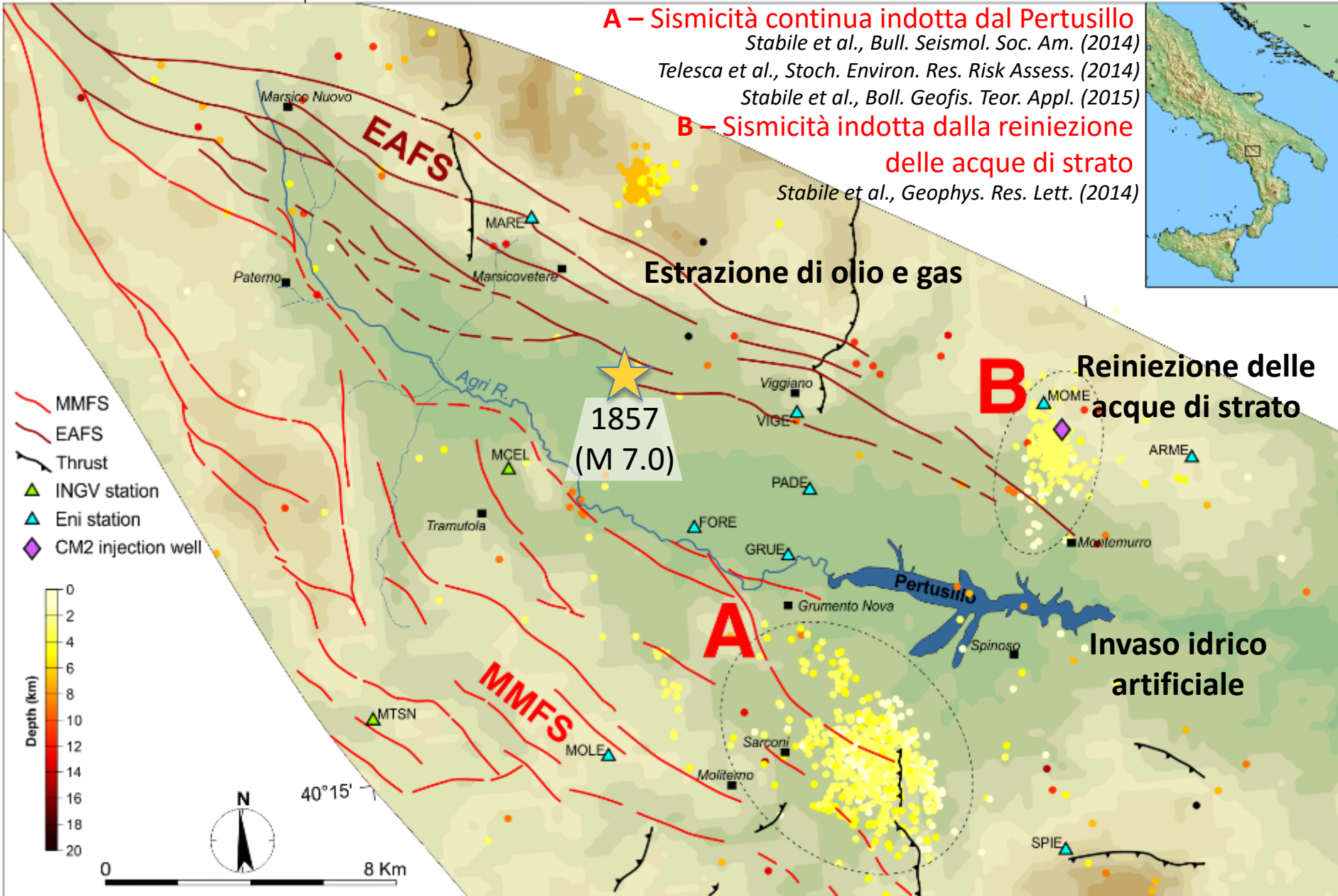
Invaso idrico artificiale

- MMFS
- EAFS
- Thrust
- INGV station
- Eni station
- CM2 injection well



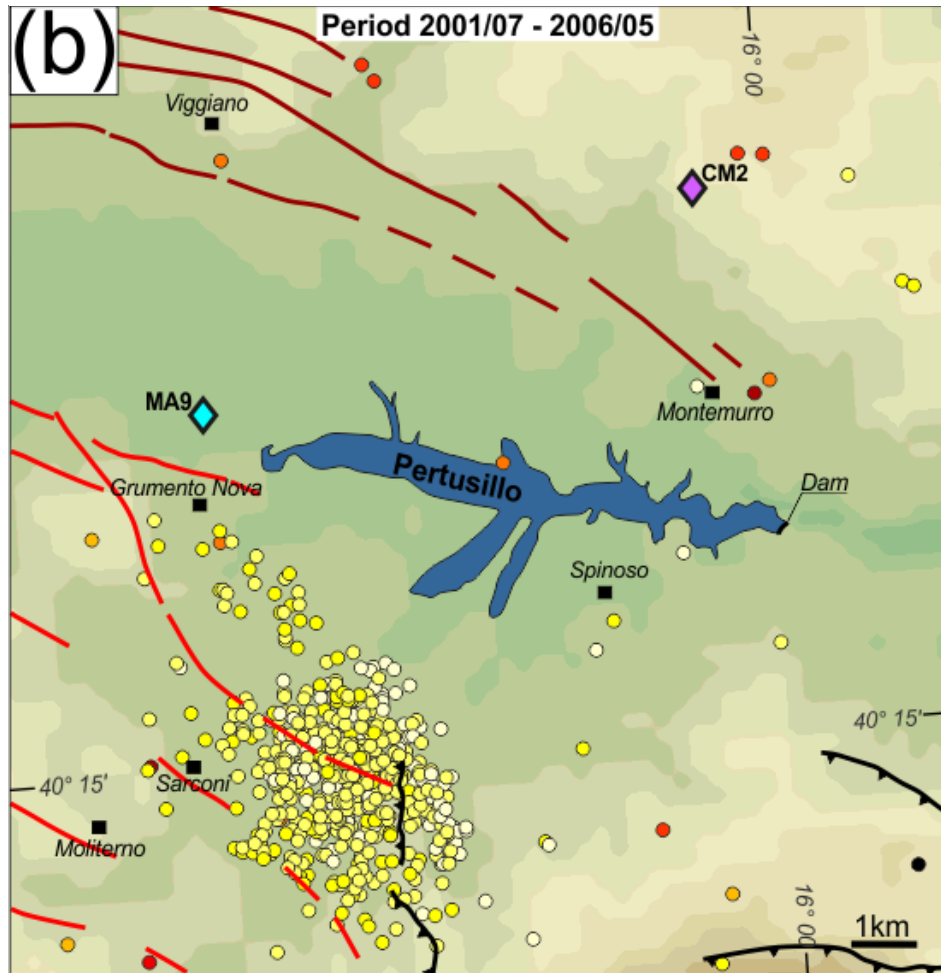
40°15'

16°00'



