



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



MiSE DGS UNMIG/Società Padana Energia S.p.A./RER/Assomineraria
Protocollo Operativo – Applicazione in via sperimentale degli Indirizzi e Linee Guida
per il monitoraggio della concessione di coltivazione idrocarburi “Mirandola”

Relazione trimestrale 2018 / 3 e 4

Luglio – Dicembre

Mario Anselmi e Lucia Zaccarelli
INGV, Sezione ONT, Roma, e Sezione di Bologna



Bologna, 22 febbraio 2019

Indice

<i>1. Introduzione</i>	5
<i>2. Inquadramento geologico</i>	5
<i>3. Rete di monitoraggio sismico</i>	6
<i>4. Dati sismici del secondo trimestre 2018</i>	7
<i>5. Monitoraggio delle pressioni di poro</i>	9
Appendice A	11
<i>A1. Caratteristiche tecniche della rete di monitoraggio sismico</i>	11
<i>A2. Analisi dei dati del secondo trimestre</i>	11
<i>Glossario</i>	15
<i>Bibliografia</i>	15

1. Introduzione

Illustriamo qui le analisi della sismicità registrata nella concessione di Mirandola nel periodo luglio–dicembre 2018. Questa attività viene svolta dall'INGV, in qualità di Struttura Preposta al Monitoraggio (SPM), nell'ambito della sperimentazione degli Indirizzi e Linee Guida (ILG, 2014) della concessione di coltivazione idrocarburi "Mirandola".

Il monitoraggio delle deformazioni del suolo avrà inizio nei prossimi mesi a seguito dell'installazione da parte del concessionario (Società Padana Energia S.p.A.) di una stazione cGPS sopra il giacimento.

Il confronto con i dati industriali viene mostrato per quei dati che ci sono stati consegnati durante la riunione operativa del comitato in data 10/10/2018: dati di volume e pressione di acqua iniettata al pozzo Cavone 14 da gennaio 2018 a luglio 2018.

Gli aspetti tecnici e le descrizioni dettagliate delle analisi dei dati del monitoraggio vengono illustrati nell'Appendice A.

La sperimentazione riguarda, in questa fase iniziale, l'analisi dei dati provenienti dai sistemi di monitoraggio attivi nell'area del centro olio Cavone (la centrale di raccolta e trattamento operativa all'interno della concessione idrocarburi "Mirandola"), considerando le stazioni di rilevamento messe in funzione direttamente dal Concessionario e la loro integrazione, ad esempio, con le stazioni della rete sismica nazionale gestita dall'INGV. Ad oggi il monitoraggio è volto unicamente a registrare e catalogare i fenomeni sismici che avvengono nell'area del giacimento in senso stretto, non comprendendo la rete – come si vedrà nel seguito – i domini definiti nelle ILG.

Durante l'ultima riunione del comitato è stato presentato dal concessionario il progetto per l'adeguamento delle reti di monitoraggio sismico e di deformazione del suolo. Abbiamo effettuato una valutazione della bontà della rete sismica tramite delle simulazioni basate su registrazioni di rumore alle nostre stazioni CAVE e NDM che si trovano in corrispondenza del giacimento in zone molto prossime alle quattro stazioni della rete locale. I risultati di questa valutazione verranno presentati in sede di riunione del comitato operativo.

Da notare che la Società Padana Energia, di concerto con il MiSE-DGS, RER e Assomineraria, ha istituito nel 2014 il Laboratorio di monitoraggio Cavone con lo scopo di analizzare i dati del monitoraggio e di divulgarne i risultati tramite sito *web* dedicato: labcavone.it.

In questa relazione riportiamo quindi i nostri risultati (INGV-SPM) confrontandoli con quelli di LabCavone.

2. Inquadramento geologico

L'area del giacimento di Cavone si inserisce all'interno dell'Arco Ferrarese, appartenente al sistema esterno a pieghe e sovrascorrimenti dell'Appennino settentrionale (Figura 1a).

La Catena, vergente verso nord-est, si è sviluppata durante il Neogene ed il Quaternario con la collisione tra il margine continentale europeo e la microplacca Adria (Reutter et al., 1980). Il sistema a pieghe e sovrascorrimenti, seppellito completamente sotto una spessa copertura sedimentaria rappresentata dai sedimenti quaternari della Pianura Padana, è costituito da sovrascorrimenti ciechi e pieghe relative ad essi, che coinvolgono la principale successione sedimentaria costituita da evaporiti triassiche, carbonati mesozoici e basso-terziari e successioni clastiche Oligo-mioceniche (Carminati et al., 2010; Fantoni e Franciosi, 2010). Le unità mesozoiche giacciono sui depositi clastici Permo-Triassici e sul basamento cristallino Paleozoico. Le unità mioceniche sono coperte invece da depositi terrigeni Plio-Pleistocenici di natura sintettonica, principalmente caratterizzati da torbiditi e sabbie marine. Lo spessore di tali depositi varia dai 7000–8000 m nella parte delle sinclinali più profonde ai circa 150 m nelle parti al di sopra delle anticlinali legate ai sovrascorrimenti (Figura 1b).

Il giacimento ad olio Cavone, scoperto nel 1972, ricade nella concessione Mirandola che è ubicata prevalentemente in Emilia-Romagna nella provincia di Modena, e in parte in Lombardia, in provincia di Mantova; ha un'estensione di 121.96 km² ed è di titolarità di Società Padana Energia.

L'area mineralizzata (ossia l'area vera e propria del giacimento) è di circa 15 km²; le rocce serbatoio sono costituite da Calcari Grigi di Noriglio, calcare Oolitico e Breccie di Cavone, mentre le rocce di copertura sono costituite dalle Marne del Cerro.

Il giacimento si trova ad una profondità di circa 2900 m. La trappola è costituita da un'anticlinale allungata in direzione est-ovest e fagliata sia longitudinalmente che trasversalmente.

