



IL MONITORAGGIO SISMICO DELLE ATTIVITÀ DI PRODUZIONE IDROCARBURI IN VAL D'AGRI

Thomas Braun, Stefania Danesi

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
thomas.braun@ingv.it – stefania.danesi@ingv.it

Abstract – Nel sottosuolo della Val D'Agri (Basilicata) è collocato il più grande giacimento di idrocarburi continentale (a terra) Europeo, che viene sfruttato a partire degli anni 90 da un concessionario multinazionale. Su proposta del MISE la Val D'Agri è stata inserita tra i siti pilota per la sperimentazione degli Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro per le aree interessate delle attività antropiche. Per monitorare un'eventuale influenza delle attività produttive sull'attività sismica locale o la deformazione del sottosuolo, dal 2017 l'INGV è stato incaricato dal MiTE (ex MiSE) di mettere in atto un sistema congiunto di monitoraggio geofisico, che oggi può essere considerato il più avanzato d'Italia per il settore.

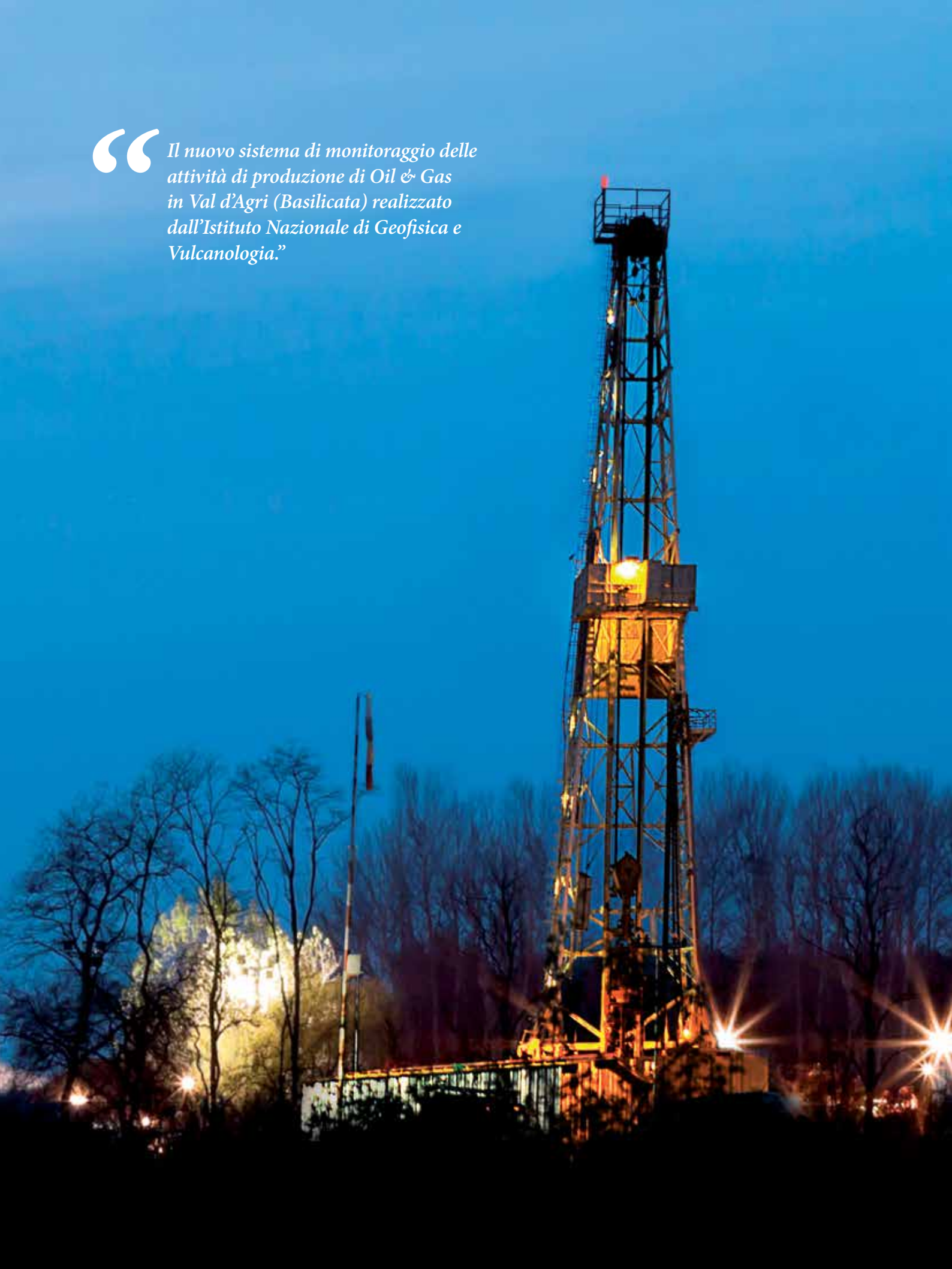
Parole chiave: produzione idrocarburi, Val d'Agri, monitoraggio sismico, linee guida MISE, INGV, Basilicata

1. Introduzione

In Italia l'attività sismica viene monitorata da un sistema di monitoraggio centralizzato, gestito dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. La cosiddetta "Sala Sismica", a Roma, acquisisce in tempo reale i segnali provenienti dai sismografi di più di 500 stazioni installati in tutto il territorio nazionale. In caso di terremoto analizza i dati e comunica l'ipocentro e la magnitudo dell'evento nell'arco di pochi minuti al Dipartimento di Protezione Civile Nazionale e attraverso i propri canali social. In questa maniera il cittadino viene informato in tempo quasi-reale dell'attività sismica per tutti gli eventi percepiti. La soglia al di sopra della quale un evento sismico viene percepito dall'uomo è funzione della profondità ipocentrale e della magnitudo. Per eventi sismici molto superficiali, ossia che si verificano nella crosta superiore, la magnitudo minima percepita è generalmente $M > 2$. Alcune zone dell'Italia sono caratterizzate dalla presenza di una elevata microsismicità (eventi sismici di bassa magnitudo al di sotto della percezione umana) che tuttavia forniscono informazioni preziose sulle faglie attive nel sottosuolo. Reti sismiche fisse

