

Il monitoraggio sismico delle attività di sfruttamento del sottosuolo per la produzione di energia

Enrico Priolo



*Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale
Centro di Ricerche Sismologiche (CRS)
Trieste e Udine*



Idrocarburi e sismicità in Italia

Roma, 12 novembre 2014

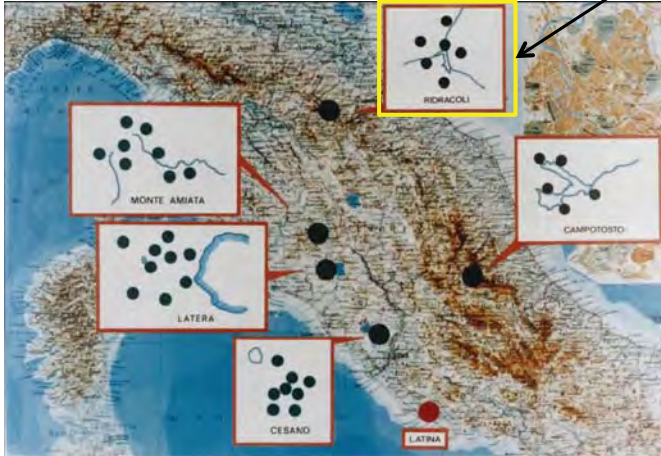
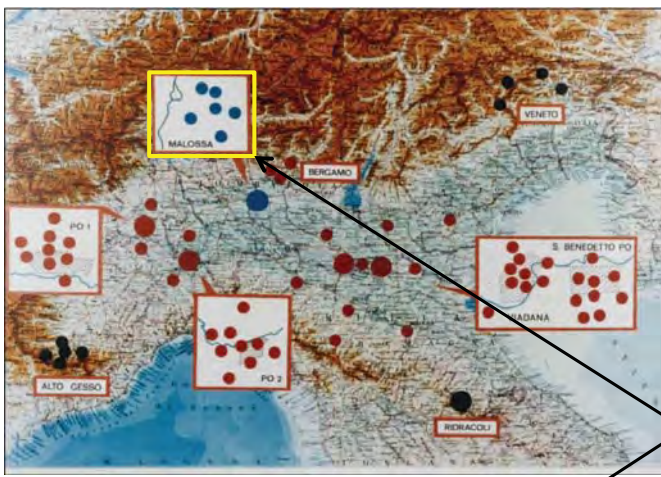
Sommario

- Le reti di monitoraggio sismico di attività di sfruttamento del sottosuolo in Italia:
 - ENEL,
 - ENI,
 - Stogit,
 - EDISON Stoccaggio (Rete di Collalto);
- Considerazioni sul monitoraggio sismico e sulla sismicità indotta/innescata;
- Conclusioni.

Le reti sismiche dell'ENEL

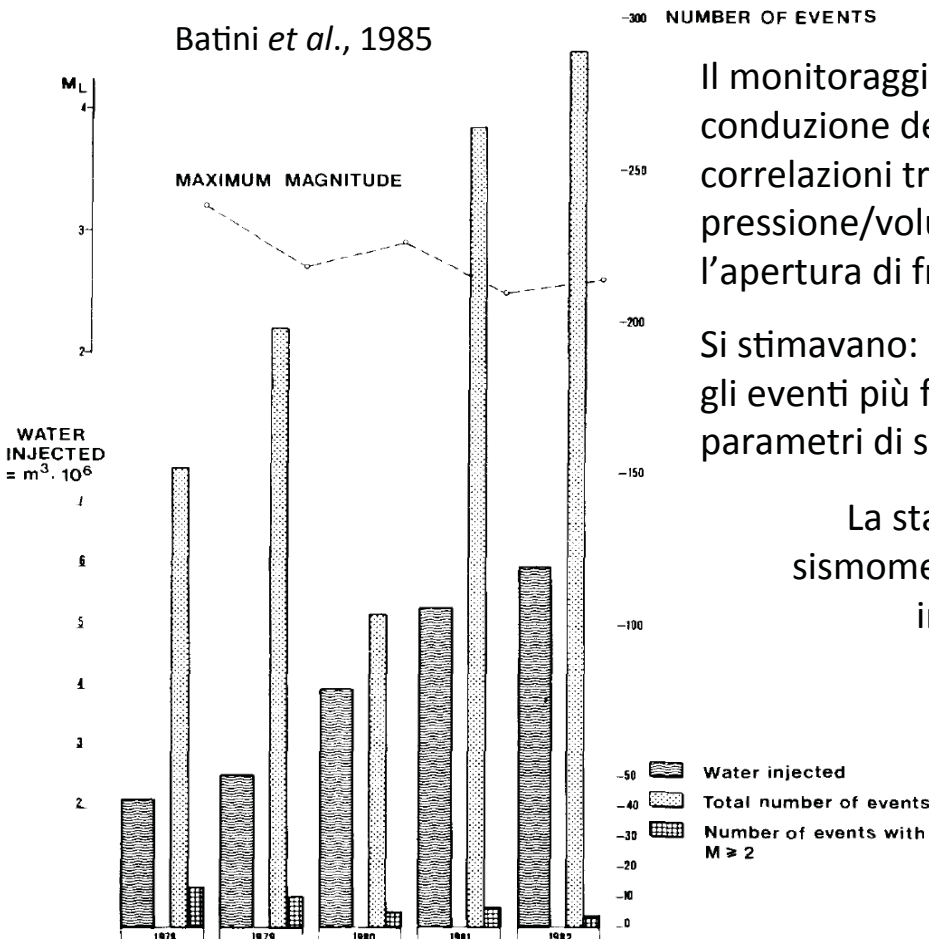
Reti locali ENEL nel periodo 1977-2000.
Impianti geotermici ed idroelettrici.
Gestite attraverso l'Unità Nazionale Geotermica e l'ISMES.

Reti gestite dall'ENEL ma di altra proprietà.



Da: Moia F. (2013). *Il monitoraggio sismico nei campi geotermici: esperienze in Italia e all'estero*.
Convegno su: *Pianificazione e utilizzo sostenibile della risorsa geotermica e termale*.
Regione Umbria. Perugia, 22 ottobre 2013.

Le reti sismiche dell'ENEL



Il monitoraggio serviva anche alla conduzione dell'impianto, per evidenziare correlazioni tra sismicità indotta e pressione/volume dei fluidi iniettati o l'apertura di fratture per stimolazione.

Si stimavano: ipocentro e magnitudo, e, per gli eventi più forti, meccanismo focale e parametri di sorgente.

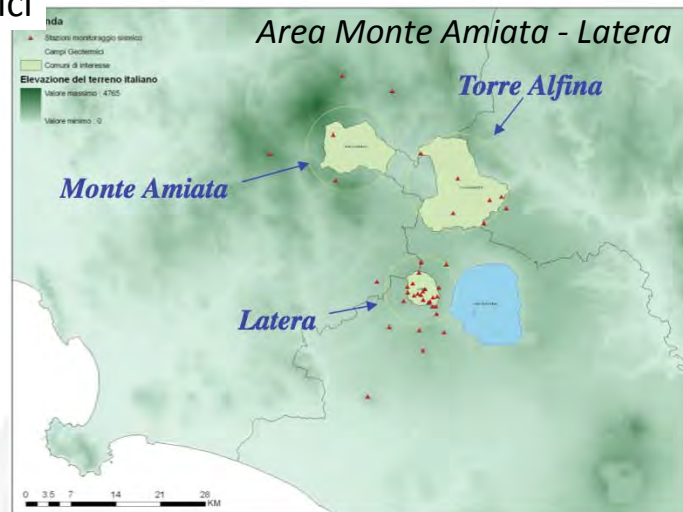
La stazione tipica era attrezzata con sismometri a corto periodo tradizionali installati in pozzetti superficiali.