Il fluido estratto dal giacimento è composto da olio, gas metano ed acqua di strato (ossia l'acqua fossile caratterizzata da un elevato contenuto di sali).

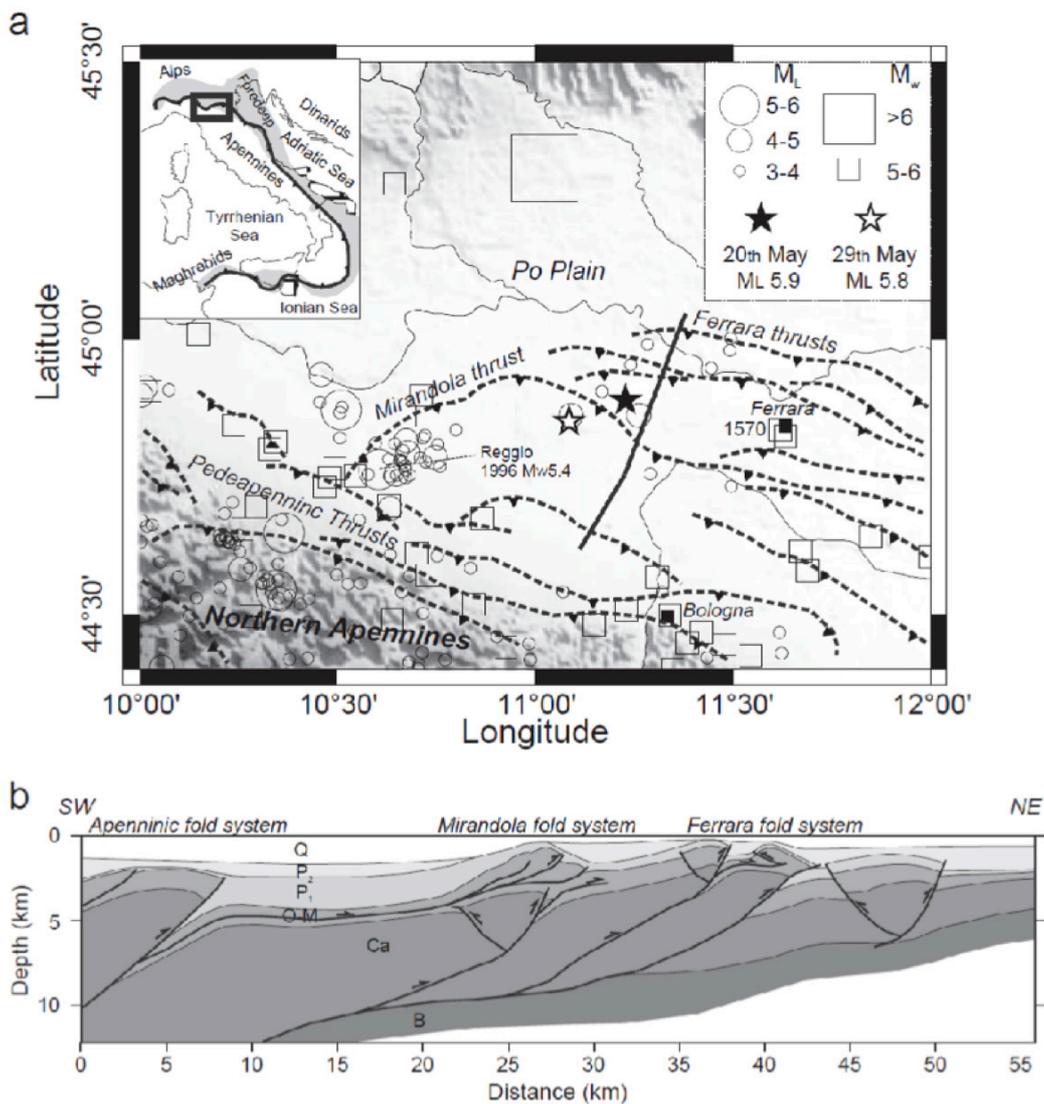


Figura 1. (a) Mappa strutturale semplificata della zona emiliana, raffigurante le principali linee di sovrascorrimento dell'Appennino settentrionale. (b) Sezione geologica tracciata lungo la linea nera della Figura 1a (modificata da Carminati et al., 2010): Q—depositi marini e continentali quaternari, P2—depositi marini terrigeni (Pliocene medio-superiore), P1—depositi terrigeni ed evaporitici (tardo Miocene–basso Pliocene), O–M—depositi calcareo-marnosi e terrigeni (Oligocene–Miocene), Ca—carbonati (Mesozoico–Eocene), B—Basamento Paleozoico.

Nel campo sono presenti 11 pozzi, di cui 1 dedicato alla reiniezione (Cavone 14); l'acqua di strato viene infatti reiniettata all'interno del giacimento dal quale è stata estratta insieme all'olio e al gas, in accordo con le *best practices* internazionali.

3. Rete di monitoraggio sismico

La rete sismica di Cavone nella sua configurazione attuale, è stata installata nel dicembre 1982 ed è operativa. Si compone di quattro stazioni dotate di sismometro triassiale (in grado cioè di registrare i movimenti del suolo nelle direzioni verticale, nord-sud ed est-ovest). I nomi e le coordinate delle stazioni sono riportate nella Tabella 1, mentre la loro localizzazione rispetto al giacimento è visibile nella mappa di Figura 2. Tutte le stazioni sono ampiamente comprese nel cosiddetto Dominio Interno (DI, vedi Glossario).

Attualmente queste stazioni vengono sincronizzate temporalmente tramite segnale radio DCF-77 e registrano solo i movimenti che superano una determinata soglia di scuotimento (modalità cosiddetta a *trigger*), come era consuetudine negli anni '90. Durante l'ultima riunione del tavolo operativo, in data 10/10/2018, la Società Padana Energia ha presentato un progetto di aggiornamento della rete sismica locale in cui si prevede un cambio degli acquisitori in modo da ottenere una registrazione in continuo con sincronizzazione GPS.