molto dense installate in aree di maggior interesse di studio, come per esempio nelle aree vulcaniche, o lungo la faglia Altotiberina (rete TABOO, Chiaraluce et al., 2014), consentono di "visualizzare" in tre dimensioni la microsismicità presente nel volume crostale sottostante. Dall'inizio del 2018, anche in Val d'Agri è operativa una rete sismica molto densa, composta da 57 stazioni sismiche, a cui si aggiungono una rete di stazioni utili al monitoraggio delle pressioni di poro e delle deformazioni superficiali (GPS e INSAR). Perché tutto questo? Andiamo per ordine. Il 20 e il 29 maggio del 2012 due forti terremoti con magnitudo $M=6.1$ e $M=5.9$ colpirono la regione Emilia Romagna. Le vittime furono 27 e per i forti danni (intensità massima $I_0=VIII$) 15000 persone furono costrette ad essere evacuate. Il fatto che gli epicentri di tali scosse fossero stati localizzati nell'immediata vicinanza di attività produttiva di Oil & Gas sollevò il dubbio che le variazioni dei parametri di stress dovute alle attività di produzione potessero aver influenzato la generazione di tali terremoti. Per approfondire le cause del sisma, il Dipartimento di Protezione Civile nominò una commissione internazionale di ricercatori,

“Il nuovo sistema di monitoraggio delle attività di produzione di Oil & Gas in Val d'Agri (Basilicata) realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.”



chiamata commissione ICHESE (International Commission on Hydrocarbon Exploration and Seismicity in the Emilia region), che nel 2014 pubblicò un dettagliato report di quasi 300 pagine (ICHESE, 2014). Le conclusioni di tale rapporto tecnico affermavano (p. 195): “La commissione ritiene altamente improbabile che le attività di sfruttamento di idrocarburi a Mirandola e di fluidi geotermici a Casaglia possano aver prodotto una variazione di sforzo sufficiente a generare un evento sismico indotto. L'attuale stato delle conoscenze e l'interpretazione di tutte le informazioni raccolte ed elaborate non permettono di escludere, ma neanche di provare, la possibilità che le azioni inerenti allo sfruttamento di idrocarburi nella concessione di Mirandola possano aver contribuito a innescare l'attività sismica del 2012 in Emilia”. Il successivo studio con modellistica geomeccanica e le prove di campo previste nel Protocollo Cavone diedero poi una risposta definitiva nell'escludere che le attività antropiche avessero contribuito ad innescare l'attività sismica (Dahm et al., 2015; Albano et al., 2017). Sempre nel 2014, su iniziativa dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) fu compilato un rapporto sullo stato delle conoscenze riguardo alle possibili relazioni tra attività antropiche e sismicità indotta/innescata in Italia. Tale report riportava casi documentati e/o ipotizzati di sismicità innescata/indotta legati a diverse attività antropiche (Miniera, Idrocarburi estrazione/iniezione, Geotermia, Bacino Idrico), tra le quali anche un piccolo sciame sismico (magnitudo massima $M=1.7$), associato alle attività di re-iniezione di acque di strato nel pozzo Costa Molina 2 (Montemurro, Basilicata) ed un altro sciame legato al bacino idrico artificiale del Lago Pertusillo sempre in Basilicata (Fig. 1).