Sismicità indotta in alta Val d'Agri

Sismicità registrata da luglio 2001 a maggio 2006

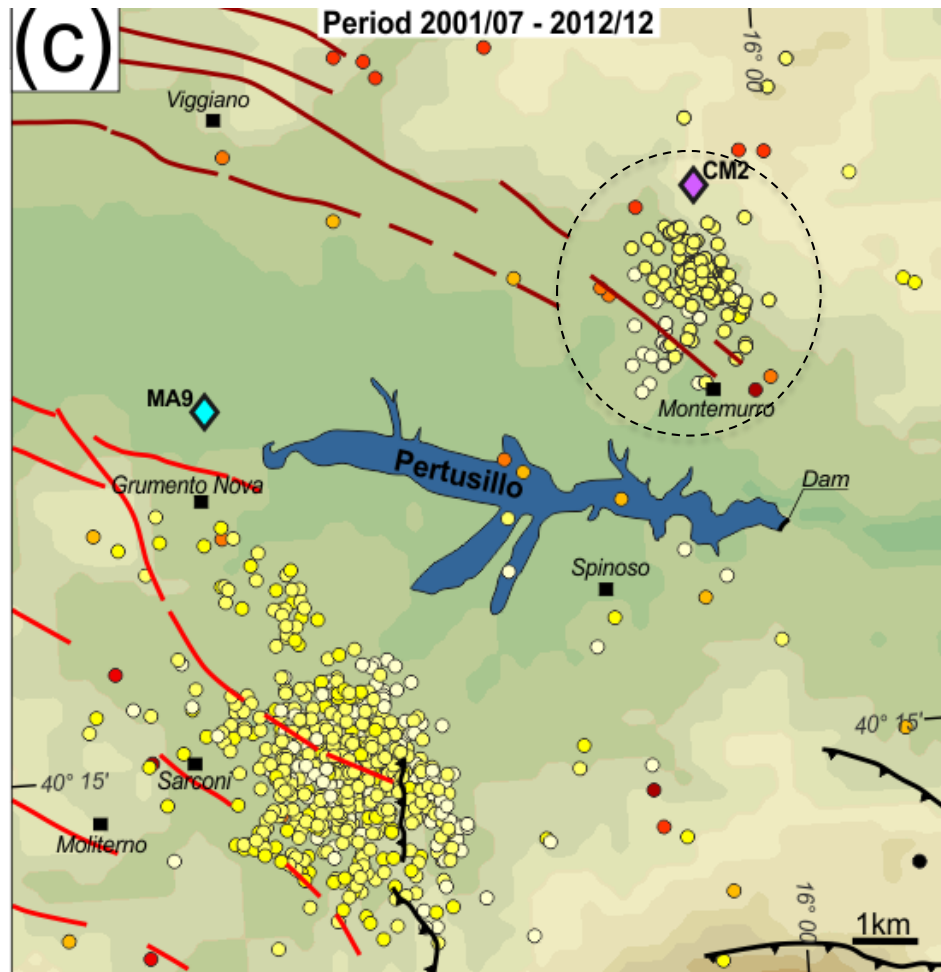


SISMICITÀ CONTINUA INDOTTA DALL'INVASO DEL PERTUSILLO

- Sismicità ($M_l \leq 2.7$) localizzata a Sud-Ovest dell'invaso del Pertusillo
- Correlata con le variazioni stagionali della colonna d'acqua
- Risposta ritardata rispetto alle variazioni stagionali dell'invaso con $\Delta t = 1.0 \pm 0.5$ mesi