Fig. 15. Comparison between water injected and seismicity, during the period 1978 – 1982.

Le reti sismiche dell'ENEL

Attualmente monitorati 5 campi geotermici

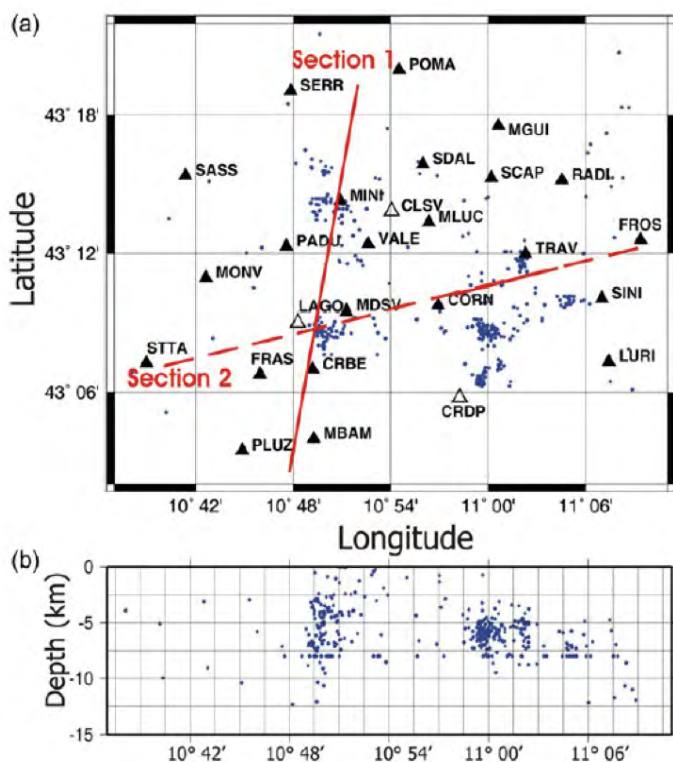


Campo geotermico	Numero stazioni	Tipologia sismometri	Tipo di trasmissione
Torre Alfina	8	SP Verticale	Radio
	1	SP 3-componenti	Cavo
Cesano	6	SP Verticale	Radio
	1	SP 3-componenti	Cavo
Latera	15	SP Verticale	Radio
	1	SP 3-componenti	Cavo
Monte Amiata	10	SP Verticale	Radio

Da: Moia F. (2013). *Il monitoraggio sismico nei campi geotermici: esperienze in Italia e all'estero*.
 Convegno su: *Pianificazione e utilizzo sostenibile della risorsa geotermica e termale*.
 Regione Umbria. Perugia, 22 ottobre 2013.



Le reti sismiche dell'ENEL



Campo geotermico di Larderello-Travale

Anno: 1976 → 1978 → oggi
 N. stazioni: 3 → 14 → 26

Alcuni risultati:

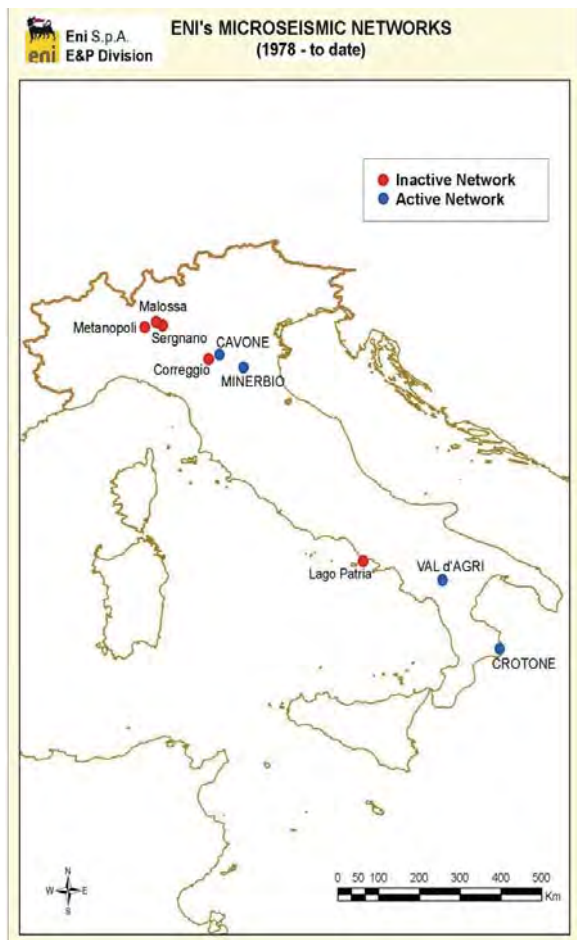
- sciame di micrososse a profondità 1-8 km correlati a strutture già individuate durante l'esplorazione;
- magnitudo modeste ($M_L < 2$) con valori massimi di 3.3 e 3.8;
- osservati sia fenomeni di causa-effetto sia sismicità apparentemente non correlata con le attività.

Da: Moia F. (2013). *Il monitoraggio sismico nei campi geotermici: esperienze in Italia e all'estero*.
 Convegno su: *Pianificazione e utilizzo sostenibile della risorsa geotermica e termale*.
 Regione Umbria. Perugia, 22 ottobre 2013.



