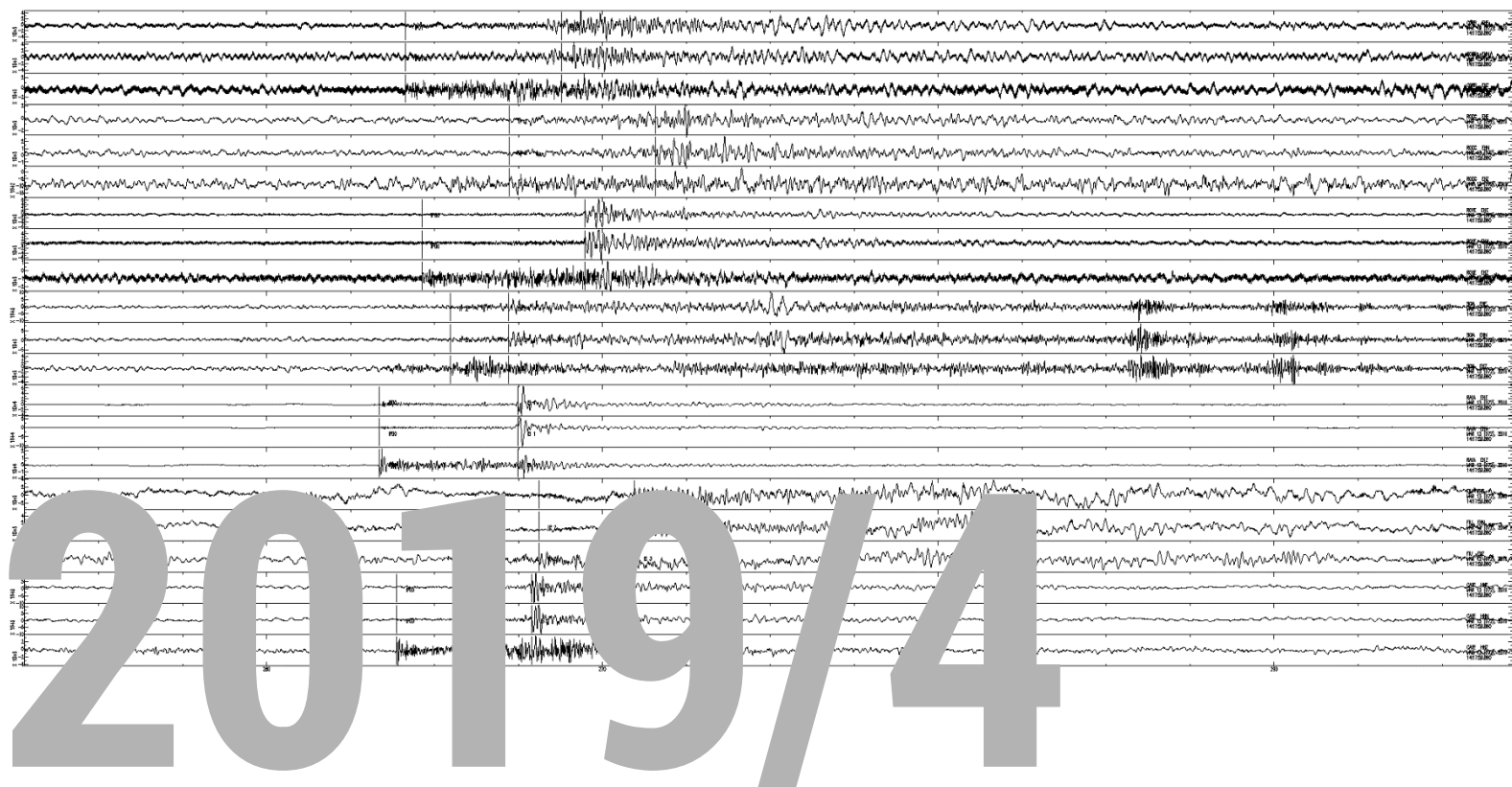


Protocollo Operativo – Applicazione in via sperimentale degli Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della concessione di coltivazione idrocarburi “Mirandola”

Responsabile di Progetto: L. Zaccarelli

Autori: M. Anselmi, I. Munafò, L. Faenza, L. Zaccarelli

Redazione: M. Errico



INTRODUZIONE	5
INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
RETE DI MONITORAGGIO SISMICO	7
DATI SISMICI DEL QUARTO TRIMESTRE 2019	9
MONITORAGGIO DELLE PRESSIONI DI PORO	13
CONCLUSIONI	14
APPENDICE A	15
CONCESSIONE DI COLTIVAZIONE IDROCARBURI "MIRANDOLA" MONITORAGGIO SISMICO - ANNO 2019, RELAZIONE N. 1	15
A1. Caratteristiche tecniche della rete di monitoraggio sismico	15
A2. Analisi dei dati del quarto trimestre	16
A3. Analisi di dettaglio e discussione	19
A4. Tempi di arrivo	24
GLOSSARIO	25
BIBLIOGRAFIA	26
ELENCO DELLE FIGURE	27
ELENCO DELLE TABELLE	29

Protocollo Operativo – Applicazione in via sperimentale degli Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della concessione di coltivazione idrocarburi “Mirandola”

Relazione trimestrale 2019/4

Mario Anselmi⁽¹⁾, Irene Munafò⁽²⁾, Licia Faenza⁽¹⁾, Lucia Zaccarelli⁽³⁾

¹ INGV, Sezione ONT, Roma; ² INGV, Sezione di Roma 1, Roma; ³ INGV, Sezione di Bologna, Bologna.

Bologna, 25/07/2020

Introduzione

Illustriamo qui le analisi della sismicità registrata nella concessione di coltivazione idrocarburi "Mirandola" nel periodo ottobre-dicembre 2019. 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) in quest'area.

Gli aspetti tecnici e le descrizioni dettagliate delle analisi dei dati del monitoraggio del quarto trimestre del 2019 vengono illustrati nell'appendice A.

La sperimentazione riguarda l'analisi dei dati provenienti dai sistemi di monitoraggio attivi nell'area circostante il centro olio Cavone (la centrale di raccolta e trattamento operativa all'interno della concessione idrocarburi "Mirandola"), considerando le stazioni di rilevamento (sismiche e geodetiche) messe in funzione direttamente dal Concessionario e la loro integrazione con le stazioni della rete sismica nazionale gestita dall'INGV. Ad oggi il monitoraggio è volto unicamente a registrare e catalogare gli eventi sismici locali. Il monitoraggio delle deformazioni del suolo si baserà sul primo anno di dati GPS raccolti dalla stazione installata dal concessionario (Società Padana Energia S.p.A.) in data 19/12/2018, oltre che dalle analisi dati InSAR, e sarà parte integrante della relazione di fine sperimentazione.

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.