STAZIONE	LATITUDINE	LONGITUDINE	QUOTA (m)
CORR	44° 54' 07"	11° 00' 34"	20
ROC	44° 54' 00"	10° 55' 27"	17
ROVE	44° 51' 11"	10° 56' 59"	21
SGIA	44° 51' 33"	11° 02' 09"	20

Tabella 1. Elenco delle stazioni sismiche attive al centro olio Cavone: nomi e coordinate geografiche.

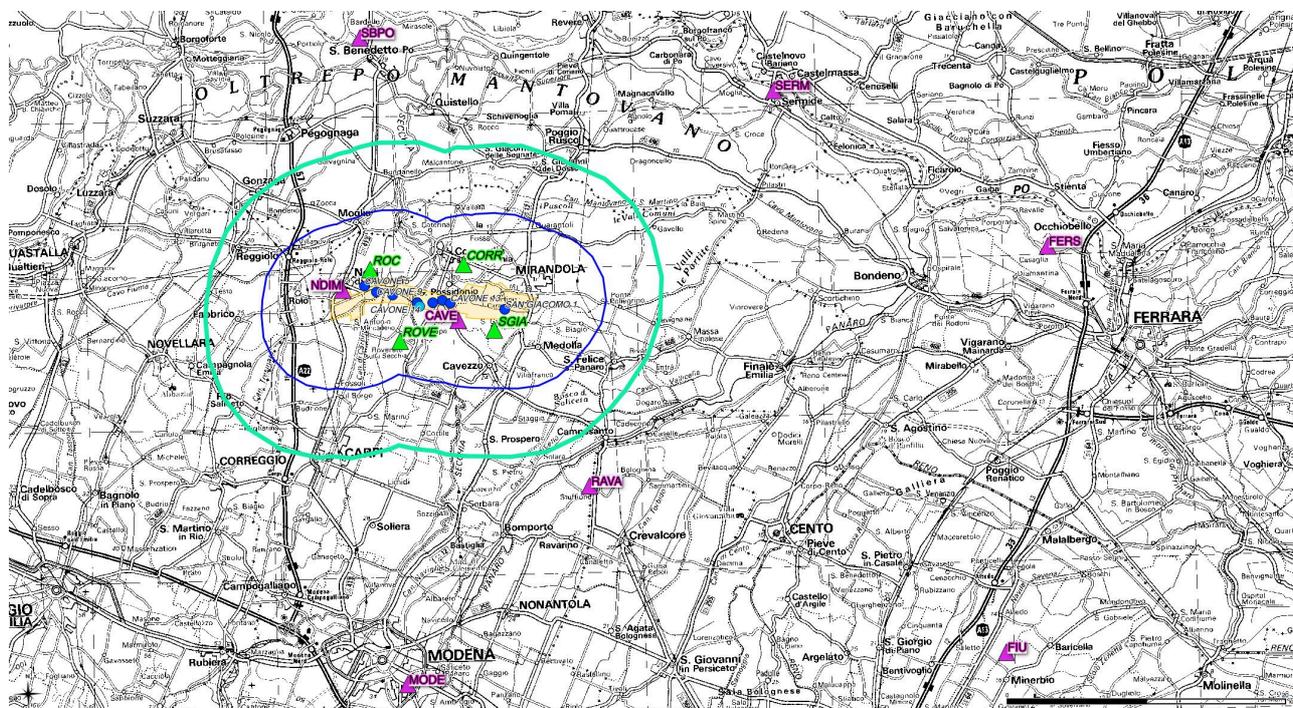


Figura 2. Mappa del centro olio Cavone e delle stazioni sismiche presenti nell'area. I triangoli verdi rappresentano le stazioni della rete di Cavone, i triangoli viola le stazioni della rete nazionale INGV, i cerchi blu i pozzi di produzione del campo, il cerchio azzurro il pozzo di reiniezione. Il poligono giallo rappresenta l'estensione del giacimento Cavone. La linea blu delinea il limite del Dominio Interno dei 5 km (DI), mentre quella verde il Dominio Esteso di 10 km (DE).

Prendiamo inoltre in considerazione le otto stazioni della rete sismica nazionale gestita dall'INGV che si trovano entro un raggio di 50 km dal comune di San Possidonio (il comune al centro del giacimento), a possibile integrazione della rete sismica locale. Nel caso cioè la rete di Cavone registri un evento, controlliamo se anche qualcuna di queste otto stazioni INGV ha potuto registrare il segnale. Principalmente si tratta di terremoti locali di bassissima energia che vengono registrati solo alle stazioni più prossime all'ipocentro, dato che già a distanze di qualche chilometro il segnale scompare all'interno del cosiddetto "rumore di fondo" (le normali oscillazioni della terra che si registrano abitualmente).

Le otto stazioni INGV sono mostrate nella mappa di Figura 2: solamente due di queste sono ubicate all'interno del DI, in corrispondenza del giacimento (CAVE e NDIM), una si situa appena fuori dal DE verso sud-est (RAVA), mentre le restanti cinque stazioni (FIU, FERS, MODE, SBPO e SERM) sono esterne anche al DE, con distanze dal giacimento di ~30/50 km.

4. Dati sismici del terzo e quarto trimestre 2018

Nel periodo luglio–dicembre 2018 la rete di monitoraggio sismico locale del centro olio Cavone ha registrato e localizzato undici eventi di magnitudo M_l comprese tra 0.6 e 1.8. Gli ultimi due eventi avvenuti il 28 e il 29 dicembre 2018 rispettivamente non erano presenti sul sito *ftp* del concessionario alla data del 20 gennaio 2019, quando abbiamo scaricato i dati da analizzare. Tramite l'analisi dei segnali sismici registrati alle 4 stazioni locali e alle 3 stazioni INGV più vicine (ma principalmente CAVE e NDIM, le sole che hanno registrato chiaramente tutti i segnali, e solo in due occasioni RAVA) è stato possibile ri-localizzare con maggiore precisione nove degli undici eventi (i nove per i quali erano disponibili i dati sul sito *ftp*), come mostrato nella mappa di Figura 3.