Le reti sismiche dell'ENI

MONITORAGGI DI SITI PRODUTTIVI



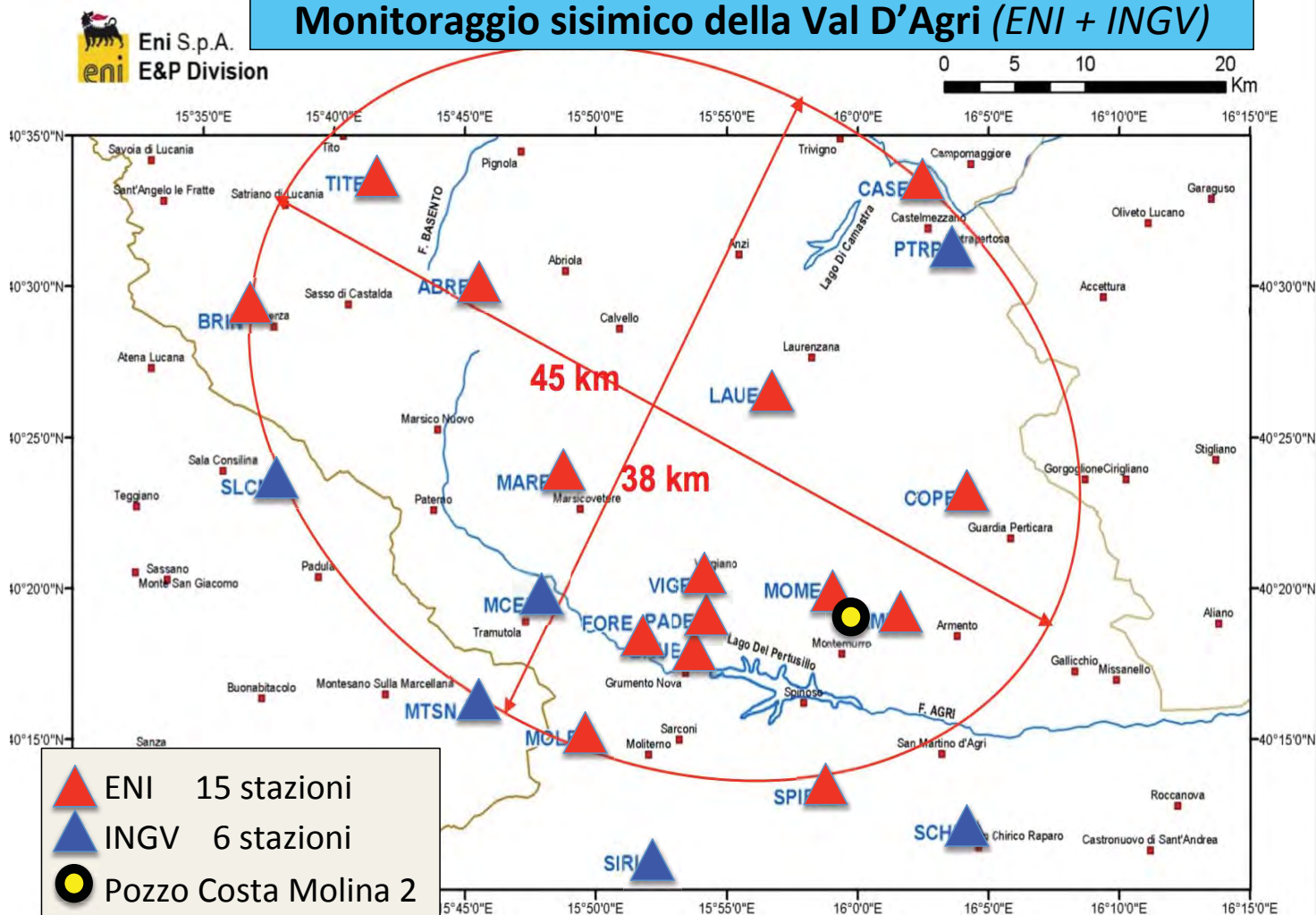
4 Attivi

5 Non più attivi

- Lago Patria (1978-1986) Geotermico
- Sergnano (1979-1980) Stoccaggio Gas
- Minerbio (1979 →) Stoccaggio Gas
- Cavone (1982 →) Olio+Re-iniezione
- Malossa (1984-1991) Olio+Re-iniezione
- Metanopoli (1986-1987) Geotermico
- Correggio (1991-2010) Gas
- Val d'Agri (2001 →) Olio+Re-iniezione
- Crotone (2003 →) Gas

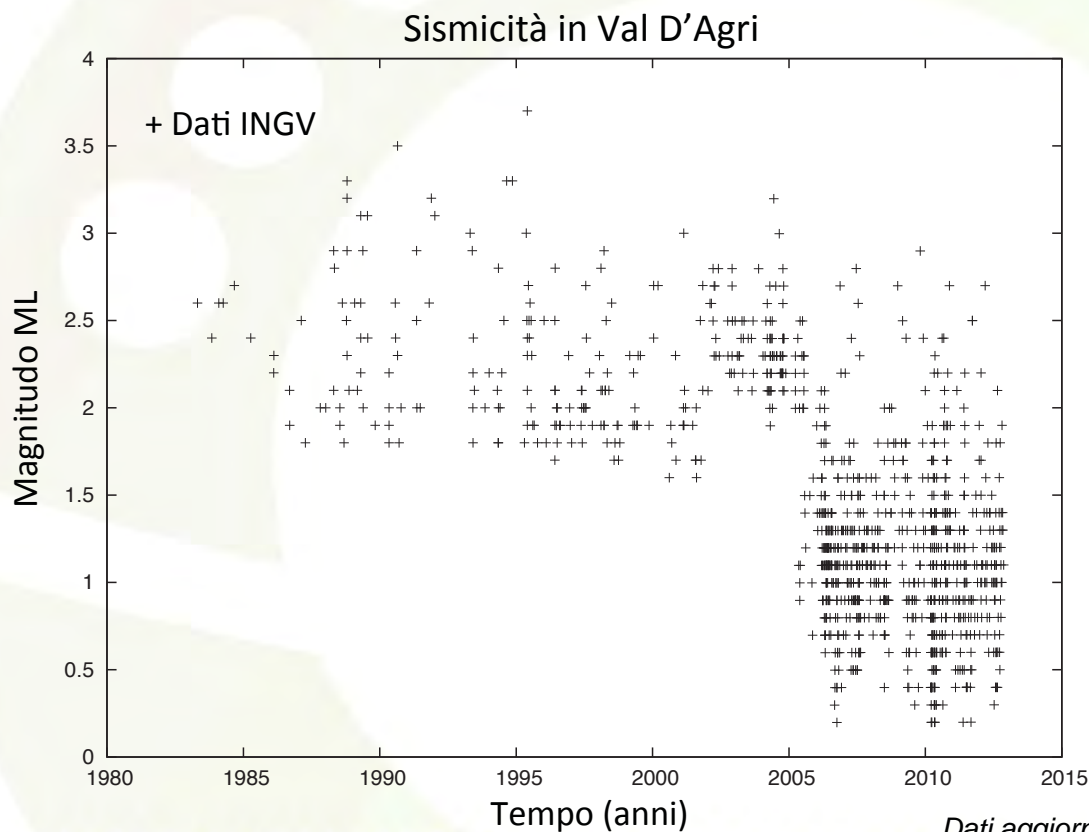
Reti composte da un numero variabile di stazioni (fino a max 38). Oggi attive 28.

Monitoraggio sismico della Val D'Agri (ENI + INGV)



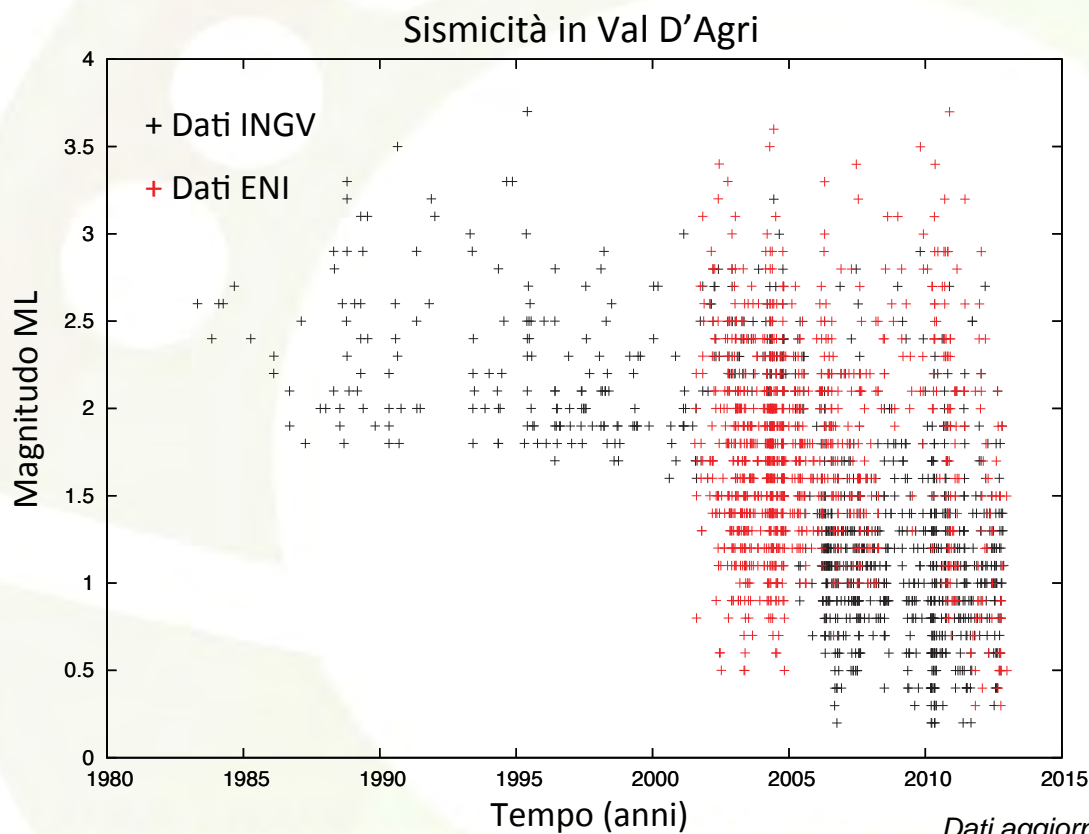
- ▲ ENI 15 stazioni
- ▲ INGV 6 stazioni
- Pozzo Costa Molina 2