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

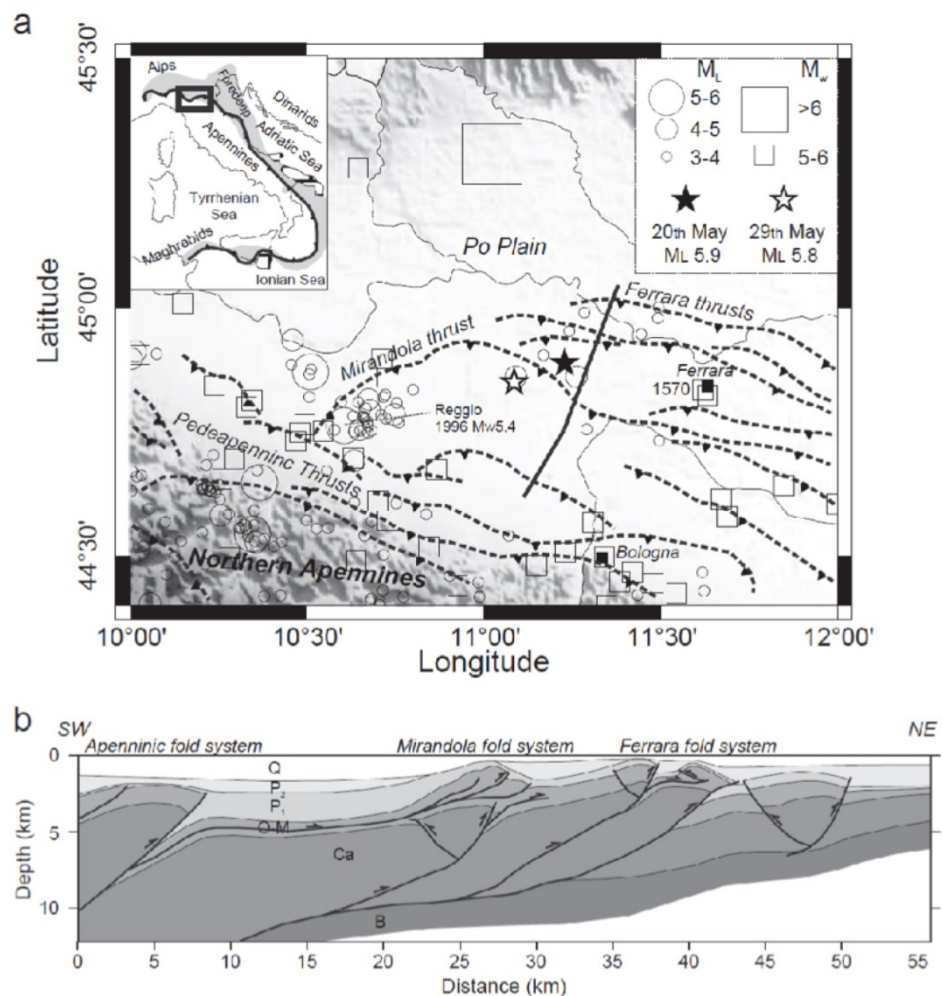
mioceniche sono coperte invece da depositi terrigeni Plio-Pleistocenici di natura sintettonica, principalmente caratterizzati da torbiditi e sabbie marine. Lo spessore di tali depositi varia dai 7000–8000 m nella parte delle sinclinali più profonde ai circa 150 m nelle parti al di sopra delle anticlinali 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, (si veda Figura 2).

Rete di monitoraggio sismico

La rete sismica di Cavone nella sua configurazione attuale, è stata installata nel dicembre 1992 ed è tuttora 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), che definisce "il volume all'interno del quale si ritiene che possano verificarsi fenomeni di sismicità indotta o di deformazione del suolo associati all'attività svolta" (ILG, 2014).

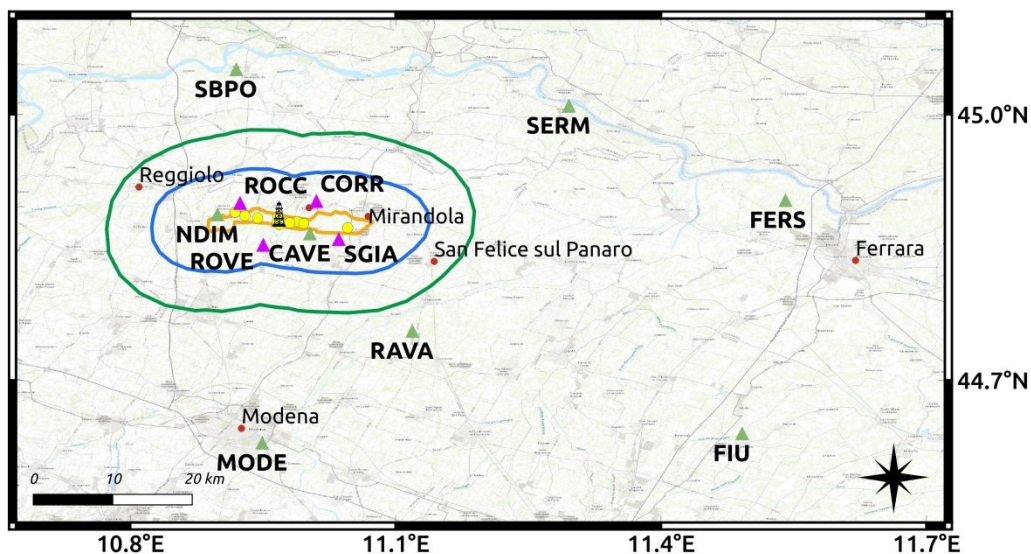
Dal 18 dicembre 2018 gli acquisitori sono stati sostituiti con dei Dymas 24 prodotti dalla SolGeo (e sono conseguentemente stati cambiati i sistemi di alimentazione e trasmissione dati) in modo da avere una registrazione dei dati in continuo e una sincronizzazione temporale tramite GPS.

La trasmissione dei dati in tempo reale è funzionante (prima connessione eseguita dalla SPM in data 7 giugno 2019), ma per il momento continuiamo a utilizzare i dati off-line per maggiore affidabilità e completezza, mentre le procedure di analisi in tempo quasi reale sono in corso di validazione.

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

STAZIONE	LATITUDINE	LONGITUDINE	QUOTA (m)
CORR	44° 54' 07"	11° 00' 34"	12
ROCC	44° 54' 00"	10° 55' 27"	17
ROVE	44° 51' 11"	10° 56' 59"	21
SGIA	44° 51' 33"	11° 02' 09"	20

Figura 2. Mappa dell'area interessata dalle attività del centro olio Cavone e delle stazioni sismiche presenti. I triangoli viola rappresentano le stazioni della rete locale di Cavone, i triangoli verdi le stazioni della rete nazionale INGV, i cerchi gialli i pozzi di produzione del campo, mentre col simbolo del pozzo è specificato il punto di reiniezione. Il contorno ocra rappresenta l'estensione del giacimento. La linea blu delinea il limite del Dominio Interno (DI), mentre quella verde il Dominio Esteso (DE).