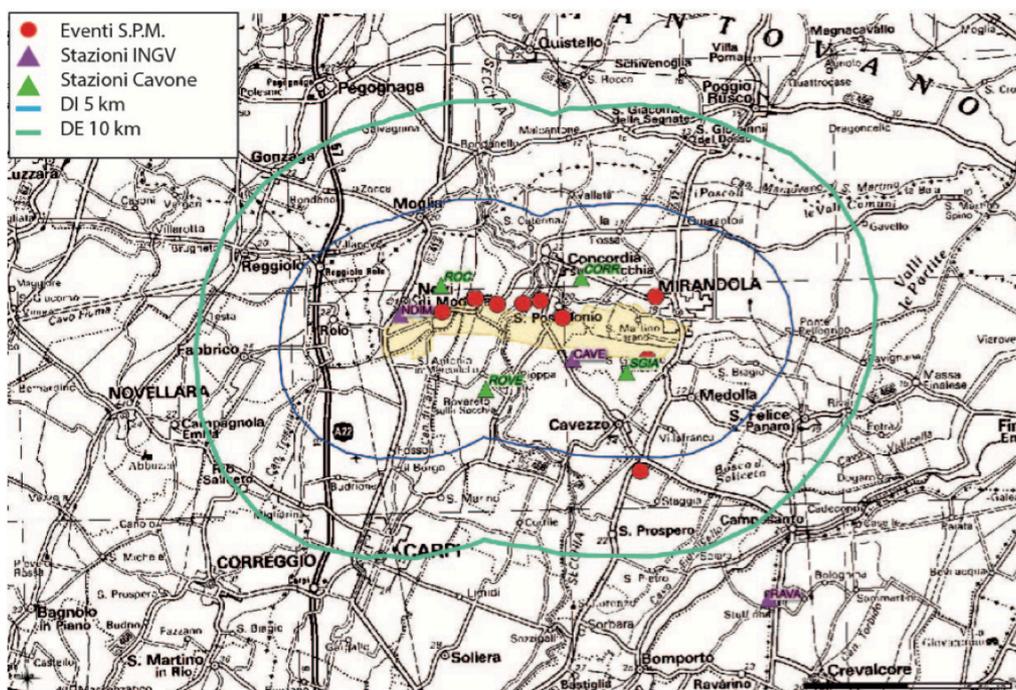


Figura 3. *Mappa delle localizzazioni dei nove eventi calcolate tramite questa analisi. Il poligono giallo rappresenta l'estensione del giacimento Cavone, la linea blu rappresenta il limite del Dominio Interno dei 5 km (DI) e quella verde il Dominio Esteso di 10 km (DE). I triangoli verdi rappresentano le stazioni della rete di Cavone, i triangoli viola le stazioni della rete nazionale INGV. I cerchi rossi mostrano gli epicentri degli eventi analizzati.*

La stima della magnitudo locale sopra riportata è quella pubblicata sul sito Labcavone.it, ci riserviamo di effettuare una nostra stima autonoma della magnitudo nei prossimi mesi. La stima della magnitudo, infatti, ha bisogno di essere testata e tarata su diversi terremoti prima di raggiungere una certa affidabilità, e nel periodo 2017–2018 sono avvenuti solamente una trentina di eventi. Per questo motivo abbiamo richiesto di poter analizzare i dati pre-2017, che ci sono stati consegnati dal concessionario durante la riunione del tavolo operativo in data 10/10/2018 e siamo in fase di valutazione.

A parte un evento che si localizza internamente al DE, tutti gli altri otto eventi ricadono internamente al DI (come visibile dalle Figure 3 e 4, e riportato in Tabella 2), due di questi hanno poi una magnitudo superiore alla soglia indicativa di 1.5 riportata nelle ILG (e in Figura 5 riportiamo la suddivisione nei livelli di attivazione e i valori indicativi) che determinerebbe un innalzamento del livello di attivazione secondo il sistema decisionale di tipo a semaforo dall'ordinarietà (livello 0 - verde) all'attenzione (livello 1 - giallo).

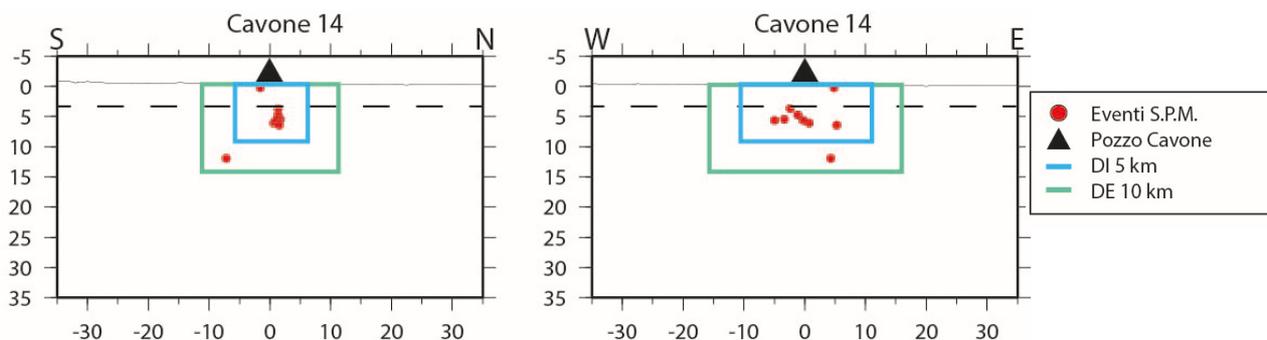


Figura 4. *Le due sezioni verticali mostrano la localizzazione degli ipocentri calcolati per i nove eventi disponibili del terzo e quarto trimestre 2018. Con il triangolo nero è indicata la posizione del pozzo di re-iniezione Cavone 14, i cerchi rossi sono gli ipocentri degli eventi, la linea tratteggiata indica la profondità del giacimento (circa 2.9 km sotto la superficie) e con le linee azzurra e verde sono delineati i confini dei due domini rispettivamente interno ed esteso.*

DOMINIO	EVENTI
INTERNO (5 km dal giacimento)	8 – di cui 2 con $1.5 < M_l < 2.2$ (M_l 1.7 e 1.8)
ESTESO (5–10 km dal giacimento)	1

Tabella 2. Tabella riassuntiva degli eventi analizzati e come ricadono all'interno dei due Domini definiti per il centro olio Cavone, nel terzo e quarto trimestre (luglio–dicembre) del 2018.