Monitoraggio sismico della Val D'Agri (ENI + INGV)



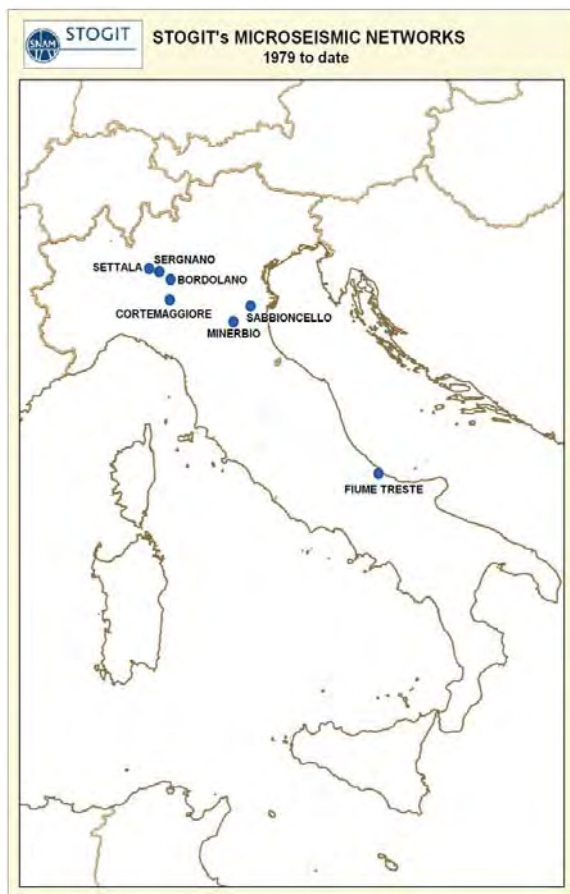
CATALOGHI SISMICI INGV ED ENI PER LA VAL D'AGRI - Tony Alfredo Stabile
Osservatorio Ambientale Val d'Agri 08 maggio 2013

Monitoraggio sismico della Val D'Agri (ENI + INGV)



CATALOGHI SISMICI INGV ED ENI PER LA VAL D'AGRI - Tony Alfredo Stabile
Osservatorio Ambientale Val d'Agri 08 maggio 2013

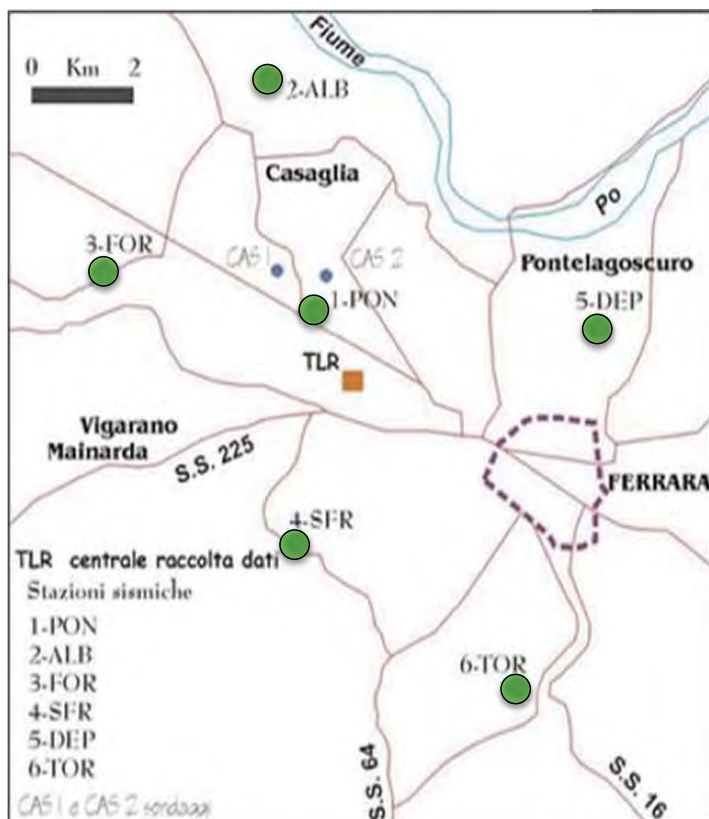
Le reti sismiche di STOGIT



MONITORAGGI DI STOCCAGGIO GAS

- Minerbio (1979 →)
 - Fiume Treste (2010 →)
 - Cortemaggiore (2010 →)
 - Settala (2011 →)
 - Serignano (2012 →)
 - Sabbioncello (2013 →)
 - Bordolano (2013 →)
- Attive 33 stazioni 3 comp., registratori 24 bit in continua.
 - A Fiume Treste, Settala, Sabbioncello, Serignano stringa di geofoni in pozzo profondo (circa 1200 m).

La rete sismica di Casaglia



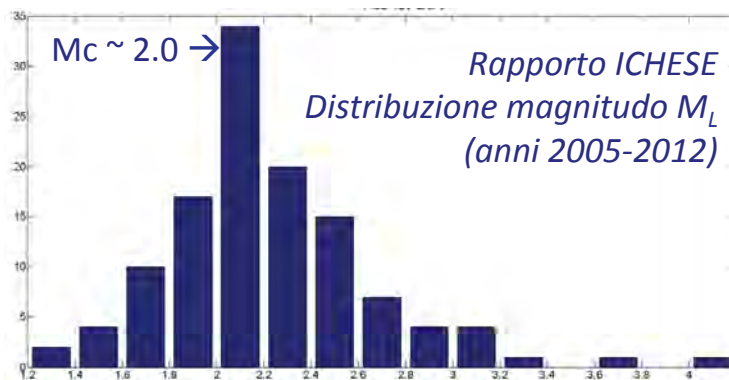
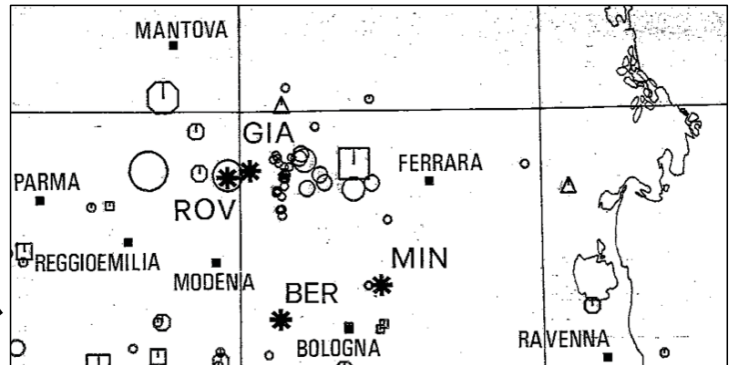
- Impianto geotermico per il teleriscaldamento dell'area Ovest di Ferrara (gestito da HERA spa);
- Rete di proprietà del Comune di Ferrara e gestita dall'Università di Ferrara;
- Attiva dal 1990;
- 6 stazioni a corto periodo con sensori in pozzo superficiale;
- Suolo di pianura, di qualità scadente ed elevato rumore antropico.