A integrazione della rete sismica locale (codice VO registrato sul sito dell'International Federation of Digital Seismograph Network, FDSN, <http://www.fdsn.org/networks/detail/VO/>), 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). La sismicità in esame nella sperimentazione in atto (e in generale nel monitoraggio delle attività antropiche) consta principalmente di terremoti locali di bassissima energia che vengono registrati solo dalle 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 costantemente).

Le otto stazioni INGV sono mostrate nella mappa di Figura 2: 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.

Complessivamente, la rete sismica utilizzata per l'analisi della microsismicità consta dunque di 4 sismometri gestiti dal concessionario e 8 della rete sismica nazionale INGV. La rete così composta non risponde appieno alle indicazioni degli ILG, ma rappresenta un passo nella direzione del potenziamento progressivo e graduale della rete di monitoraggio, secondo il principio di valorizzazione della struttura osservativa esistente (secondo raccomandazioni degli ILG) e permette di condurre la sperimentazione necessaria.

Dati sismici del quarto trimestre 2019

Nel periodo ottobre-dicembre 2019 la rete di monitoraggio sismico locale del centro olio Cavone ha registrato e localizzato 1 terremoto di bassa energia (ML 1.0 presente nel catalogo LabCavone) mentre gli eventi presenti nel bollettino INGV sono 3, limitando la ricerca a un raggio di 30 km da San Possidonio. Nessuno dei 4 eventi è comune a entrambi i cataloghi associati alle 2 reti sismiche prese separatamente e le loro localizzazioni vengono riportate in Tabella 2. Tramite l'analisi integrata dei segnali sismici registrati alle 4 stazioni locali e alle stazioni INGV più vicine (generalmente si tratta di CAVE e NDIM, sporadicamente RAVA, e quasi unicamente per gli eventi del catalogo INGV le altre stazioni) è stato possibile ri-localizzare con maggiore precisione i 4 eventi come mostrato nella mappa di Figura 3 e riportato in Tabella 3.

N	DATA (aaaa-mm-gg)	ORA (UTC)	Lon. E (°)	Lat. N (°)	Prof. (km)	ML	Localizzazioni
1	2019-10-01	21:29	11.0380	44.8780	5.4	1.0	LabCavone
2	2019-10-04	13:23	11.2722	44.9177	3.2	2.3	INGV-ONT
3	2019-10-31	08:22	10.7658	44.7767	25.1	2.5	INGV-ONT
4	2019-12-18	18:07	11.3020	44.8352	7.4	1.8	INGV-ONT

Tabella 2. Elenco degli eventi registrati nel periodo ottobre-dicembre 2019 e loro localizzazioni calcolate da LabCavone e INGV-ONT. Le colonne riportano da sinistra a destra: numero dell'evento, data, ora (UTC), longitudine, latitudine, profondità, magnitudo locale (ML), e provenienza della localizzazione da catalogo LabCavone o INGV-ONT. Le celle scure evidenziano l'unico evento localizzato all'interno del DI.

N	DATA (aaaa-mm-gg)	ORA (UTC)	Lon. E (°)	Lat. N (°)	Prof. (km)	Mw	PGA (%g)	PGV (cm/s)
1	2019-10-01	21:29	11.0268	44.8748	4.89	1.69	0.018	0.003
2	2019-10-04	13:23	11.4073	44.8993	11.08	2.83	0.017	0.005
3	2019-10-31	08:22	11.0358	44.9453	13.46	2.97	0.03	0.012
4	2019-12-18	18:07	11.2575	44.8503	11.38	2.48	0.02	0.005

Tabella 3. Elenco degli eventi registrati nel periodo ottobre-dicembre 2019 e loro localizzazioni come calcolate nell'ambito della sperimentazione dall'INGV-SPM. Le colonne riportano da sinistra a destra: numero dell'evento, data, ora (UTC), longitudine, latitudine, profondità, magnitudo momento (Mw), valore di picco di accelerazione (PGA in %g) e valore di picco di velocità (PGV in cm/s). Le celle scure evidenziano l'unico evento localizzato all'interno del DI.

La magnitudo riportata in Tabella 3 è la magnitudo momento (M_w) stimata ad hoc per questa zona, grazie anche all'analisi di 250 eventi locali registrati dalla rete di Cavone tra il 2010 e il 2018 (con esclusione del periodo della sequenza sismica dell'Emilia nel 2012), per eventi di bassa energia (Munafò et al., 2016). La magnitudo momento ha il vantaggio di essere più direttamente collegata all'energia sismica rilasciata dal terremoto rispetto alla stima di magnitudo locale (ML).

Abbiamo anche calcolato la PGA e la PGV osservate per tutti i 4 eventi, riportiamo i valori massimi raggiunti tra tutte le diverse stazioni alle componenti orizzontali per ogni evento in Tabella 3.

Dei 4 eventi, 3 si localizzano esternamente ai domini di definizione e 1 evento è invece localizzato internamente al DI (come visibile dalla Figura 3 e Figura 4, e riportato in Tabella 3), ma con magnitudo locale ML 1 (come da bollettino di LabCavone) e quindi minore di 1.5. Una magnitudo superiore a questa soglia riportata a titolo di esempio negli ILG (e in Figura 5 riportiamo la suddivisione nei livelli di attivazione con i valori indicativi) 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). I valori di PGA e PGV rimangono ampiamente sotto la soglia del livello di attenzione per tutti gli eventi.

Osserviamo tuttavia che la magnitudo momento per lo stesso evento risulta essere di 1.69, sensibilmente più alta. Variazioni di questo ordine di grandezza tra diverse scale di magnitudo sono normali, risulta quindi importante definire il tipo di magnitudo che deve fare da riferimento per l'applicazione delle ILG.