Si fa notare che le soglie definite nelle ILG sono puramente indicative e “che i valori di soglia devono essere definiti ed esplicitati nel DGOM [Documento di Gestione Operativa del Monitoraggio, ndr] caso per caso per ogni concessione, anche in funzione delle caratteristiche sismotettoniche dell'area di attività e comunque dopo il periodo di monitoraggio previsto in condizioni non perturbate [...], in cui viene rilevata la sismicità di fondo” (ILG, 2014, cap. 9.4, p. 28).

Nel caso di Cavone (in quanto sito già operativo all'inizio del monitoraggio) non essendo disponibile un'analisi della sismicità di fondo in condizioni non perturbate, ci riferiamo ai valori riportati nelle ILG durante la fase sperimentazione in atto.

Livello di attivazione	Stato corrispondente
0	Ordinarietà
1	Attenzione
2	Riduzione delle attività
3	Sospensione delle attività

(a)

Livello di attivazione	Semaforo	M_{max}	PGA (% g)	PGV (cm/s^2)
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

(b)

Figura 5. Definizione dei livelli di attivazione (pannello a) e dei valori indicativi per il passaggio da un livello al successivo (pannello b) come da ILG.

5. Monitoraggio delle pressioni di poro

Non è possibile eseguire un vero e proprio monitoraggio delle pressioni di poro dato che al momento le pressioni di fondo pozzo vengono misurate una volta all'anno nel momento di fermo per manutenzione dell'impianto. Abbiamo però le informazioni relative al volume di acqua iniettata e alla pressione di iniezione (di testa) al pozzo Cavone 14, misurate con cadenza giornaliera da gennaio 2018 a luglio 2018.

Il grafico di Figura 6 mostra l'andamento di questi parametri confrontandolo con i tempi di occorrenza degli eventi rilevati alla rete sismica locale (asterischi). Purtroppo la serie temporale è troppo corta (e gli eventi troppo sparsi) per poter osservare eventuali ricorrenze, ma di sicuro rappresenta un buon punto di partenza.

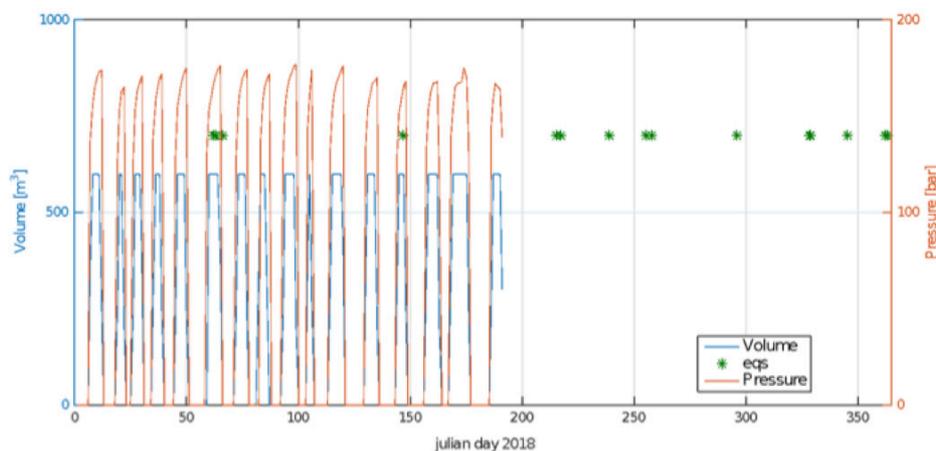


Figura 6. Andamento temporale dell'attività industriale al pozzo Cavone 14 di re-iniezione delle acque di scarto. In blu i volumi giornalieri iniettati e in rosso la pressione corrispondente. Con gli asterischi verdi vengono indicati i giorni in cui sono stati rilevati degli eventi sismici dalla rete sismica locale.

Appendice A

Concessione di coltivazione idrocarburi “Mirandola” Monitoraggio Sismico - Anno 2018, Relazione n. 2

A1. Caratteristiche tecniche della rete di monitoraggio sismico

La rete di monitoraggio sismico del centro olio Cavone si compone delle quattro stazioni CORR, ROC, ROVE, e SGIA elencate in Tabella 1 e indicate con triangoli verdi nella mappa di Figura 2. Sono tutte equipaggiate con strumenti di tipo Lennartz MARS88 e sismometro LE3D-1s triassiale della Lennartz Electronic. La frequenza di campionamento è di 125 campioni al secondo (passo di 0.008 s) che consentono una risoluzione del segnale in banda 1–50 Hz.

Le stazioni sono sincronizzate temporalmente tramite il segnale radio DCF-77 e funzionano in modalità *trigger*. Entrambe queste modalità sono datate e poco affidabili sia in termini di registrazione di eventi locali che di corretta associazione temporale. È opportuno che rispetto a entrambe queste modalità sia previsto l'adeguamento delle stazioni esistenti agli standard tecnici attuali.