Considerazioni (retrospettive) sulle reti

La sensibilità delle reti non era elevata ($M_c \sim 2-2.5$). Venivano rilevati tutti gli eventi deboli più importanti, ma l'informazione sulla microsismicità di basso livello era scarsa. Quindi era difficile stabilire un controllo preventivo sulle attività.

Ad esempio, i dati prodotti dalle reti di Cavone e Minerbio negli anni 1986-1990 mostrano $M_L \geq 2.0$ e circa $M_c \sim 2.2-2.5$

Studio microsismico dell'OGS (Rebez, 1991) →



La scarsa completezza dei dati di microsismicità è probabilmente una delle cause delle difficoltà che la Commissione ICHESE ha incontrato per valutare la sussistenza di connessioni tra le attività e il terremoto del 2012.

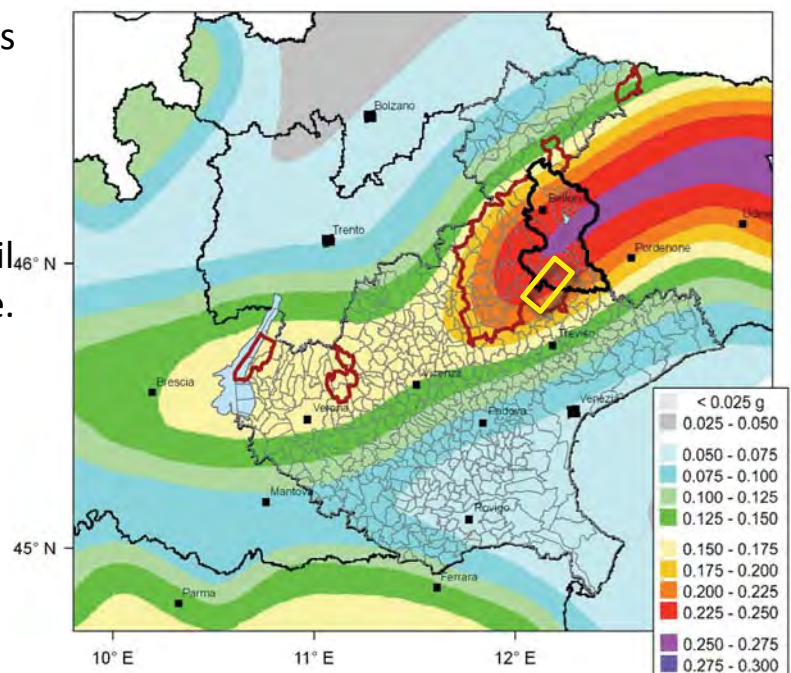
Rete Sismica di Collalto

Concessione per lo stoccaggio del gas naturale "Collalto Stoccaggio", gestita da Edison Stoccaggio.

Prescrizioni ministeriali di monitoraggio imposte per utilizzare il deposito fino alla pressione originale.

Rete operativa dal 1/1/2012.

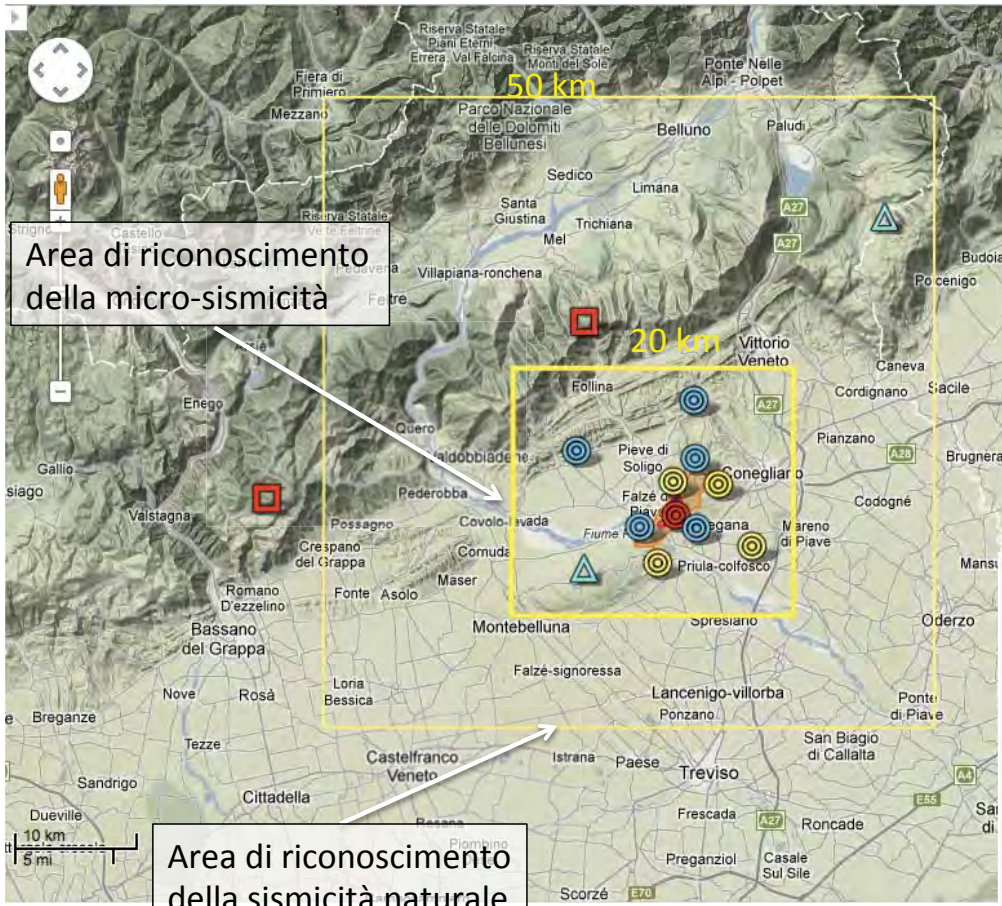
Area con pericolosità sismica media-alta (0.2-0.25 g).



OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO:

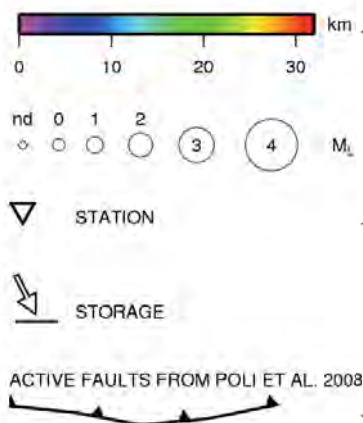
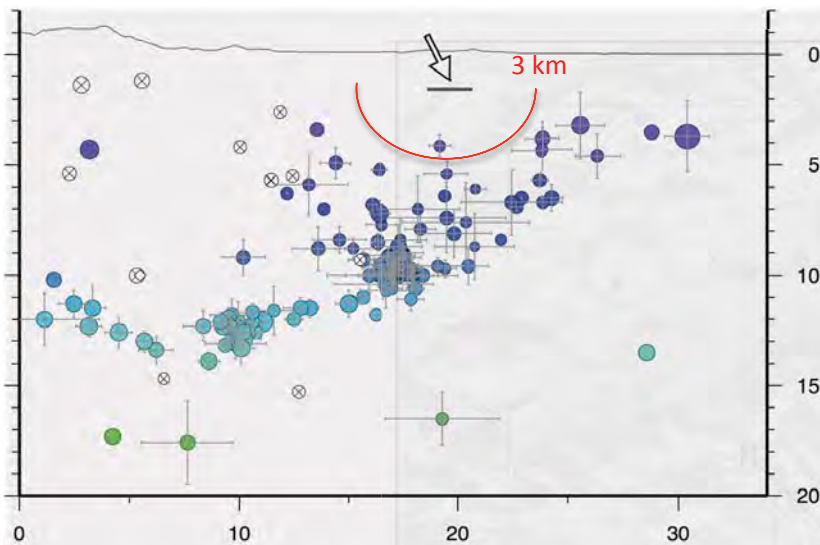
- sismicità naturale, e
- micro-sismicità nel volume prossimo all'attività di stoccaggio (riconoscendo tutti i terremoti in un intervallo di magnitudo compreso tra 0 e 1).