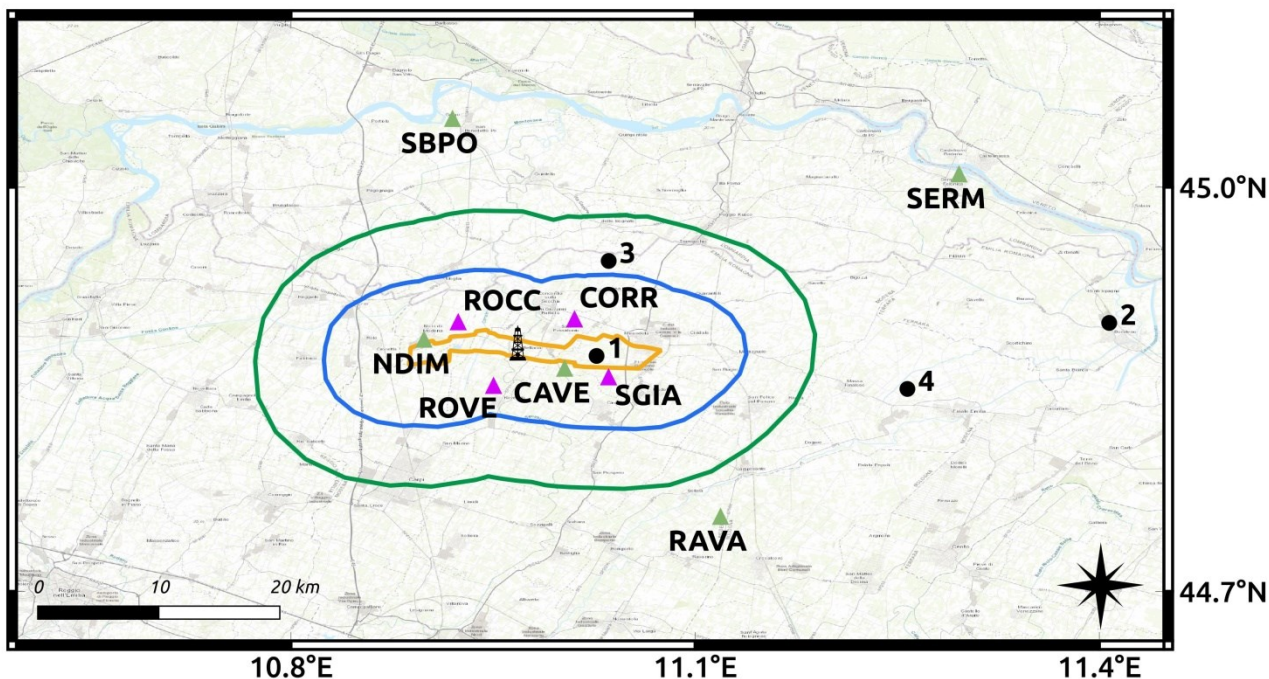


Figura 3. Mappa delle localizzazioni dei 4 eventi calcolate tramite questa analisi. Il poligono ocra rappresenta l'estensione del giacimento Cavone, la linea blu rappresenta il limite del Dominio Interno (DI), quella verde il Dominio Esteso (DE). I triangoli viola rappresentano le stazioni della rete di Cavone, i triangoli verdi le stazioni della rete INGV (RSN). I cerchi neri mostrano gli epicentri degli eventi analizzati con associato il numero in ordine di occorrenza come da Tabella 3.

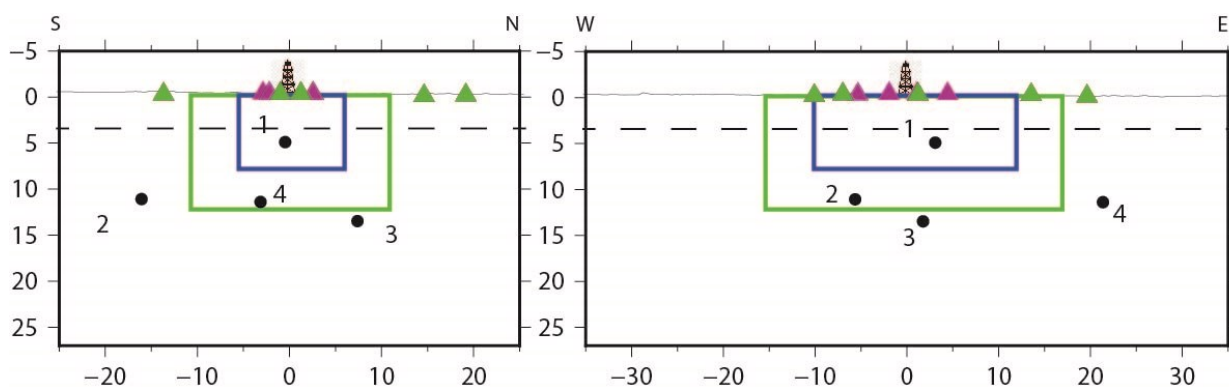


Figura 4. Sezioni verticali sud-nord (S-N) e ovest-est (W-E) che mostrano la localizzazione degli ipocentri dei 4 eventi registrati in questo ultimo trimestre (cerchi neri) e localizzati nei dintorni del giacimento di Cavone da INGV-SPM. I triangoli indicano le stazioni (verde INGV e viola per quelle locali), i contorni blu e verde rappresentano i limiti dei due volumi DI e DE, il rettangolo blu indica la posizione del pozzo di reiniezione Cavone 14. La linea continua delinea la superficie del terreno mentre quella tratteggiata la profondità del giacimento.

Tabella 4. Tabella riassuntiva degli eventi analizzati e di come ricadono all'interno dei due Domini definiti la concessione di Mirandola, nel quarto trimestre (ottobre-dicembre) del 2019.

DOMINIO	EVENTI
INTERNO (5 km dal giacimento)	1 con ML < 1.5 (ML=1, Mw=1.69)
ESTESO (5–10 km dal giacimento)	0

Si fa notare che le soglie definite negli 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 negli ILG durante la fase sperimentazione in atto. Sebbene gli ILG siano carenti di indicazioni riguardo la scala di magnitudo da prendere in considerazione: ML e Mw mostrano valori sensibilmente diversi che non possono essere confrontati direttamente tra loro né tantomeno possono sottostare agli stessi valori di soglia. Analizzando i dati sismici del secondo e terzo trimestre 2019, abbiamo osservato come i valori di soglia definiti negli ILG e riportati in Figura 5b non siano riferibili a valori di Mw, sia per questioni pratiche (la stima di Mw per eventi di piccola energia è complicata da eseguire ed è difficile ottenerla in tempo quasi reale), sia perché i valori di Mw sono maggiori dei valori di ML per basse magnitudo e quindi tutti gli eventi farebbero scattare un qualche livello di attivazione.

a)	Livello di attivazione	Stato corrispondente	b)	Livello di attivazione	Semaforo	M_{max}	PGA	PGV
							(% g)	(cm/s)
	0	Ordinarietà		0	Verde	$M_{max} \leq 1.5$	-	-
	1	Attenzione		1	Giallo	$M_{verde} \leq M_{max} \leq 2.2$	0.5	0.4
	2	Riduzione delle attività		2	Arancio	$M_{giallo} \leq M_{max} \leq 3.0$	2.4	1.9
	3	Sospensione delle attività		3	Rosso	$M_{arancio} < M_{max}$	6.7	5.8

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.

Monitoraggio delle pressioni di poro

Non è possibile eseguire un vero e proprio monitoraggio continuo delle pressioni di poro dato che 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 (in m³) e alla pressione di iniezione di testa pozzo a Cavone 14 (in bar), misurate con cadenza giornaliera da gennaio 2019 a dicembre 2019.

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 verdi) con localizzazioni interne al DI. Ad una ispezione visiva non sembra si possa rilevare alcun legame tra l'accadimento degli eventi e l'attività al pozzo re-iniettore.