Sismicità indotta in alta Val d'Agri

Sismicità registrata da luglio 2001 a dicembre 2012



SISMICITÀ CONTINUA INDOTTA DALL'INVASO DEL PERTUSILLO

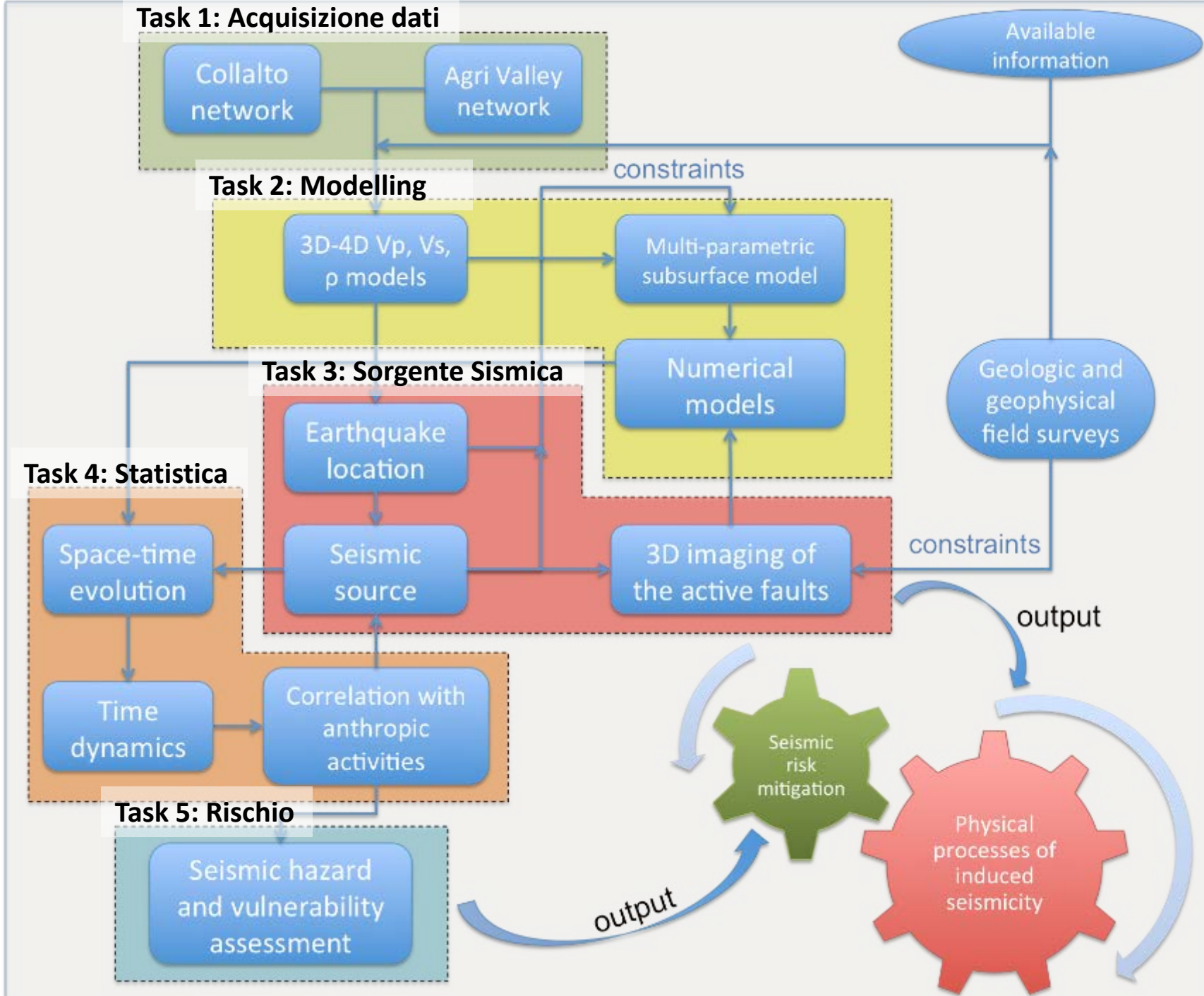
- Sismicità ($M_l \leq 2.7$) localizzata a Sud-Ovest dell'invaso del Pertusillo
- Correlata con le variazioni stagionali della colonna d'acqua
- Risposta ritardata rispetto alle variazioni stagionali dell'invaso con $\Delta t = 1.0 \pm 0.5$ mesi