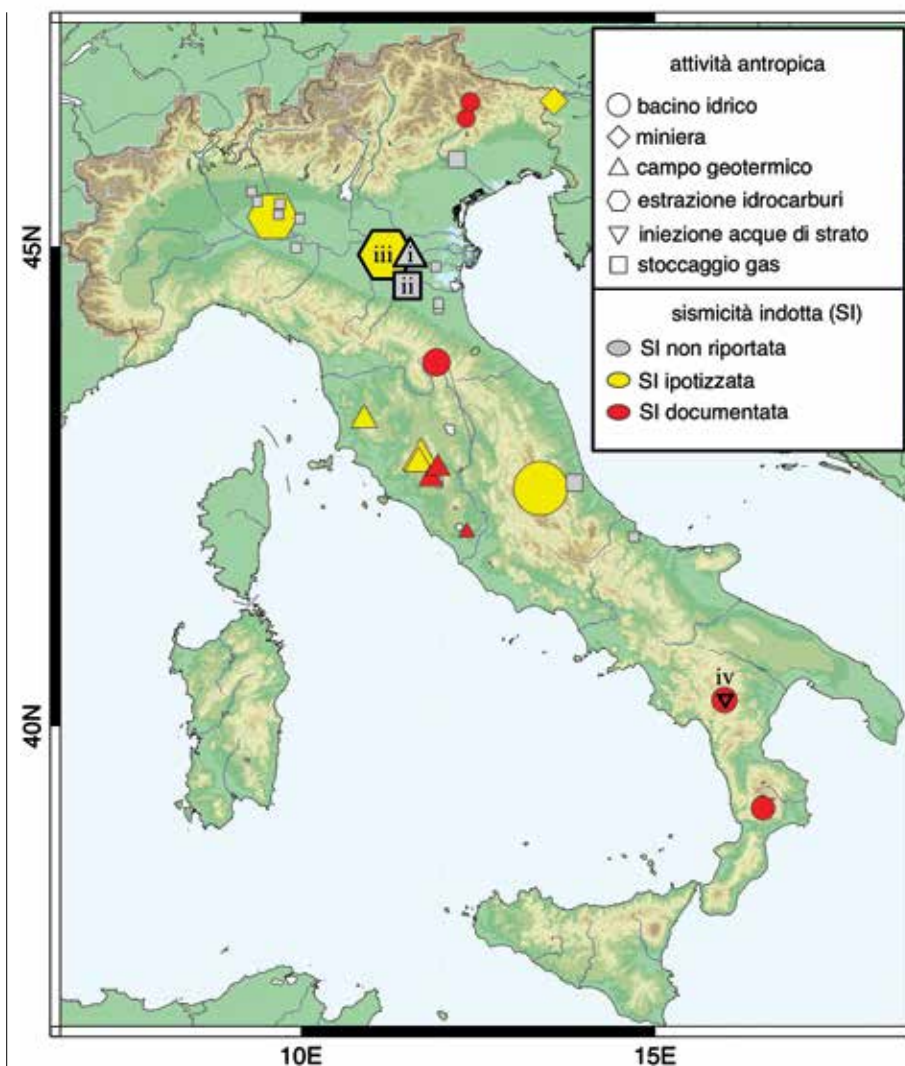


Fig. 1: Episodi di sismicità indotta/innescata in Italia. I simboli gialli e rossi (dimensionati secondo la massima magnitudo registrata) rappresentano rispettivamente casi ipotizzati e documentati nel rapporto tecnico dell'ISPRA (2014). I simboli grigi indicano alcuni siti di stoccaggio di gas in cui non è stata osservata alcuna sismicità. Per la Val d'Agri (iv) la tab. 1 del rapporto ISPRA (2014) riporta il bacino idrico del Pertusillo (cerchio rosso) e l'attività di re-iniezione di acque di strato nel pozzo CM2, come documentata/ipotetica causa della sismicità registrata (da Braun et al., 2020a).

Sulla base di questi documenti il Ministero per lo Sviluppo Economico (MiSE) ha incaricato un gruppo di lavoro per redigere i cosiddetti ILG - Indirizzi e le Linee Guida per il monitoraggio della sismicità delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche (Dialuce et al., 2014). Su indicazione della commissione ICHESE (2014), il MiSE ha proposto di applicare gli ILG in maniera sperimentale alle concessioni di Minerbio (stoccaggio di gas), Casaglia (Geotermia) e Cavone (produzione idrocarburi e re-iniezione delle acque di strato).

Nel 2017 il MISE ha esteso l'elenco delle concessioni soggette alla sperimentazione anche alla Val d'Agri perché nel sottosuolo della Basilicata sono presenti i giacimenti continentali di petrolio con gas associato più estesi d'Europa. In Val d'Agri l'ENI estrae idrocarburi a partire dagli anni novanta dai pozzi di produzione dei campi di Cerro Falcone, Monte Alpi e Monte Enoc (attualmente facenti parte della Concessione Val d'Agri); recentemente, anche la TOTAL ha iniziato ad estrarre idrocarburi dall'adiacente campo Tempa Rossa della concessione Gorgoglione.

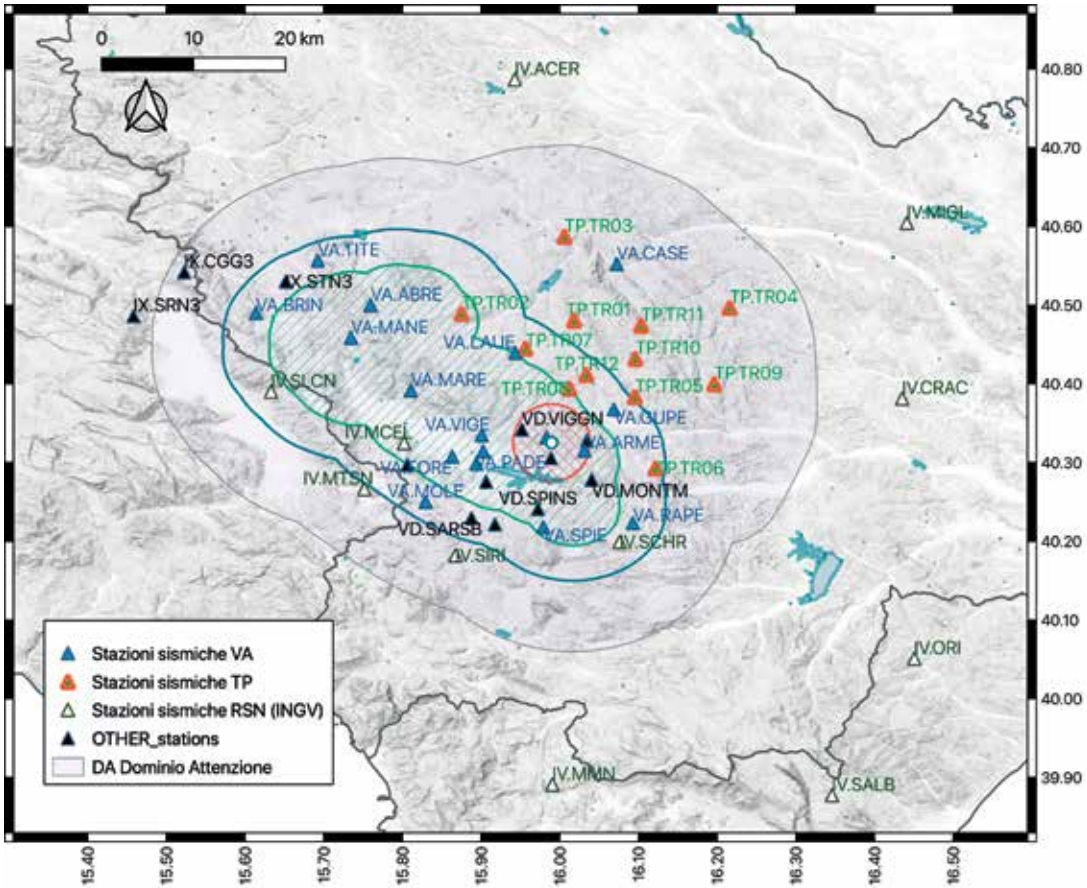


Fig. 2: Mappa delle stazioni sismiche attive nell'area in esame (triangoli), i cui dati sono acquisiti in real-time presso il Centro Acquisizione Dati di Bologna. In blu le stazioni della rete VA (Eni spa); in rosso/verde le stazioni della rete TP (Total Spa); in bianco/nero le stazioni della Rete Sismica nazionale IV (INGV); in nero le stazioni di altre reti pubbliche (GFZ, CNR, ISNet). I perimetri dei Domini Interno, Esteso, di Attenzione e di Riferimento intorno al pozzo di re-iniezione Costa Molina 2 (CM2) sono delimitati rispettivamente in verde, blu, grigio e rosso (da Braun et al., 2022).