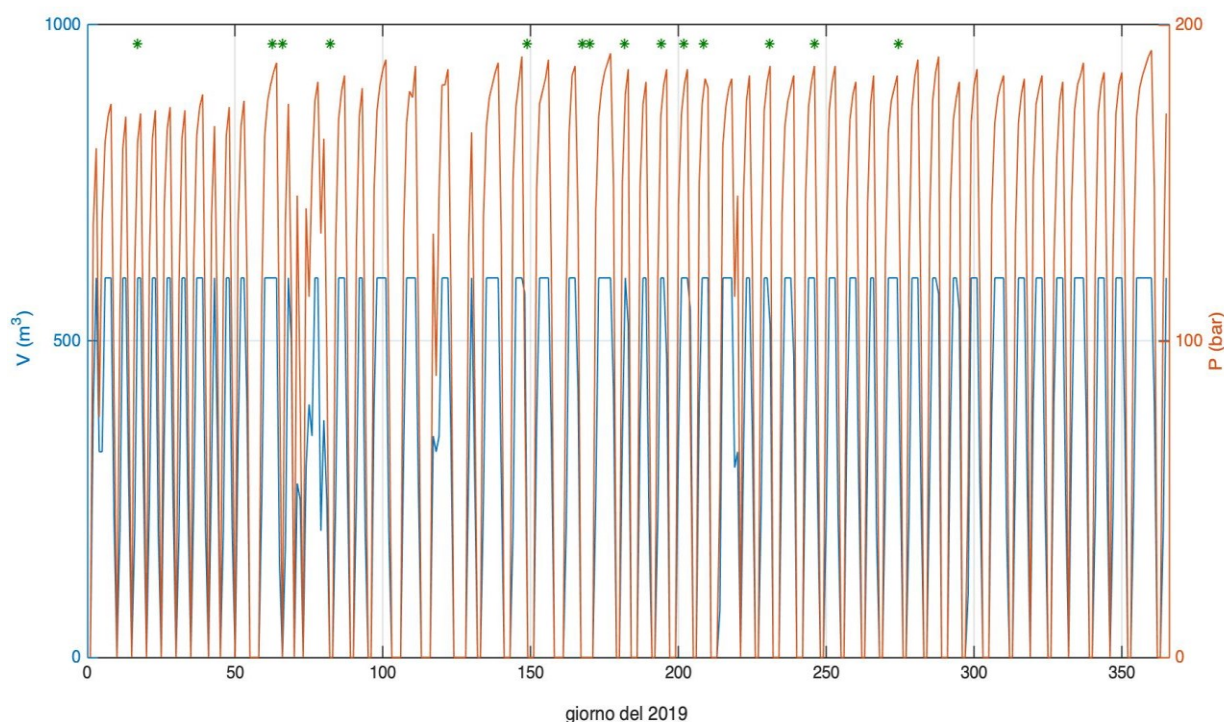


Figura 6. Andamento temporale dell'attività industriale al pozzo Cavone 14 di reiniezione delle acque di strato nel periodo gennaio-dicembre 2019 (dal giorno 1 al 365 del 2019). In blu i volumi giornalieri di acqua iniettati e in rosso la pressione corrispondente. Gli asterischi verdi indicano i tempi di occorrenza degli eventi sismici localizzati all'interno del DI.

Conclusioni

La rete sismica usata per il monitoraggio della microsismicità nei domini definiti per la concessione di Mirandola si compone di 4 stazioni locali gestite dal concessionario e 8 stazioni INGV in un raggio (sovradimensionato) di 50 km intorno al comune di San Possidonio (sito grossomodo nel punto centrale della proiezione in superficie del giacimento). L'analisi della sismicità registrata nel quarto trimestre 2019 ha permesso di localizzare 4 eventi locali di magnitudo Mw comprese tra 1.69 e 2.97. Le stime di PGA e PGV mostrano valori massimi di 0.03 % g e 0.012 cm/s rispettivamente, per l'evento di magnitudo maggiore ma esterno ai domini di attenzione (valori comunque ampiamente al di sotto delle soglie definite per il semaforo negli ILG). Dei 4 eventi analizzati, solo 1 ricade all'interno dell'area definita come Dominio Interno (DI) e ha magnitudo locale inferiore alla soglia (puramente indicativa) di 1.5 riportata negli ILG come valore utile per far passare al livello di attivazione n.1 (semaforo giallo).

La rete GPS si compone di una stazione installata dal concessionario in data 18 dicembre 2018. La trasmissione dei dati è già stata resa possibile ma l'analisi riguarderà tutto l'anno di dati disponibili (e verrà inclusa nella relazione finale della sperimentazione).

Le pressioni di poro di fondo pozzo sono misurate dal concessionario annualmente in occasione del fermo per manutenzione. Quelle di testa pozzo sono state passate alla SPM in formato di dato giornaliero il cui andamento temporale viene messo a confronto con l'occorrenza temporale degli eventi sismici localizzati internamente al DI in Figura 6. Ad una ispezione visiva, non sembra sussistere nessuna connessione tra i due processi, ci riserviamo di riesaminare l'esistenza di una relazione in modo più quantitativo nella relazione finale.

Appendice A

Concessione di coltivazione idrocarburi "Mirandola" Monitoraggio Sismico - Anno 2019, Relazione n. 1

A1. Caratteristiche tecniche della rete di monitoraggio sismico

La rete di monitoraggio sismico del centro olio Cavone si compone delle quattro stazioni CORR, ROCC, ROVE, e SGIA elencate in Tabella 1 e indicate con triangoli viola nella mappa di Figura 2. Sono tutte equipaggiate con strumenti di tipo Dymas 24 della SolGeo (che hanno sostituito i vecchi acquisitori Mars88 della Lennartz con l'aggiornamento delle rete effettuato il 18 dicembre 2018) e sismometro Lennartz LE3D-1s triassiale della Lennartz Electronic. La frequenza di campionamento è di 200 campioni al secondo (passo di 0.005 s) che consentono una risoluzione fino alla frequenza massima di 80 Hz. Con questa conformazione l'attuale rete sismica acquisisce in continuo dati che vengono sincronizzati temporalmente tramite il segnale GPS.

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 co-locati, 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 quarto trimestre

Nel quarto trimestre del 2019 sono stati registrati e localizzati 4 terremoti locali. Il sito LabCavone (<http://labcavone.it/>) riporta solo 1 evento, mentre il bollettino sismico INGV (<http://cnt.rm.ingv.it/>), effettuando una ricerca degli eventi del quarto trimestre 2019 localizzati entro un raggio di 30 km intorno a San Possidonio (parametri concordati nel corso della riunione del comitato operativo del 10/10/2018) riporta 3 eventi. Nessun evento è comune ai due bollettini. I terremoti 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 sulle stazioni INGV più vicine (all'epicentro del terremoto). 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).

In Tabella A1 sono riportati i risultati delle nostre localizzazioni per i 4 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 e dall'INGV.

N	DATA (aaaa-mm-aa)	ORA (UTC)	Lon. E (°)	Lat. N (°)	Prof. (km)	ERH	ERZ	RMS (s)
1	2019-10-01	21:29	11.0268	44.8748	4.89	0.6	0.6	0.0471
2	2019-10-04	13:23	11.4073	44.8993	11.08	1.4	99.0	0.4450
3	2019-10-31	08:22	11.0358	44.9453	13.46	5.4	5.3	0.4729
4	2019-12-18	18:07	11.2575	44.8503	11.38	1.2	99.0	0.7097

Tabella A1. Lista degli eventi registrati nel quarto trimestre 2019, con i risultati della localizzazione, e gli errori associati, calcolata attraverso l'analisi della SPM. La riga grigia evidenzia gli eventi localizzati dentro il DI. Le colonne riportano da sinistra verso destra, il numero assegnato all'evento, la data, l'ora, longitudine e latitudine (in gradi), profondità (in km), errore sul piano orizzontale, errore sull'asse verticale ed errore quadratico medio (RMS).