Rete Sismica di Collalto

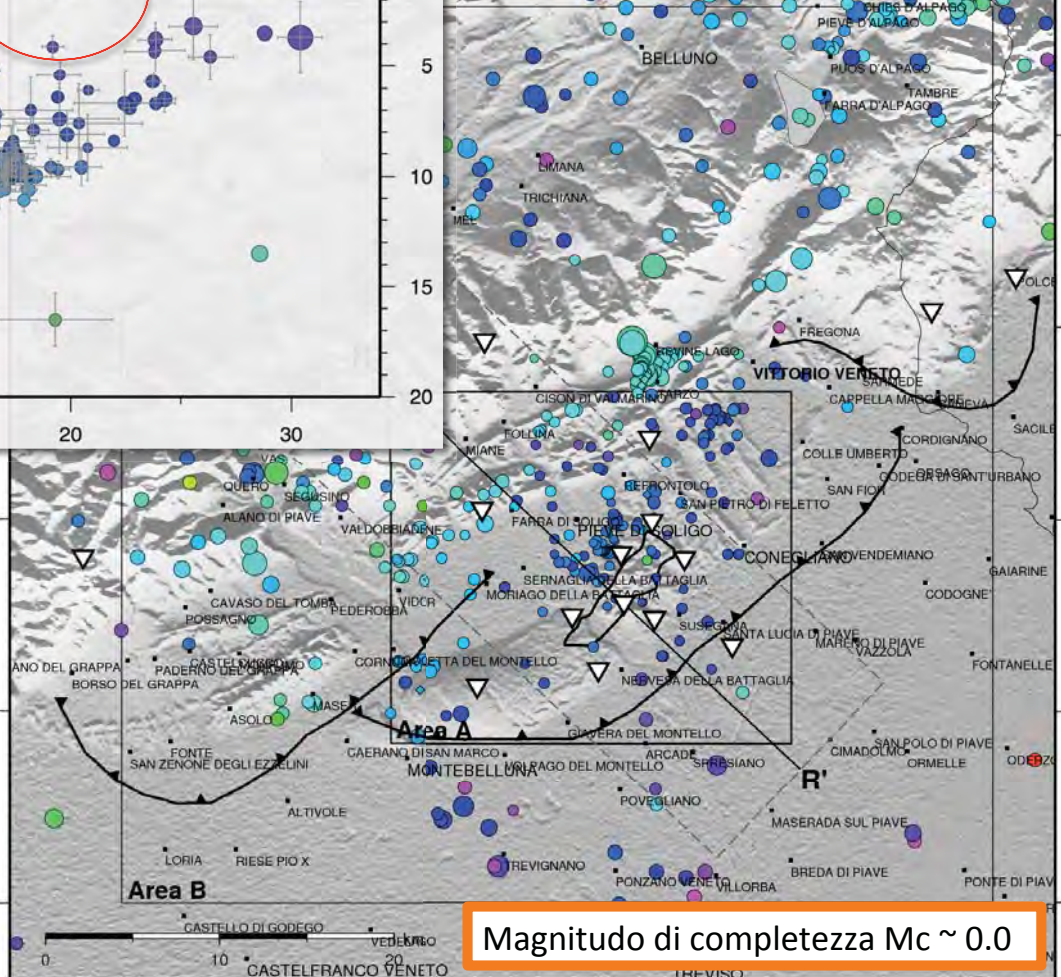


Scavo per sensore broad-band

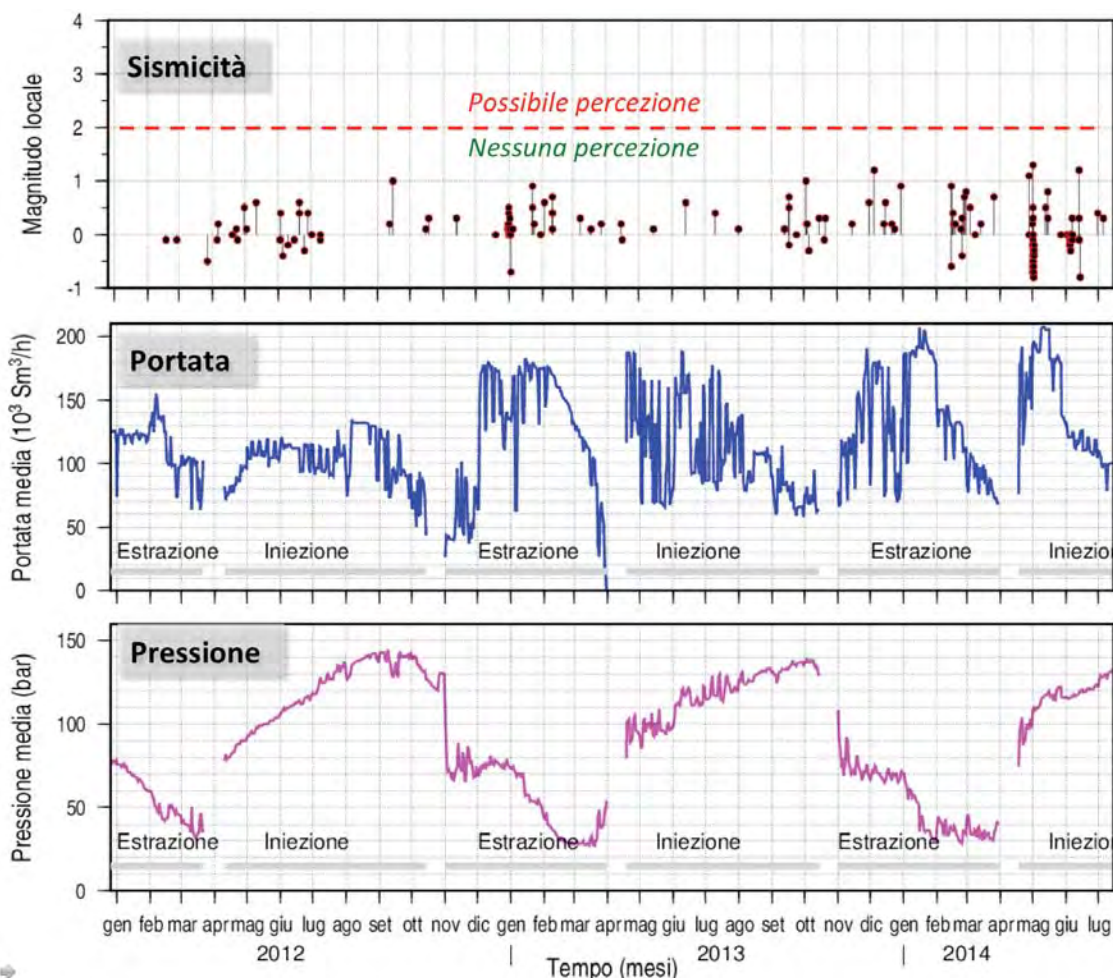
- RETE COLLALTO**
- Sismometro in pozzo
 - Sismometro in pozzo + accelerometro
 - Sismometro very broad-band in pozzo + accelerometro
- RETE PERMANENTE DELL'OGS**
- Sismometro a corto periodo
 - Sismometro broad-band + accelerometro