La Val d'Agri, d'altronde, si trova in una delle aree con la più alta pericolosità sismica in Italia. Nel dicembre 1857 un terremoto di magnitudo stimata $M \sim 7$, uno dei terremoti più forti della storia dell'Italia, ha colpito la Val d'Agri e il Vallo del Diano, provocando la morte di almeno 11000 persone. L'alto rischio sismico presente in Basilicata, sovrapposto all'alto interesse di sfruttamento industriale dei suoi giacimenti di idrocarburi, ha motivato la scelta di dotare la Val d'Agri di un sistema di monitoraggio geofisico che può essere considerato tra i più avanzati d'Italia.

2. Che cosa prevedono gli ILG?

Gli ILG regolano le modalità di monitoraggio delle pressioni di poro, della sismicità e della deformazione del sottosuolo nelle aree di sfruttamento di georisorse, stabilendo ruoli e responsabilità di sicurezza e tutela tra soggetti (pubblici e privati) coinvolti nell'attività industriale. Per applicare le prescrizioni

e raccomandazioni definite negli ILG il MiSE nomina una "Struttura Preposta al Monitoraggio" (SPM), un compito che nel caso della Val d'Agri è stato assegnato all'INGV. Nel caso della Val d'Agri l'attività industriale consiste sia nell'estrazione di petrolio con gas associato, sia nella re-iniezione delle acque di strato che arrivano in superficie durante il processo di produzione. Parte di questi volumi d'acqua vengono re-iniettati nel giacimento attraverso un pozzo riconvertito dalla produzione, chiamato Costa Molina 2, ubicato nel comune di Montemurro (cerchietto blu in Fig. 2).

Per quanto riguarda il monitoraggio sismico, in base alla distribuzione geografica dei pozzi di produzione, vengono definiti i domini di monitoraggio, che sono indicati in Fig. 2 e Fig. 4 come DI - Dominio Interno di rilevazione (linea verde) e DE - Dominio Esteso (linea blu). Tali domini vengono estesi fino ad una profondità, rispettivamente, di 8 e 13 km.



Viene inoltre definito un Dominio di Rilevamento (DR), che si definisce come volume cilindrico con un raggio di 5 km intorno al pozzo CM2, fino ad arrivare ad una profondità di 8 km. Solo nel caso di attività di re-iniezione di fluidi nel sottosuolo, l'attuale versione degli ILG propone l'adozione in via sperimentale del sistema decisionale a semaforo, composta da 4 livelli (0-3) (vedi Fig. 5).

3. Su quali dati si basa il monitoraggio della Val d'Agri?

Il monitoraggio sismico in Val d'Agri si basa sulla ricezione al Centro Acquisizione Dati-Bologna, CAD-BO, dei dati provenienti in tempo reale da 6 reti sismiche (vedi Fig. 2): oltre alle stazioni dell'INGV (IV), del CNR (VO), di ISNET (IX e GEOFON (GE) vengono acquisiti anche i segnali messi a disposizione dai concessionari di Tempa Rossa (TP) e della Val d'Agri (VA). Oltre i dati sismici l'ENI fornisce alla SPM:

- i dati di produzione dall'inizio delle operazioni nel campo di Val d'Agri (volume estratto/tassi di produzione, pressione di poro), di tutti i pozzi, alla risoluzione temporale più alta possibile (almeno giornaliera);
- dati di iniezione di acque di formazione a Costa Molina2 (portata, volumi, pressione): la risoluzione temporale è fornita con il maggiore dettaglio possibile.
- coordinate dei pozzi di produzione e di iniezione;
- catalogo di eventuali faglie identificate da rilievi geologici e studi di carattere geologico-strutturale.

Alcuni di questi dati sono protetti da vincoli di confidenzialità.

4. Funzionamento del CMS

Come per altri servizi di monitoraggio (come ad esempio il Centro Allerta Tsunami - CAT, il Centro



Fig. 3: Foto della stazione multi-parametrica Armento di ultima generazione, con alimentazione a pannelli solari e batterie. La stazione è composta da GPS (basso a sx), sismografo a breve periodo (cilindro rosso) e accelerometro cubo rosso, installato su un plinto di cemento scollegato dalle pareti dello scantinato. Per garantire un ottimo isolamento termico, entrambi i sensori sismici sono installati all'interno di un pozzetto di cemento armato e vengono poi coperti da polistirolo (da Danesi et al., 2020).

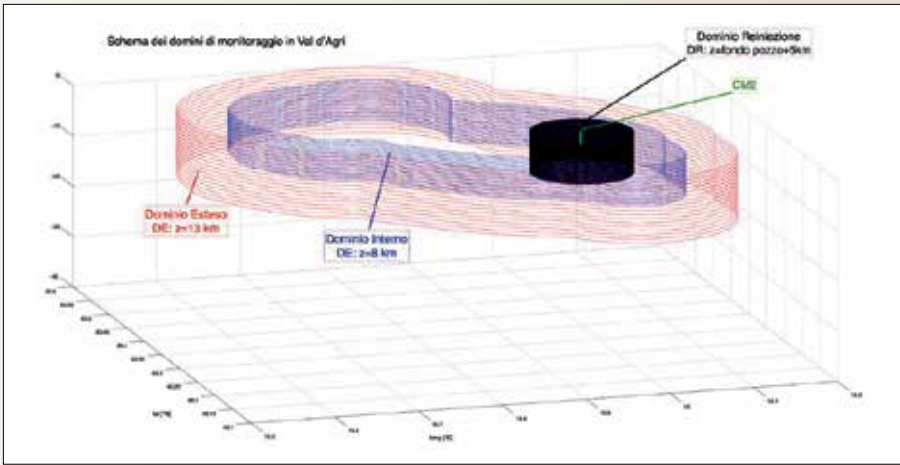


Fig. 4: Schema tridimensionale dei domini di Monitoraggio DE (blu), DI (rosso), DR (nero) (da Danesi et al., 2021).

Monitoraggio delle Eolie - CME, il Centro Pericolosità Vulcanica - CPV e il Centro Pericolosità Sismica - CPS), l'INGV ha istituito il Centro di Monitoraggio delle attività del Sottosuolo (CMS) per organizzare in maniera efficace le attività di monitoraggio delle singole concessioni. Il CMS svolge le seguenti attività:

- Monitoraggio della sismicità, deformazioni del suolo e delle pressioni di poro secondo gli ILG.