Si nota come i due ipocentri di LabCavone e della SPM per l'evento 1 (del 1 ottobre 2019) e i due epicentri (di INGV e di SPM) dell'evento 4 (del 18 dicembre 2019) cadano vicini con differenze dettate probabilmente dal diverso *software* utilizzato e/o dalle inevitabili differenze nelle letture delle fasi P e S. La localizzazione effettuata dalla SPM per quanto riguarda gli eventi 2 (del 4 ottobre 2019) e 3 (del 31 ottobre 2019) differisce moltissimo rispetto a quella del bollettino INGV. In realtà per questi due eventi la qualità di localizzazione è veramente scarsa e tali eventi potrebbero essere definiti

come “non localizzabili” nonostante l’aggiunta dei dati provenienti dalle stazioni della rete di Cavone che aiutano a migliorare la soluzione, soprattutto nella determinazione della profondità.

Per quanto concerne le magnitudo abbiamo differenze di valori dovuti alle diverse scale di considerate che si basano su valutazioni indipendenti e non direttamente confrontabili (come accennato in precedenza). La magnitudo locale ML si basa infatti sull’ampiezza massima registrata, mentre la magnitudo momento M_w per eventi di bassa energia l’abbiamo calcolata sulla base dello spettro di frequenze con il metodo di Brune (Munafò et al., 2016).

Le PGA e le PGV sono state calcolate dopo aver effettuato la correzione strumentale come il valore massimo in valore assoluto. Seguendo gli ILG abbiamo riportato in Tabella 3 il valore massimo registrato tra tutte le componenti (E, N, e Z). Si segnala però che gli ILG fanno riferimento ai valori usati per le *shakemap*, il cui codice nelle più recenti versioni prende in considerazione il valore massimo delle sole componenti orizzontali (come deducibile consultando una mappa sul sito <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/23558121/intensity.html>), auspichiamo quindi un aggiornamento degli ILG in tale senso. Analizzando poi i valori registrati a tutti i sensori disponibili delle stazioni INGV, che in qualche caso ospitano sia velocimetro che accelerometro (si veda elenco in appendice A1), abbiamo riscontrato che i valori di picco agli accelerometri potrebbero non essere affidabili per eventi di così bassa energia: ci riserviamo di analizzare meglio la questione in futuro. Per questo motivo qui riportiamo PGA e PGV stimate dai segnali dei velocimetri.

Di questi quattro eventi, solo un evento (n.1 del 1 ottobre 2019) ricade, secondo le nostre localizzazioni, all’interno del DI (Figura A1 e Figura A2).

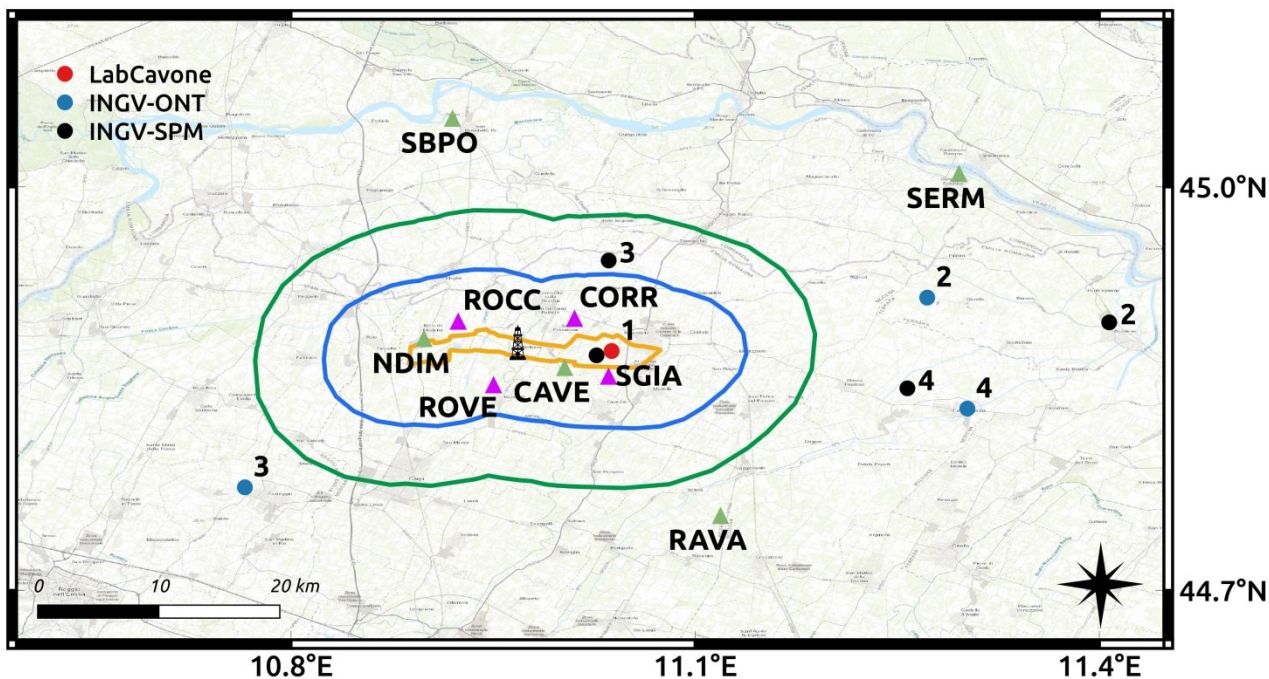


Figura A1. Mappa degli eventi localizzati nel quarto trimestre del 2019 da LabCavone, INGV e dalla SPM con questa analisi. I triangoli viola e verdi identificano le stazioni sismiche della rete locale di Cavone e dell'INGV rispettivamente. I cerchi neri mostrano gli epicentri come calcolati dall'INGV-SPM (Tabella 3), mentre i cerchi rossi e blu rappresentano gli epicentri degli stessi eventi come calcolati da LabCavone e INGV, rispettivamente. Il contorno blu delimita l'estensione del DI, mentre quello in verde l'estensione del DE. I limiti del giacimento sono riportati in color ocra.