Sismicità 1/2012-9/2014



Reti Sismica di Collalto - Sismicità e attività di stoccaggio



Rete Sismica di Collalto

Distribuzione e pubblicazione dati



SITO WEB: rete-collalto.crs.inoqs.it

- Info e riferimenti generali
- Meta-dati e grafici
- Rapporti scientifici sull'attività
- Documentazione scientifica

**Accesso libero a tutti i dati di
forme d'onda continue attraverso
il sito OASIS:**

**OASIS – The OGS Archive System
of Instrumental Seismology**

OGS, in accordo con Edison Stoccaggio, **rende pubblici** tutti i dati e le informazioni ed è impegnata per favorire la divulgazione delle informazioni scientifiche.

Rete Sismica di Collalto

La Rete Sismica di Collalto è **la prima rete pubblica realizzata in Italia** con prescrizioni ministeriali per il monitoraggio sismico dell'attività di stoccaggio del gas.

OGS, Edison Stoccaggio e Regione Veneto hanno redatto un **documento congiunto in cui sono definite le procedure** di controllo, intervento e trasmissione dei risultati

Per la prima volta in Italia



Il monitoraggio sismico oggi

Fino a pochi anni fa il monitoraggio sismico era utilizzato dalle compagnie per:

- rilevare la sismicità a scopo conoscitivo interno;
- ottimizzare le attività stesse.

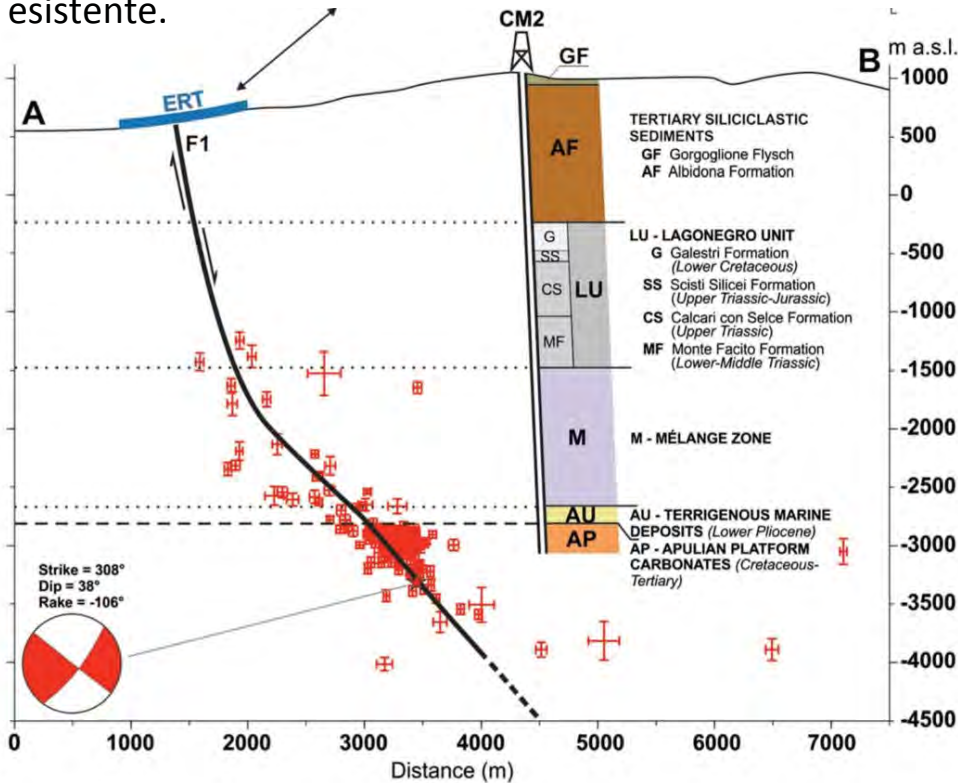
Oggi, il monitoraggio è richiesto dal pubblico (cittadinanza, amministratori locali e enti governativi) per questioni di:

- Informazione: conoscere meglio il proprio territorio, anche in termini sismici;
- Sicurezza: controllare la sismicità indotta nell'area prossima alle attività, stabilire eventuali correlazioni con l'attività svolta;
- Responsabilità: stabilire eventuali responsabilità in caso di terremoto.

Una migliore informazione limita anche l'insorgere di notizie o ipotesi false.

Sismicità indotta/innescata

Stabile et al., GRL, 2014 – Micro-terremoti si manifestano a ca. 1.3 km dal pozzo di Costa Molina 2 dopo 4 giorni l'inizio delle iniezioni. Caratteristiche diffuse della sismicità indotta. In realtà si tratta di innescamento di piccoli terremoti su una faglia esistente.



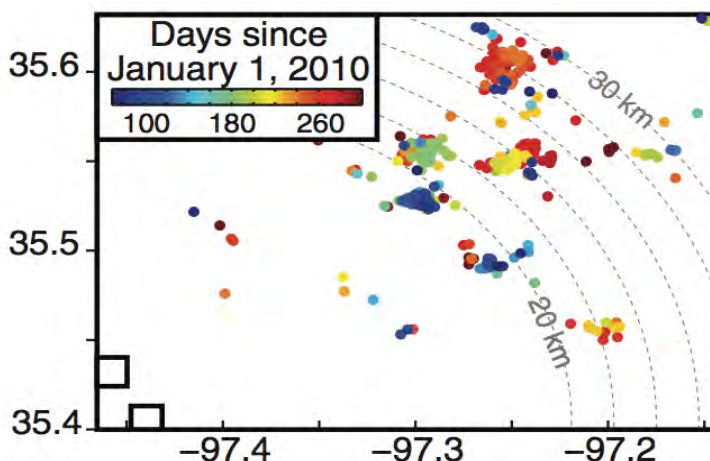
Loro considerazioni:
 ... necessità di sviluppare una rete sismica più densa, magari con sensori in pozzo ... per arrivare a magnitudo di completezza negativa, che è essenziale per comprendere i processi a piccola scala ... e ad effettuare analisi statistiche.

Sismicità indotta/innescata

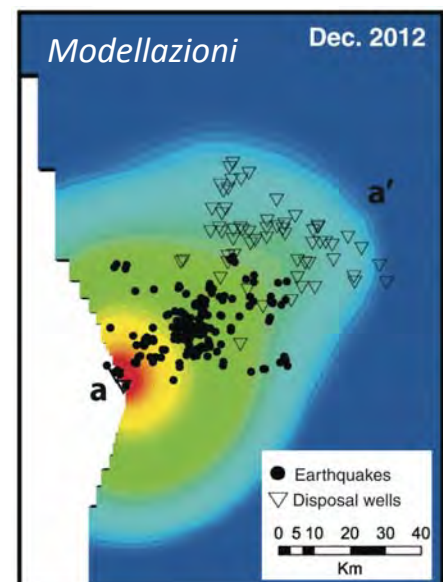
Kearanen et al., Science, 2014 – Gli intensi sciami sismici in Oklahoma (max Mw 5.7) nel 2011-2012 sono causati dalla migrazione dei fluidi dai pozzi di reiniezione a elevata portata. Le modellazioni mostrano che è verosimile che la sismicità sia stata innescata dopo molti mesi a quasi 30 km dai pozzi di reiniezione.