(ii) dei metodi di monitoraggio e valutazione dei rischi attesi.

- Divulgazione dei risultati di monitoraggio nel rispetto delle direttive indicate negli ILG.

Il CMS dispone di un CAD-BO dedicato, ubicato presso la Sezione INGV di Bologna, che provvede all'immagazzinamento dei dati di monitoraggio su scala nazionale e ne supporta l'analisi, curando affidabilità, backup, manutenzione e

di reperibilità coordinato a scala nazionale, che coinvolge personale afferente ai progetti di monitoraggio del Centro.

5. Compiti della Struttura Preposta al Monitoraggio - SPM

In caso di superamento di uno o più dei parametri sismici di magnitudo massima, PGA o PGV, per eventi localizzati all'interno del DR, scattano i livelli del sistema a semaforo (Fig. 5), che comportano specifiche azioni da parte degli attori preposti al monitoraggio, comprese eventualmente la riduzione, e in casi particolari la sospensione, delle attività di produzione industriale (per dettagli vedi Dialuce et al., 2014). Il compito della SPM consiste nel controllo giornaliero dei parametri di monitoraggio della sismicità (parte sinistra della Fig. 6):

- Controllo manuale della sismicità rilevata tramite il sistema di detezione automatica da parte di un operatore;
- rilocalizzazione degli eventi sismici e cancellazione dal catalogo dei falsi eventi;
- calcolo della magnitudo
- aggiornamento del database;
- compilazione e disseminazione del bollettino.

Nel caso in cui all'interno del volume DR si verifichi un evento sismico con Magnitudo $M \geq 1.5$ vengono ricalcolati l'ipocentro, PGV e PGA e in base allo schema illustrato in Fig. 5, viene stabilito il livello di allerta del sistema a semaforo.

In caso che si confermasse il superamento del livello 0 (verde), si passa al Livello di attivazione 1 (attenzione, colore giallo); le azioni da intraprendere sono le seguenti (parte destra di Fig. 6):

- a. La SPM informa immediatamente il Concessionario, l'UNMIG e la Regione.

- b. La SPM provvede ad analizzare i segnali del monitoraggio con cadenza giornaliera e a fornire consulenza al Concessionario e agli Enti sopra menzionati.
- c. Il Concessionario provvede a fornire i dati di produzione/iniezione/stoccaggio con cadenza possibilmente oraria, comunque al massimo giornaliera, nonché le eventuali ulteriori informazioni a sua disposizione, al fine di consentire alla SPM di studiare le variazioni riscontrate in relazione alle attività di produzione, re-iniezione o stoccaggio in corso, e verificare, se i dati a disposizione lo consentono, l'occorrenza di eventuali correlazioni.
- d. Se sussistono le condizioni per effettuare in tempi utili analisi di correlazione tra le variazioni dei parametri monitorati e le attività di coltivazione/stoccaggio in corso, e l'esito è negativo, cioè non si rilevano correlazioni, si rientra nel Livello di attivazione 0 (ordinarietà, colore verde). Se invece l'esito è positivo, l'UNMIG, la Regione e il Concessionario, ciascuno per quanto di propria responsabilità e sulla base delle analisi della SPM, stabiliscono se ridurre progressivamente (Livello di attivazione 2, colore arancione) o sospendere (Livello di attivazione 3, colore rosso) le attività di produzione/re-iniezione/stoccaggio in corso.

Per le azioni previste relative ai vari livelli di allerta si consiglia di consultare gli ILG (Dialuce et al., 2014).

6. Commenti sulla sismicità registrata in Val d'Agri

Sulla base delle conoscenze specifiche inerenti alla sismicità storica in Basilicata, con terremoti forti che nel passato recente (1857) hanno raggiunto la Magnitudo $M=7$

Livello di attivazione	Semaforo	M_{max}	PGA (%g)	PGA (cm/s)
0	Verde	$M_{max} \leq 1.5$	-	-
1	Giallo	$M_{verde} \leq M_{max} \leq 2.2$	0.5	0.4
2	Arancio	$M_{giallo} \leq M_{max} \leq 3.0$	2.4	1.9
3	Rosso	$M_{arancio} < M_{max}$	6.7	5.8

Fig. 5: Intervalli o valori indicativi dei parametri di monitoraggio rilevati DI da utilizzare come riferimento per la definizione delle soglie. Sono definiti i seguenti parametri: magnitudo massima (M_{max}) accelerazione di picco al suolo (PGA) e velocità di picco al suolo (PGV), (da Dialuce et al., 2014).

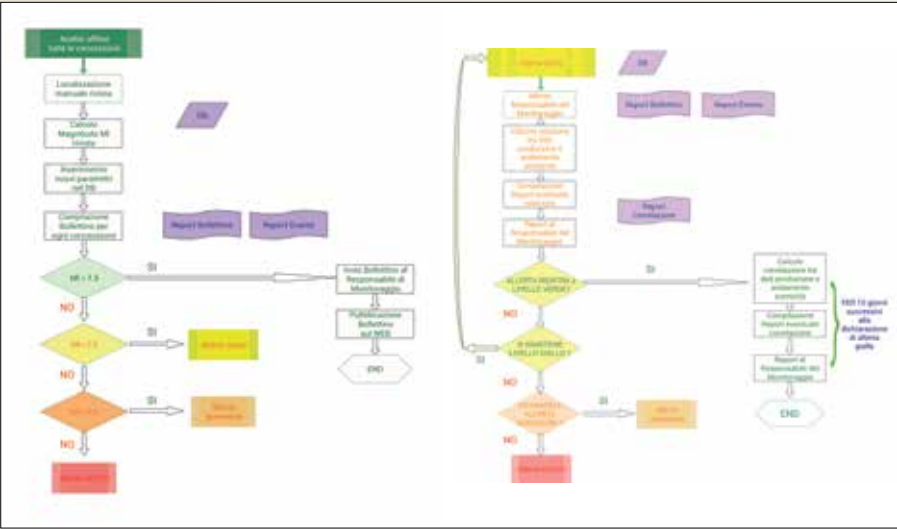


Fig. 6. Diagrammi di flusso che descrivono le attività del turnista sismologo nel caso di situazione ordinaria (verde) e in caso di allerta (giallo) in accordo con quanto previsto dagli ILG (da Braun et al., 2020b).