SISMICITÀ INDOTTA DALLA REINIEZIONE DELLE ACQUE DI STRATO AL POZZO COSTA MOLINA 2

- Non correlata con le variazioni stagionali della colonna d'acqua
- Inizio della sismicità ($M_l \leq 2$) successivo all'avvio della re-iniezione (primo evento registrato dalla rete Eni dopo 4 giorni)
- Localizzata a Nord-Est dell'invaso del Pertusillo
- Si distribuisce su una faglia N310° che immerge a Nord-Est

Utilizzando i dati acquisiti in continuo da una densa rete temporanea dell'INGV installata in Alta Val d'Agri dal 5 maggio 2005 al 13 giugno 2006, Improta et al. (Geophys. Res. Lett., 2015) hanno dimostrato che la sismicità è iniziata 3 ore dopo l'inizio della reiniezione.

Metodologia



Risultati attesi

SCIENTIFICI

1. **Approcci innovativi per la discriminazione tra eventi sismici naturali ed indotti**
2. **Migliore comprensione del complesso sistema roccia, faglie e fluidi**
3. **Analisi dettagliata della sismicità indotta nei siti test e sua evoluzione spazio temporale**
4. **Pericolosità sismica, parametri ingegneristici e vulnerabilità**

SOCIO-ECONOMICI

1. **Importante contributo allo sviluppo di un protocollo italiano di “best practice” specifico per sito e tipologia di attività antropica**
2. **Vasto dataset acquisito in aree di interesse strategico**
3. **Nuovi elementi scientifici per la comprensione comune del fenomeno/problematica**



Consiglio Nazionale delle Ricerche

21 Dicembre 2015
CNR – Sede Centrale – Aula Convegni
P.le Aldo Moro, 7 - Roma

2015
CONFERENZA ANNUALE

Dipartimento Scienze del Sistema
Terra e Tecnologie per l'Ambiente

« I CAMBIAMENTI CLIMATICI SONO UN PROBLEMA GLOBALE
CON GRAVI IMPLICAZIONI AMBIENTALI, SOCIALI, ECONOMICHE,
DISTRIBUTIVE E POLITICHE, E COSTITUISCONO UNA DELLE
PRINCIPALI SFIDE ATTUALI PER L'UMANITÀ. »

PAPA FRANCESCO
LETTERA ENCICLICA "LAUDATO SI"

"LA RISPOSTA DELLA RICERCA CNR
ALLE SFIDE AMBIENTALI"

Grazie per la cortese attenzione