Le otto stazioni della rete sismica nazionale (INGV) che esaminiamo in caso di evento sismico, ad integrazione della rete locale, sono dotate di diversa strumentazione e spaziano dallo *short-period* (SP), al *broad-band* (BB), all'accelerometro (AC), qualche stazione si compone di due strumenti collocati, e nel caso della stazione SERM il sensore è posizionato in pozzo ad una profondità di 135 m. Le specifiche tecniche sono riassunte di seguito, ma ricordiamo che tutte le informazioni relative agli strumenti si possono trovare in rete sul sito <http://cnt.rm.ingv.it/instruments/network/IV>:

- (1) CAVE: BB - Nanometrics Triullium 120s
- (2) FIU: SP - Lennartz LE3D-5s
- (3) FERS: AC - Kinematics Episensor-FBA-ES-T-CL-2G-FS-40-VPP
- (4) MODE: AC - Kinematics Episensor-FBA-ES-T
- (5) NDIM: AC + BB - Kinematics Episensor-FBA-ES-T-CL-2G-FS-40-VPP + Nanometrics Triullium 40s
- (6) RAVA: SP - Lennartz LE3D-5s
- (7) SBPO: AC - Kinematics Episensor-FBA-ES-T-CL-2G-FS-40-VPP
- (8) SERM: AC + SP - Lennartz LE3D-1s — in pozzo: -135m.

A2. Analisi dei dati del terzo e quarto trimestre

Per quanto riguarda il terzo e il quarto trimestre del 2018 il sito LabCavone (<http://labcavone.it/>) riporta 11 terremoti locali.

Da catalogo sismico INGV (<http://cnt.rm.ingv.it/>), effettuando una ricerca degli eventi del secondo trimestre 2018 localizzati entro un raggio di 30 km intorno a San Possidonio (parametri concordati nel corso dell'ultima riunione del tavolo operativo il 10/10/2018) si ottiene una lista di 9 eventi. In Tabella A1 riportiamo la lista di tutti questi eventi (9 INGV e 11 LabCavone con la specifica della provenienza del dato nella penultima colonna) e per chiarire meglio la localizzazione di ogni evento mostriamo i risultati come riportati nei due diversi cataloghi (INGV e LabCavone) nella mappa di Figura A1.

Dopo aver scaricato i dati sismici dal sito <ftp://technicalservices.eni.it/> abbiamo verificato che sono presenti solo i dati dei *trigger* corrispondenti ai primi 9 eventi elencati sul sito LabCavone: mancano quelli localizzati dalla rete sismica nazionale dell'INGV (probabilmente non sono stati risentiti o non hanno triggerato abbastanza stazioni della rete locale), e anche gli ultimi due eventi del 28 e del 29 dicembre (almeno alla data del 20 gennaio 2019, quando abbiamo scaricato i dati dal sito *ftp*, questi due eventi non erano presenti). Presentiamo quindi i dettagli relativi alle analisi effettuate per questi 9 eventi.

Gli eventi sono stati localizzati in base alle letture dei tempi di arrivo delle fasi P ed S effettuate sulle 4 stazioni locali (CORR, ROC, ROVE, SGIA) e su 3 delle stazioni INGV più vicine (CAVE, NDIM, e RAVA, quest'ultima solo nel caso di due terremoti). Il *software* utilizzato per la localizzazione 1-D della sismicità è HYPOELLIPSE (Lahr, 1999). Il modello di velocità 1-D impiegato è quello creato *ad hoc* per l'analisi dei dati della rete di monitoraggio del giacimento (Relazioni periodiche, 2017).

DATA (aaaa-mm-gg)	ORA (UTC)	LAT	LON	DEPTH (km)	MI	dati
2018-07-22	04:16	44.7693	10.6962	7.6	1.9	INGV
2018-08-03	18:27	44.8903	10.9471	4.3	1.3	LabCavone
2018-08-05	04:07	44.891	10.9463	3.9	1.3	LabCavone
2018-08-21	00:33	44.7933	10.6638	8.1	3.7	INGV
2018-08-21	01:07	44.7758	10.656	2.7	2.2	INGV
2018-08-27	04:07	44.8789	10.992	4.4	1.1	LabCavone
2018-09-12	13:29	44.8857	10.9723	4.7	1.8	LabCavone
2018-09-15	08:01	44.8788	11.2867	6.3	2.2	INGV
2018-09-15	20:00	44.8842	10.9833	6	1.5	LabCavone
2018-10-18	03:20	44.813	10.7592	10.3	2.1	INGV
2018-10-18	17:20	44.7628	10.8123	22.0	2.3	INGV
2018-10-23	14:11	44.8888	11.0108	5.2	1.4	LabCavone
2018-11-24	04:00	44.8935	10.9417	5.2	1.7	LabCavone
2018-11-25	23:32	44.8388	11.0262	9.7	1.5	LabCavone
2018-12-11	19:24	44.8858	11.0612	5.4	1.5	LabCavone
2018-12-18	04:02	44.8118	10.7455	5.7	2.3	INGV
2018-12-21	09:04	44.6637	10.8332	33.0	2.6	INGV
2018-12-21	09:08	44.6777	10.8338	35.0	2.6	INGV
2018-12-28	02:29	44.873	11.009	5.1	0.6	LabCavone
2018-12-29	16:35	44.858	10.822	8.6	1.7	LabCavone

Tabella A1. Lista dei 9 eventi registrati e localizzati dall'INGV e degli 11 registrati e localizzati tramite la rete locale come dal sito LabCavone nel 3° e 4° trimestre del 2018 in un raggio di 30 km da San Possidonio (limite utilizzato per la ricerca degli eventi dal catalogo INGV). L'ultima colonna mostra la provenienza del dato (INGV e/o LabCavone).