- Formazione del personale coinvolto nelle attività di monitoraggio, compresa l'organizzazione di corsi di formazione e di aggiornamento tecnico.
- Sviluppi metodologici per lo sviluppo delle conoscenze circa (i) i fenomeni geofisici legati alle attività antropiche o naturali e

funzionamento. La raccolta dei dati di monitoraggio del CMS è intenzionalmente distinta e completamente indipendente dall'acquisizione dei dati della Rete Sismica Nazionale (RSN) che invece avviene presso la sede centrale INGV di Roma. Le attività di monitoraggio del CMS prevedono un servizio

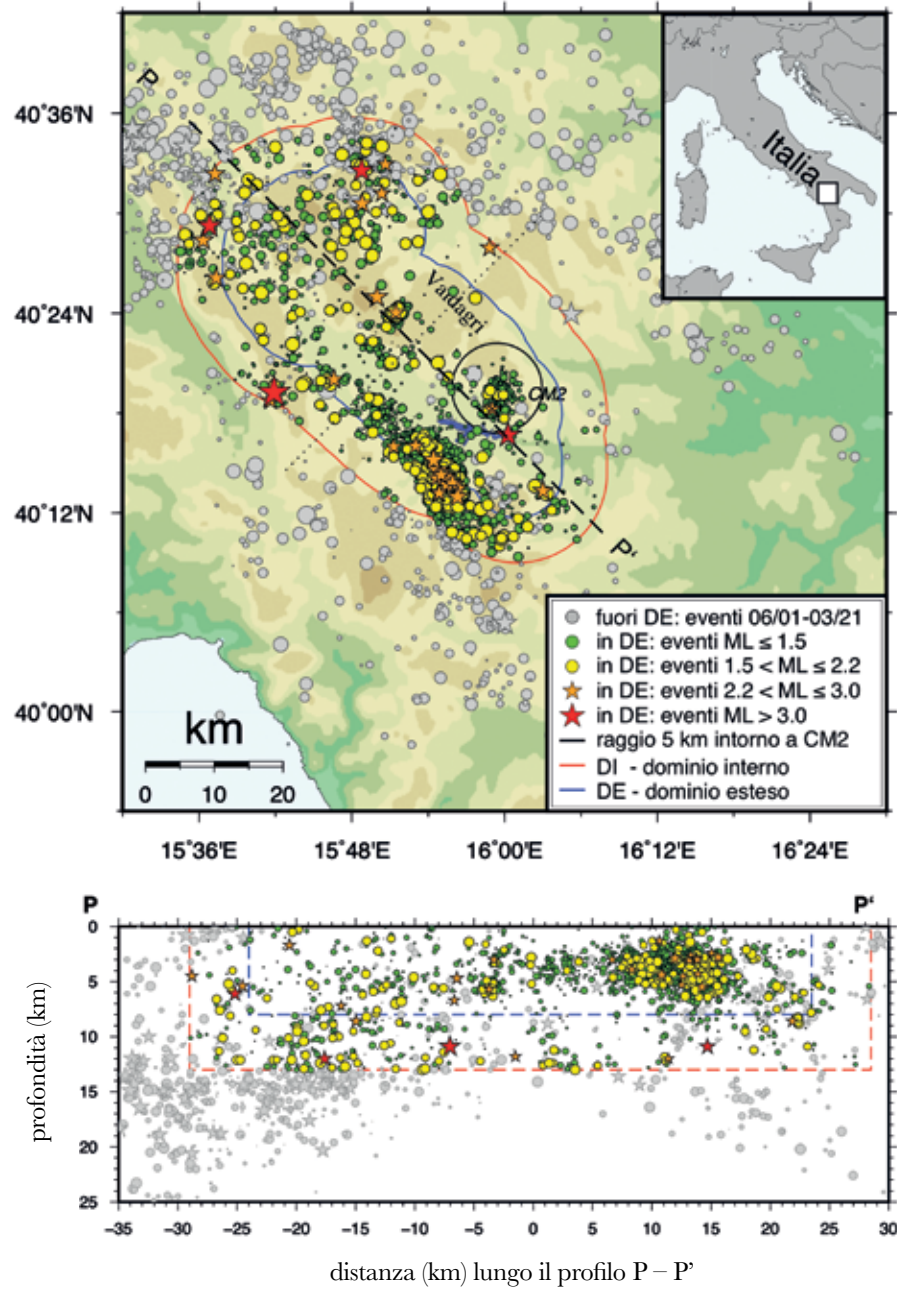


Fig. 7. Ipocentri dei bollettini ENI di eventi locali e regionali (periodo 06/2001 a 03/2021) illustrati in (a) mappa e (b) lungo il profilo P-P, classificati rispetto a DI/DE. I simboli grigi e colorati rappresentano rispettivamente eventi esterni e interni al DI/DE (per i colori vedi legenda) (da Braun et al., 2022).

diamo uno sguardo alla recente sismicità registrata in Val d'Agri negli ultimi decenni. Con l'inizio dell'estrazione degli idrocarburi nel 2001, l'ENI aveva installato una rete sismica per monitorare la sismicità locale nell'area estesa del giacimento. Tali dati sono stati a disposizione dell'INGV (ma anche di altri enti scientifici e delle amministrazioni) per una congiunta valutazione, insieme a

dati provenienti da altre reti sismiche regionali e nazionali. La fig. 7 mostra gli eventi sismici localizzati nel periodo 2001-2021 dalla rete ENI, (a) come proiezione in superficie (epicentri) e (b) come ipocentri, proiettati lungo il profilo P - P'. La dimensione dei cerchi e asterischi è proporzionale alla magnitudo dell'evento. Simboli colorati rappresentano eventi con localizzazioni

all'interno dei DE, DI, DR, mentre simboli grigi sono esterni a tali domini. Gli eventi più forti (asterisco rosso si sono verificati tutti all'interno del DE, quindi al di fuori del dominio soggetto all'applicazione del sistema a semaforo. L'evento maggiore, con Magnitudo $M=4.2$, si è verificato nella regione sudovest della Val d'Agri, nei Monti della Maddalena (MMFS), ed è stato analizzato in dettaglio in uno studio recente (Lopez-Comino et al., 2021). Negli ultimi decenni si sono verificate alcune sequenze sismiche nell'area a SW del Pertusillo; in particolare nel 1996 e nel biennio 2006-07. La più recente, è stata oggetto di pubblicazioni scientifiche (es. Valoroso et