I primi terremoti (pochi) si verificarono vicino ai 2 pozzi di reiniezione più grossi, ma il primo vero sciame sismico si verificò a ca. 15 km di distanza dopo alcuni mesi.

Sismicità rilevata

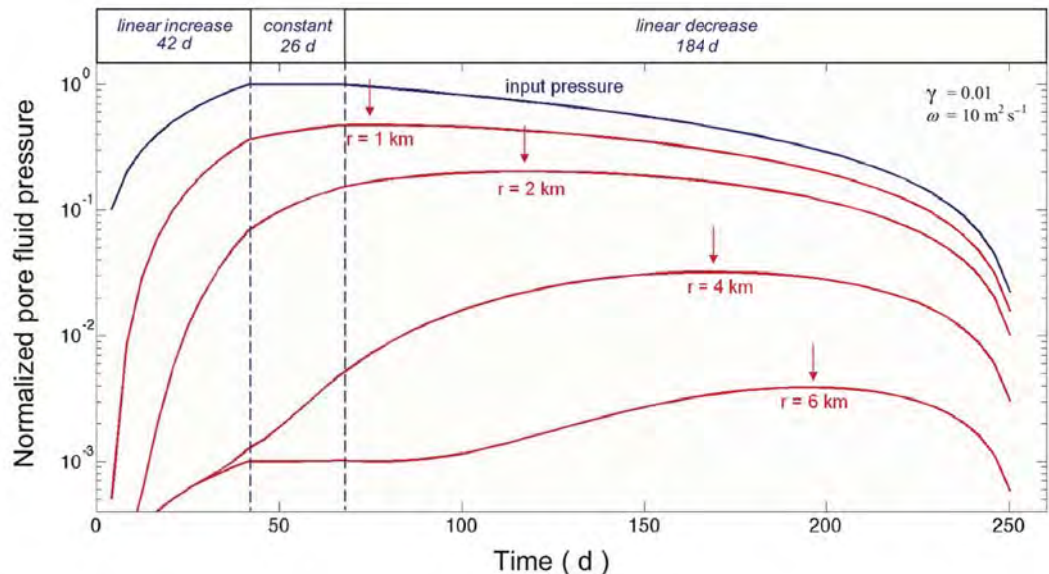


Modellazioni



Sismicità indotta/innescata

Mulargia & Bizzarri, GRL, 2014 - L'iniezione di fluidi nel sottosuolo alle pressioni tipiche delle attività genera onde lente di stress che si propagano lungo percorsi caratterizzati da condizioni drenate. Queste perturbazioni possono arrivare a faglie prossime alla rottura dopo settimane o mesi o anni e dare l'innescò a terremoti, anticipandoli.



Domanda:

Esistono fenomeni “sismici” che evidenziano questa propagazione lenta di perturbazioni di stress a distanze intermedie?

Finalità del monitoraggio sismico

Lo scopo primario del monitoraggio è quello di generare una base completa di dati osservati alla scala di interesse.

Il monitoraggio con strumenti posti in superficie è indispensabile sia per limitare i costi sia per riconoscere al contempo la sismicità indotta e quella naturale.

La sismicità indotta è un fenomeno diffusivo. E' dunque necessario riconoscere la micro-sismicità nel volume circostante le attività e fare in modo che questa, qualora si manifesti, resti circoscritta.

Aumentando la sensibilità del monitoraggio si possono rilevare in anticipo eventuali fenomeni indotti e avere più margine di intervento.

Con la rilevazione completa di tutti gli eventi tra magnitudo 0 e 1, è possibile:

- avere alcuni giorni per fare analisi;
- avere un volume di sismicità ancora ristretto;
- avere margine per poter prendere decisioni per soglie di magnitudo 2-2.5.

Conclusioni

L'Italia ha una importante, seppur poco nota, tradizione di monitoraggio sismico delle attività di sfruttamento del sottosuolo.

Nel passato, fatta eccezione per le dighe, il monitoraggio sismico era un scelta aziendale interna.

Oggi c'è maggiore consapevolezza del fatto che gran parte del territorio italiano è esposto ai terremoti. In conseguenza vi è diffusa preoccupazione sulla possibilità che le attività svolte favoriscano l'innescò di terremoti forti.

Solo una gestione trasparente delle operazioni di monitoraggio fa percepire quanto viene fatto e quanto realmente accade. E ciò rende maggiormente accettabili, e dunque sostenibili, le attività svolte sul territorio.

Con opportuni accorgimenti (numero adeguato di stazioni, sensori a banda estesa, installazioni in pozzo, dati in continuo) i monitoraggi possono riconoscere meglio e con anticipo i fenomeni di micro-sismicità eventualmente indotti e dare margine per intervenire sulle attività.

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento a:

- **Marco Mileti, Lorenzo Barzagli, Maria Flora Ferulano dell'ENI** per avermi fornito il materiale che descrive l'attività di monitoraggio sismico svolta da ENI e Stogit;
- **Marco Mucciarelli e Alessandro Rebez dell'OGS**, rispettivamente per le informazioni sul monitoraggio svolto da ISMES-ENEL e dall'OGS per la rete di Minerbio, nonché a **Laura Peruzza e Adelaide Romano** per alcune elaborazioni e suggerimenti;
- **Fabio Moia di RSE**, dalla cui presentazione ho tratto ampi spunti e materiale per descrivere l'attività di monitoraggio dell'ENEL.

Bibliografia

- Batini, F., Console, R., Luongo, G., 1985. Seismological study of Larderello-Travale geothermal area. *Geothermics*, 14 (2–3), 255–272.
- Keranen K. M. , M. Weingarten, G. A. Abers, B. A. Bekins, S. Ge (2014). Sharp increase in central Oklahoma seismicity since 2008 induced by massive wastewater injection. *Science*, **345**, 448-451; DOI: 10.1126/science.1255802
- Moia F. (2013). Il monitoraggio sismico nei campi geotermici: esperienze in Italia e all'estero. Convegno su: *Pianificazione e utilizzo sostenibile della risorsa geotermica e termale*. Regione Umbria. Perugia, 22 ottobre 2013.
- Mulargia F. & A. Bizzarri (2014). Anthropogenic Triggering of Large Earthquakes. *Scientific Reports*, 4 : 6100, doi: 0.1038/srep06100.
- Priolo E. , M. Romanelli, M. P. Plasencia Linares, M. Garbin, L. Peruzza, A. Romano, P. Marotta, P. Bernardi, L. Moratto, D. Zuliani, and P. Fabris (in press). Seismic monitoring of an underground natural gas storage facility – the Collalto Seismic Network. *Seism. Res. Lett.* (accepted).
- Rebez A. (1991). Studio microsismico a reti unificate dei giacimenti di Cavone e Minerbio – Relazione conclusiva. OGS, Trieste; REL/91-24/SIM-02/18.06.1991
- Stabile T. A. (2013). *Cataloghi sismici INGV ed ENI per la Val D'Agri*. Osservatorio Ambientale Val d'Agri, 08 maggio 2013.
- 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, doi:10.1002/ 2014GL060948.