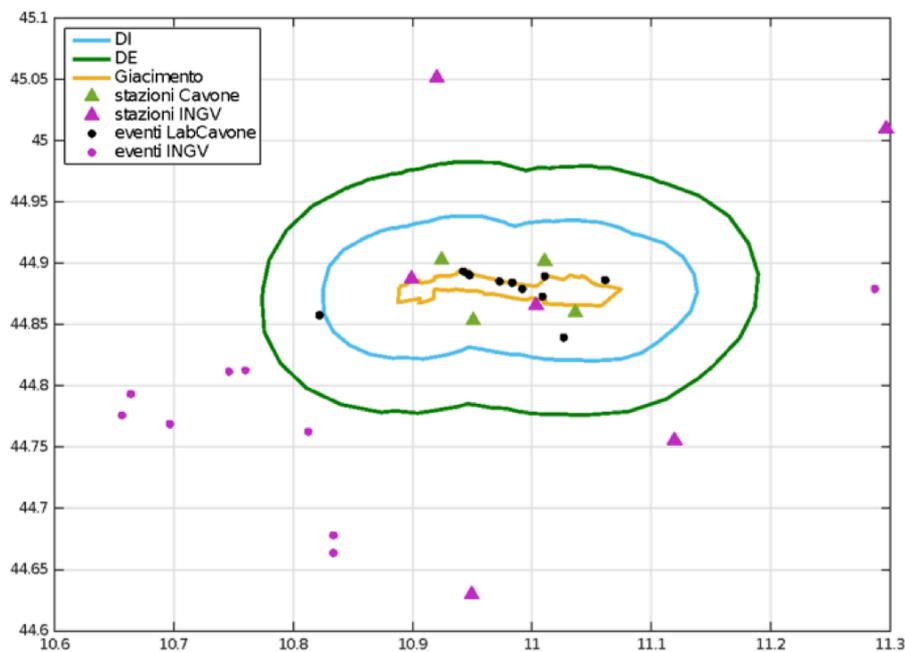


Figura A1. Mappa delle stazioni e di tutti i terremoti in Tabella A1 localizzati nel terzo e quarto trimestre del 2018 da LabCavone (triangoli verdi e cerchi neri) e dalla rete sismica nazionale dell'INGV (triangoli e cerchi viola). Il contorno giallo ricalca i confini del giacimento, quello blu delimita l'estensione del DI e quello in verde l'estensione del DE.

In Tabella A2 sono riportati i risultati delle nostre localizzazioni per i nove eventi disponibili per questo periodo con gli errori corrispondenti. Le localizzazioni degli epicentri sono mostrate in mappa in Figura A2 e nelle sezioni di Figura A3, a confronto con le localizzazioni riportate da LabCavone.

DATA (aaaa-mm-gg)	ORA (UTC)	LAT	LON	DEPTH (km)	RMS	ERH (km)	ERZ (km)
2018-08-03	21:14	44.894	10.945	5.42	0.1161	1.3	0.8
2018-08-05	04:07	44.8912	10.958	3.62	0.2605	0.1	0.3
2018-08-27	04:08	44.8843	10.9975	6	0.0607	0.3	0.4
2018-09-12	13:29	44.891	10.9737	4.67	0.0714	0.3	0.4
2018-09-15	20:00	44.8923	10.9847	5.57	0.0572	0.4	99
2018-10-23	14:11	44.8647	11.049	0.2	0.9181	0.3	0.2
2018-11-24	02:04	44.8882	10.9243	5.62	0.1474	0.4	0.5
2018-11-25	23:32	44.8147	11.0425	11.92	0.1088	6.1	6.1
2018-12-11	19:24	44.8927	11.0547	6.35	0.1234	2.9	3.3

Tabella A2. Lista dell'evento registrato dalle stazioni locali di Cavone e della localizzazione calcolata all'interno dell'attività di SPM.

Si nota come in genere gli ipocentri corrispondenti allo stesso evento cadano vicini con differenze dettate probabilmente dal diverso *software* utilizzato e/o dalle inevitabili differenze nei *picking* delle fasi P e S. La localizzazione effettuata dall'INGV-SPM e mostrata in questa relazione è probabilmente più accurata grazie all'aggiunta di dati provenienti dalle stazioni della rete nazionale che aiutano a migliorare la soluzione, soprattutto nella determinazione della profondità.

Questi eventi ricadono, secondo le localizzazioni sia di LabCavone che nostre, all'interno del DI, a parte uno che resta comunque confinato nella fascia DE, assumendo come riferimento la profondità del giacimento pari a 2.9 km (Figure A2 e A3).