Lago del Pertusillo.

al., 2009, Stabile et al., 2014) che hanno evidenziato una possibile correlazione tra la sismicità e le variazioni stagionali dei volumi di riempimento dell'invaso del lago Pertusillo. Associata all'estrazione degli idrocarburi c'è anche quella delle acque provenienti dal giacimento, si è presentata quindi la necessità della gestione di tali fluidi. Per la re-iniezione delle acque di strato nel giacimento, a partire dal 2006 è stato appositamente adibito un ex-pozzo di produzione, chiamato Costa Molina 2 (CM2), che arriva ad una profondità di 3000 m. Con l'inizio dell'attività di re-iniezione delle acque di strato si è immediatamente verificata microsismicità nelle vicinanze del CM2. Tale sismicità è stata oggetto di vari studi, come per

esempio Improta et al., 2015; Improta et al, 2017; Hager et al., 2021. I risultati significativi possono essere riassunti come segue:

- Improta et al. (2015) riportano che la microsismicità è indotta da una comunicazione rapida delle perturbazioni delle pressioni di poro lungo una zona di faglia di alta permeabilità, orientata in maniera favorevole rispetto al campo di stress locale. Tale fenomeno si è evidenziato nei primi anni della re-iniezione ed è andato a diminuire nel corso del tempo anche per una riduzione precauzionale dei valori di portata della stessa re-iniezione.

- Hager et al. (2021) confermano che il tasso di sismicità aumenta in maniera repentina con l'aumentare della pressione e, sulla base di simulazioni numeriche, concludono che soltanto volumi di fluidi iniettati con portata maggiore di 2500 m^3/day porterebbero a incrementi significativi del rateo di sismicità. Questo risultato ha motivato il concessionario a stabilire il volume massimo giornaliero di re-iniezione ad un valore di sicurezza, attualmente stabilito a 2000 m^3/day .
- A seguito della decisione di ENI di non superare i valori di portata indicati, nell'ultimo decennio all'interno del DR non si sono più verificati eventi che abbiano superato il livello 0 (verde).

7. Considerazioni finali

A conclusione dei primi 36 mesi di sperimentazione degli ILG in Val d'Agri, sulla base dei dati e delle elaborazioni fin qui condotte dalla SPM, si possono trarre alcune considerazioni relativamente ai traguardi già raggiunti e alle azioni che ci auspichiamo si possano intraprendere nel prossimo futuro: sono state raggiunte le finalità definite negli ILG, vale a dire la definizione di sistemi di monitoraggio opportunamente calibrati per la sorveglianza degli effetti riconducibili ad attività antropiche e la trasparenza e la modalità di diffusione dei risultati del monitoraggio. La sperimentazione in Val d'Agri ha consentito di realizzare un sistema di sorveglianza sismica pienamente operativo, che attualmente permette di acquisire in tempo reale i dati di una rete sismica integrata di 57 stazioni pubbliche e private che insistono nell'area e di localizzare tutta la microsismicità a partire da Magnitudo $ML=0.2$ (0.3) che si verifica all'interno del DI (DE). Il numero di stazioni presenti e la sensibilità della rete integrata presente consente di affermare che si tratta di un unicum in Italia e nel mondo per il monitoraggio sismico delle attività antropiche. Dal 2021, inoltre, la SPM ha istituito un sistema di sorveglianza con turni di reperibilità di un sismologo addestrato all'elaborazione quotidiana dei dati acquisiti e alla compilazione di un bollettino giornaliero della sismicità registrata nel Dominio Interno (DI) ed Esteso (DE). Limitatamente alle serie temporali esaminate nel biennio 2020-2022, si può affermare che la sismicità localizzata nel Dominio di Riferimento (DR) di raggio 5 km intorno al pozzo di re-iniezione ha mantenuto valori di magnitudo $ML < 1$; la sismicità di fondo dell'area, attivata principalmente dal sistema di faglie MMFS, ha mantenuto

caratteristiche coerenti rispetto agli anni precedenti. Relativamente allo studio delle deformazioni del suolo nel Dominio Interno, le misure geodetiche di precisione fin qui condotte confermano che il campo locale di velocità è generalmente coerente con il campo regionale, rappresentando la distensione tettonica appenninica in atto. Limitatamente alla disponibilità attuale di serie temporali GPS, non si evidenziano deformazioni ascrivibili all'attività estrattiva. Si auspica che la realizzazione della rete geodetica possa essere realizzata come da



Fig. 8. Il sito <http://cms.ingv.it> è raggiungibile altresì dal portale istituzionale INGV.

pianificazione per procedere al consolidamento dei risultati ottenuti. I risultati dell'analisi InSAR non hanno mostrato evidenze dimdeformazioni del suolo indotte dalle attività di sfruttamento del sottosuolo nell'area di concessione Val d'Agri. Sono stati invece rilevati alcuni pattern deformativi, nelle zone montuose circostanti, ascrivibili a fenomeni di natura franosa. Nel periodo del monitoraggio di competenza della SPM, i parametri di iniezione al pozzo Costa Molina 2

si sono mantenuti su livelli di regime, in linea con i livelli precauzionali raccomandati da modellazioni teoriche. L'applicazione degli ILG con l'implementazione delle reti sismiche e di deformazione del suolo che ne seguono i dettami tecnici, così come il monitoraggio delle pressioni di poro e il supporto dei dati disponibili/studi eseguiti nell'area, permettono oggi di avere attivo in Val d'Agri un sistema di monitoraggio geodinamico complessivo che permette di avere un quadro aggiornato del rischio sismico associato alle attività antropiche

(coltivazione idrocarburi) e delle eventuali azioni da adottare. Tutto in un quadro di trasparenza e di condivisione delle informazioni. È stato realizzato, infatti, un sito web dedicato (<http://cms.ingv.it>, Fig. 8) raggiungibile anche dal portale nazionale dell'INGV che, in ottemperanza a quanto richiesto all'art. 8 degli ILG, garantisce che siano disseminate al pubblico informazioni generali e di dettaglio sulle attività di monitoraggio presso le singole concessioni.