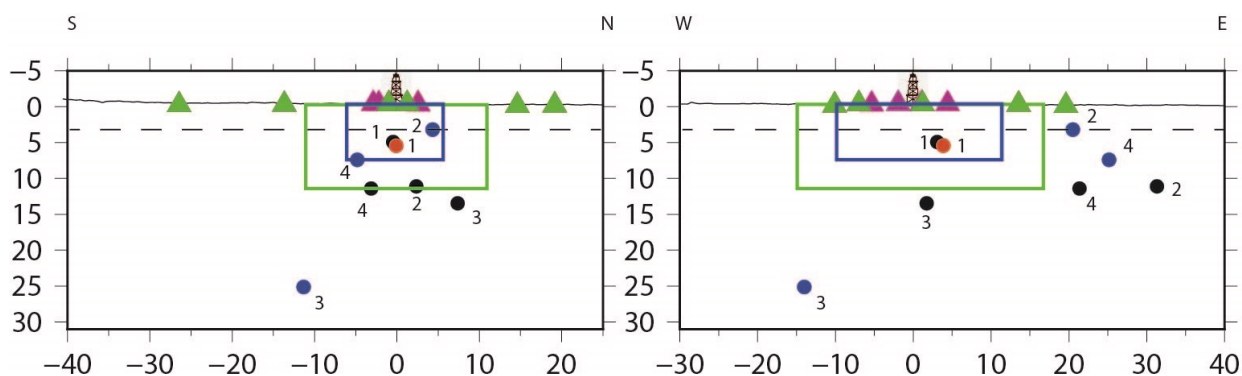


Figura A2. Sezioni verticali della sismicità localizzata. In nero gli ipocentri calcolati dall'INGV-SPM. I cerchi rossi e blu rappresentano gli ipocentri degli stessi eventi come riportati in LabCavone e INGV, rispettivamente. La linea continua orizzontale delinea la superficie del terreno, quella tratteggiata la profondità del giacimento. La linea blu schematizza il contorno del DI mentre la linea verde schematizza il DE.

A3. Analisi di dettaglio e discussione

L'analisi effettuata come SPM, integrando, cioè, i dati delle due reti sismiche (VO e IV) per i 4 eventi, mostra risultati abbastanza eterogenei:

- l'evento n°1 (1 ottobre 2019) della Tabella A1 viene localizzato sia da LabCavone che da SPM all'interno del Dominio Interno. Le due localizzazioni sono molto simili, anche per quanto riguarda la profondità.
- gli eventi n°2 e n°3 (4 e 31 ottobre 2019) della Tabella A1 hanno delle localizzazioni molto distanti tra INGV e SPM, sia sul piano orizzontale che in profondità
- l'evento n°4 (18 dicembre 2019) della Tabella A1 viene localizzato sia da INGV che da SPM al di fuori del DE, nella parte a Sud-Est del giacimento, con differenza di circa 3 km sull'orizzontale e di circa 5 km sulla profondità.

Le differenze principali nelle localizzazioni, come già evidenziato nelle precedenti relazioni, sono molto probabilmente legate alla differenza del software di localizzazione, del numero di stazioni (fasi piccate) prese in considerazione e del modello di velocità 1-D utilizzato. Il modello utilizzato da ENI è sicuramente il migliore disponibile per quanto riguarda l'area del giacimento, mentre a livello regionale, o meglio, già al di fuori del DE, non è più rappresentativo. Abbiamo quindi approfittato di questi dati per effettuare due test in grado di fare chiarezza sui possibili motivi di discrepanza delle diverse localizzazioni. In particolare, poiché gli eventi n°2 e n°3, rispettivamente di ML 2.3 e 2.5, sono stati registrati da un numero elevato di stazioni della Rete Sismica Nazionale INGV, per questi due eventi abbiamo provato a fare un **TEST_1** di localizzazione, che utilizza un numero maggiore di stazioni della RSN, anche abbastanza lontane (oltre a SBPO, SERM, FERS, già incluse nella rete integrata di Cavone, abbiamo considerato anche ROVR, ZCCA, ZOVE). I risultati di questo TEST_1 (Tabella A2, righe azzurre) mostrano che per entrambi gli eventi la localizzazione si stabilizza in maniera consistente rispetto alla precedente, probabilmente perché, oltre all'aumento del numero di stazioni e di letture di fase utilizzate (che quasi raddoppiano passando da 7 a 12 e 13 rispettivamente), si abbassa il gap azimutale (massima distanza angolare tra le stazioni che partecipano alla localizzazione).

N	Loc.	Lon. E (°)	Lat. N (°)	Prof. (km)	ERH	ERZ	GAP	RMS (s)	FASI	T ₀	D (km)
1	SPM	11.0268	44.8748	4.89	0.6	0.6	182	0.0471	8	28.15	0.96
1	TEST_1	11.0268	44.8748	4.89	0.6	0.6	182	0.0471	8	28.15	0.96
1	TEST_2	11.1108	44.8798	9.45	1.1	0.8	322	0.1108	8	27.85	5.76
2	SPM	11.4073	44.8993	11.08	1.4	99.0	179	0.4450	7	19.77	10.86
2	TEST_1	11.2967	44.8970	5.53	0.5	99.0	133	0.0810	12	21.21	3.01
2	TEST_2	11.3730	44.9228	7.29	0.5	1.6	126	0.1733	12	21.74	7.98
3	SPM	11.0358	44.9453	13.46	5.4	5.3	318	0.4729	7	11.21	28.39
3	TEST_1	10.6393	44.8742	4.57	0.9	0.8	226	1.0988	13	8.94	14.74
3	TEST_2	10.6112	44.8538	3.23	1.3	1.5	230	0.9355	13	10.64	14.93
4	SPM	11.2575	44.8503	11.38	1.2	99.0	217	0.7097	5	10.31	3.90
4	TEST_1	11.2575	44.8503	11.38	1.2	99.0	217	0.7097	5	10.31	3.90
4	TEST_2	11.3030	44.8465	12.01	1.5	8.3	237	0.5887	5	11.52	1.26

Tabella A2. Confronto tra i diversi tipi di localizzazione indicati come SPM, TEST_1 e TEST_2, ottenuti rispettivamente con le modalità standard, l'aggiunta di stazioni lontane e utilizzando il modello ENI (righe in blu), l'aggiunta di stazioni lontane e modello SALA_INGV (righe gialle). Le colonne riportano da sinistra verso destra il numero assegnato all'evento, il metodo di localizzazione, longitudine e latitudine (in gradi), profondità (in km), errore sul piano orizzontale, errore sull'asse verticale, gap azimutale (massimo angolo fra stazioni), errore quadratico medio (RMS), numero di fasi (pickings) usate per localizzare, tempo origine, T₀ (in secondi) e distanza (D, in km) con la localizzazione riportata nel bollettino in cui è presente l'evento (LabCavone per il primo evento, INGV per tutti gli altri).

Inoltre abbiamo effettuato un *TEST_2* per vedere l'influenza del modello di velocità sulla localizzazione di tutti e 4 gli eventi. Abbiamo confrontato i risultati ottenuti utilizzando il modello ENI (quello utilizzato in tutte le precedenti localizzazioni), con analoghi risultati ottenuti tramite il modello a scala regionale utilizzato nella sala di monitoraggio dell'INGV, denominato SALA_INGV. I risultati (riportati in Tabella A2, righe gialle) mostrano come la localizzazione del primo evento diminuisca in precisione (aumentano RMS, GAP ed errori ERH e ERZ) sebbene si confermi all'interno del DI. Le localizzazioni degli eventi 2 e 3 si mantengono grossomodo paragonabili a quelle ottenute con il TEST_1, ovvero migliorando rispetto alla localizzazione SPM ma restano poco affidabili a causa degli elevati valori di RMS e degli errori associati.