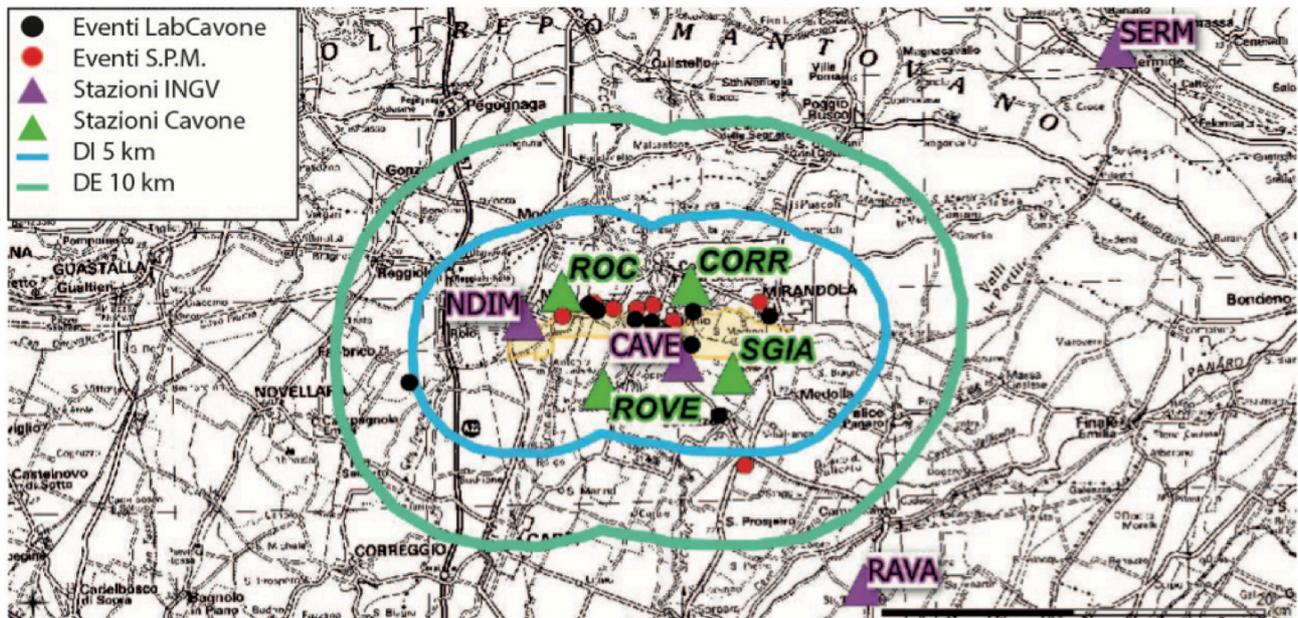


Figura A2. Mappa delle stazioni e degli eventi localizzati nel terzo e quarto trimestre del 2018 da LabCavone e dalla SPM con questa analisi. I triangoli verdi/viola identificano le stazioni sismiche della rete locale di Cavone e dell'INGV rispettivamente. I cerchi rossi mostrano gli epicentri come calcolati dall'INGV-SPM (Tabella A2), mentre i cerchi neri rappresentano gli epicentri degli stessi eventi più i due ultimi di dicembre 2018 come calcolati da LabCavone (Tabella A1). Il contorno blu delimita l'estensione del DI, mentre quello in verde l'estensione del DE.

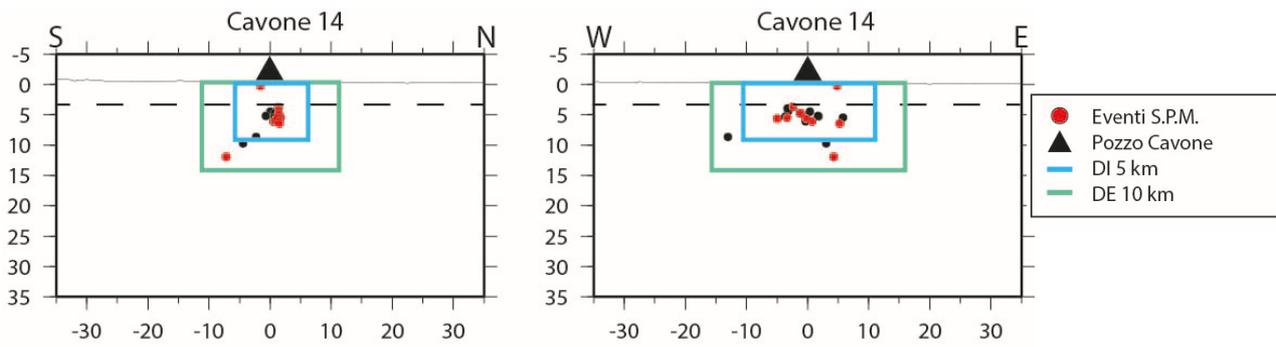


Figura A3. Sezioni verticali della sismicità localizzata. Il cerchio rosso gli ipocentri calcolati dall'INGV-SPM. I cerchi neri rappresentano gli ipocentri degli stessi eventi (più i due di fine dicembre) come riportati in LabCavone (Tabella A1). La linea continua orizzontale delinea la superficie del terreno, quella tratteggiata in marrone la profondità del giacimento. La linea blu schematizza il contorno del DI (5 km in profondità a partire dalla profondità del giacimento), mentre la linea verde schematizza il DE (10 km a partire dalla profondità del giacimento).

Glossario

MiSE:	Ministero dello Sviluppo Economico.
DGS:	Direzione Generale per la Sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche.
UNMIG:	Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse.
RER:	Regione Emilia Romagna.
INGV:	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
ILG:	Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio.
SPM:	Struttura Preposta al Monitoraggio (nel caso di Cavone l'INGV, come da protocollo operativo firmato il 15/11/2016).
DI:	Dominio Interno di rilevazione definito nelle ILG come il volume che si estende fino in superficie incluso la zona mineralizzata (giacimento) e un'ulteriore fascia che si estende ai lati e sotto fino ad una distanza di 5 km del giacimento stesso (nel caso di Cavone in cui è prevista reiniezione all'interno del giacimento).
DE:	Dominio Esteso di rilevazione definito nelle ILG come il volume incluso tra 5 e 10 km dal bordo del DI.

Bibliografia

- Carminati, E., D. Scrocca and C. Doglioni (2010). Compaction-induced stress variations with depth in an active anticline: Northern Apennines, Italy. *Journal of Geophysical Research*, 115 (B02401); <http://dx.doi.org/10.1029/2009JB006395>.
- Fantoni, R., and R. Franciosi (2010). Tectono-sedimentary setting of the Po Plain and Adriatic foreland. *Rendiconti Lincei - Scienze Fisiche e Naturali*, 21 (Suppl. 1), 197–209; <https://doi.org/10.1007/s12210-010-0102-4>.
- ILG (2014). Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche; <http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/agenda/dettaglio-notizia.asp?id=238>.
- Lahr, J.C. (1999; revised 2012). HYPOELLIPSE: a computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first-motion pattern: U.S. Geological Survey Open-File Report 99–23, version 1.1, 119 p. and software, available at <https://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0023/>.
- Relazioni periodiche (2017). Relazioni periodiche sui risultati del monitoraggio - Concessione di coltivazione "Mirandola" (Campo di Cavone) - Anno 2017.
- Reutter, K.J., P. Giese and H. Closs (1980). Lithospheric split in the descending plate: observations from the Northern Apennines. *Tectonophysics*, 64 (1–2), T1–T9; [http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951\(80\)90254-1](http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951(80)90254-1).