Riferimenti bibliografici

Albano M., S. Barba, G. Tarabusi, M. Saroni & S. Stramondo (2017). Discriminating between natural and anthropogenic earthquakes: insights from the Emilia Romagna (Italy) 2012 seismic sequence. *Scientific Reports* 7:282, 14 pp. DOI:10.1038/s41598-017-00379-2

Braun, T., Danesi, S. & Morelli, A. (2020). Application of monitoring guidelines to induced seismicity in Italy. *J. Seismol.* 9, 1–91. doi:10.1007/s10950-019-09901-7.

Braun T., S. Danesi, L. Anderlini, M. Errico, D. Famiani, M. Polcari & P. Zerbinato (2020b): Relazione semestrale 2020/1, Progetto di concessione Val d’Agri, 79 pp. http://cms.ingv.it/documenti/Report_2020.1_ValdAgri.pdf.

Braun T., S. Danesi, L. Anderlini, M. Buttinelli, M. Caciagli, M. Errico, D. Famiani, M. Polcari, M. Vassallo & G. Zerbinato (2022). Relazione semestrale 2022/I, Progetto di Monitoraggio concessione Val d’Agri. 141 pp. http://cms.ingv.it/documenti/Report_n6_ValdAgri_rev.pdf

Chiaraluca L., A. Amato, S. Carannante, V. Castelli, M. Cattaneo, M. Cocco, C. Colletini, E. D’Alema, R. Di Stefano, D. Latorre, S. Marzorati, F. Mirabella, G. Monachesi, D. Piccinini., A. Nardi, A. Piersanti, S. Stramondo & L. Valoroso (2014). The Alto Tiberina Near Fault Observatory (northern Apennines, Italy). *Ann Geophys.* 57, 3, S0327; doi:10.4401/ag-6426

Dahm, T., S. Cesca, S. Hainzl, T. Braun and F. Krüger, F. (2015). Discrimination between induced, triggered, and natural earthquakes close to hydrocarbon reservoirs: a probabilistic approach based on the modeling of depletion-induced stress changes and seismological source parameters. *J. Geophys. Res.* 120 (4), 2491–2509. doi:10.1002/2014JB011778

Danesi,S., T. Braun, L. Anderlini, M. Caciagli, M. Errico, D. Famiani, M. Polcari & G. Zerbinato (2020). Relazione semestrale 2020/2, Progetto di concessione Val d’Agri, 113 pp. http://cms.ingv.it/documenti/Report_n3_ValdAgri_ufficiale_update.pdf

Danesi S., T. Braun, L. Anderlini, M. Errico, D. Famiani, M. Polcari & G. Zerbinato (2021): Relazione semestrale 2021/I, Progetto di Monitoraggio concessione Val d’Agri. 103 pp. http://cms.ingv.it/images/Report_n4_ValdAgri_ultima.pdf

Dialuce G., C. Chiarabba, D. Di Bucci. C. Doglioni, P. Gasparini, R. Lanari, E. Priolo & A. Zollo (2014). Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell’ambito delle attività antropiche. GdL MiSE, Roma.unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf (ultimo accesso, ottobre 2019).

Hager, B.H., J. Dieterich, C. Frohlich, et al. (2021): A process-based approach to understanding and managing triggered seismicity. *Nature* 595, 684–689 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03668-z>.

ICHESE (2014) International commission on hydrocarbon exploration and seismicity in the Emilia region: report on the hydrocarbon exploration and seismicity in Emilia region, February 2014, http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/ICHESE/ICHESE_Report.pdf

ISPRA (2014). Rapporto sullo Stato Delle Conoscenze Riguardo Alle Possibili Relazioni Tra Attività Antropiche e Sismicità Indotta/Innescata in Italia. Technical Report ISPRA, Roma, Italy, 71 pp; http://www.isprambiente.gov.it/files/notizie-ispra/notizia-2014/rapporto-sismicita-indottainnescata-initalia/Rapporto_sismicita_indotta_innescata_initalia.pdf.

Improta L., S. Bagh, P. De Gori, L. Valoroso, M. Pastori, D. Piccinini, C. Chiarabba, M. Anselmi & M. Buttinelli (2017). Reservoir structure and wastewater-induced seismicity at the Val d’Agri oilfield (Italy) shown by three-dimensional Vp and Vp/Vs local earthquake tomography.

Improta, L., Valoroso, L., Piccinini, D. & Chiarabba, C. (2015). A detailed analysis of wastewater-induced seismicity in the Val d’Agri oilfield (Italy). *Geophys. Res. Lett.* 42, 2682–2690. doi:10.1002/2015GL063369.

Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 122, 9050–9082. <https://doi.org/10.1002/2017JB014725>.

López-Comino, J.Á., T. Braun, T. Dahm, S. Cesca & S. Danesi (2021): On the Source Parameters and Genesis of the 2017, Mw 4 Montesano Earthquake in the Outer Border of the Val d’Agri Oilfield (Italy). *Front. Earth Sci.* 8:617794. doi: 10.3389/feart.2020.617794.

Stabile, T. A., A. Giocoli, V. Lapenna, A. Perrone, S. Piscitelli. & L. Telesca (2014). Evidence of low-magnitude continued reservoir-induced seismicity associated with

the Pertusillo artificial lake (southern Italy). *Bull. Seismol. Soc. Am.* 104, 1820–1828. doi:10.1785/0120130333

Valoroso, L., L. Improta, L. Chiaraluca, R. Di Stefano, L. Ferranti & A. Govoni (2009). Active faults and induced seismicity in the Val d’Agri area (Southern Apennines, Italy). *Geophys. J. Int.* 178, 488–502. doi:10.1111/j.1365-246x.2009.04166.x