L'evento n.4 invece migliora (minore RMS e ERZ) spostandosi più vicino alla localizzazione presente nel bollettino INGV.

In Tabella A2, Figura A3 e Figura A4 mostriamo i diversi tipi di localizzazione a confronto. Abbiamo quindi calcolato le distanze ipocentrali ottenute dai tre tipi di localizzazione mostrati come SPM (ordinaria, TEST_1, TEST_2) e le localizzazioni riportate dai bollettini di LabCavone e INGV, graficandone l'andamento nell'istogramma di Figura A5. All'aumento del numero di stazioni ovviamente corrisponde una migliore localizzazione, ma è possibile solo nel caso di eventi energetici, mentre l'utilizzo del modello di velocità SALA_INGV migliora la localizzazione degli eventi esterni ai domini di rilevazione, con un possibile lieve peggioramento delle soluzioni ottenute per gli eventi interni, che sono il reale interesse di questo monitoraggio.

In conclusione questi test ci hanno aiutato a capire che localizzazioni poco affidabili con distanze anche di alcune decine di km rispetto a quelle presenti nel bollettino INGV-ONT sono facilmente migliorabili attraverso l'aggiunta di stazioni lontane (se le magnitudo sono abbastanza elevate) e l'uso del modello di velocità SALA_INGV valido a scala regionale. Ma per gli eventi localizzati internamente al DI che sono l'oggetto della nostra analisi, manteniamo le scelte operate finora che si dimostrano le migliori (modello di velocità ENI, integrazione con le stazioni IV più vicine al giacimento).

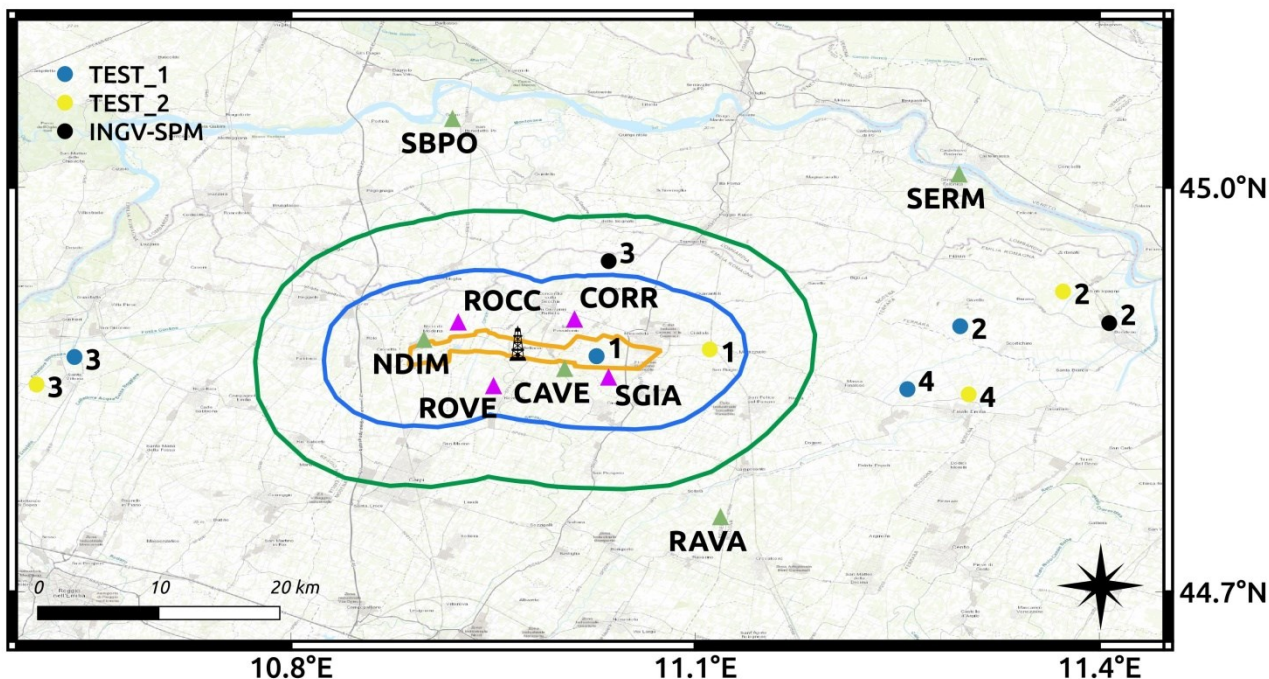


Figura A3. Mappa di confronto tra le localizzazioni ottenute con le due diverse modalità di localizzazione utilizzate nei TEST_1 e TEST_2, corrispondenti rispettivamente a localizzazioni effettuate prendendo in considerazione anche stazioni più lontane e i modelli di velocità ENI (cerchi blu) o SALA_INGV (cerchi gialli).

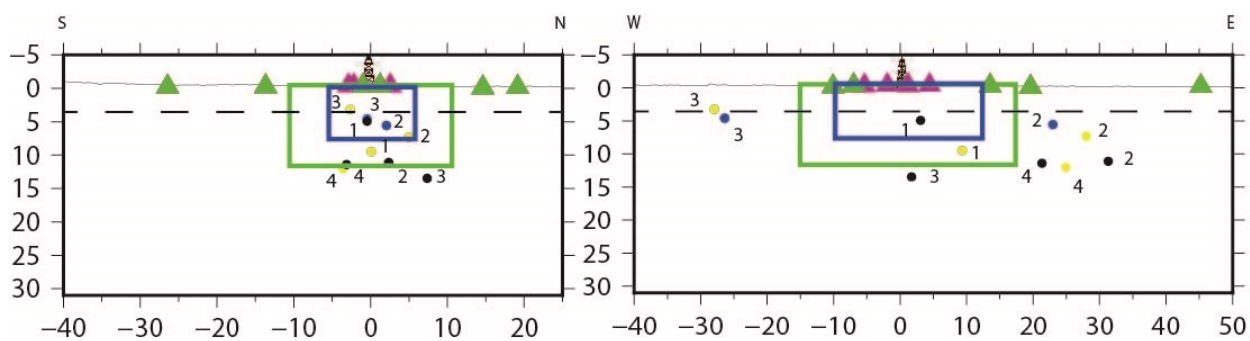


Figura A4. Sezioni verticali della sismicità localizzata con i due diversi test dalla SPM. I cerchi blu rappresentano gli ipocentri degli stessi eventi localizzati nel TEST_1 utilizzando le registrazioni alle stazioni più lontane, mentre i cerchi gialli rappresentano gli ipocentri degli stessi eventi localizzati utilizzando il modello di SALA_INGV (TEST_2). La linea continua orizzontale delinea la superficie del terreno, quella tratteggiata la profondità del giacimento. La linea blu schematizza il contorno del DI mentre la linea verde schematizza il DE.

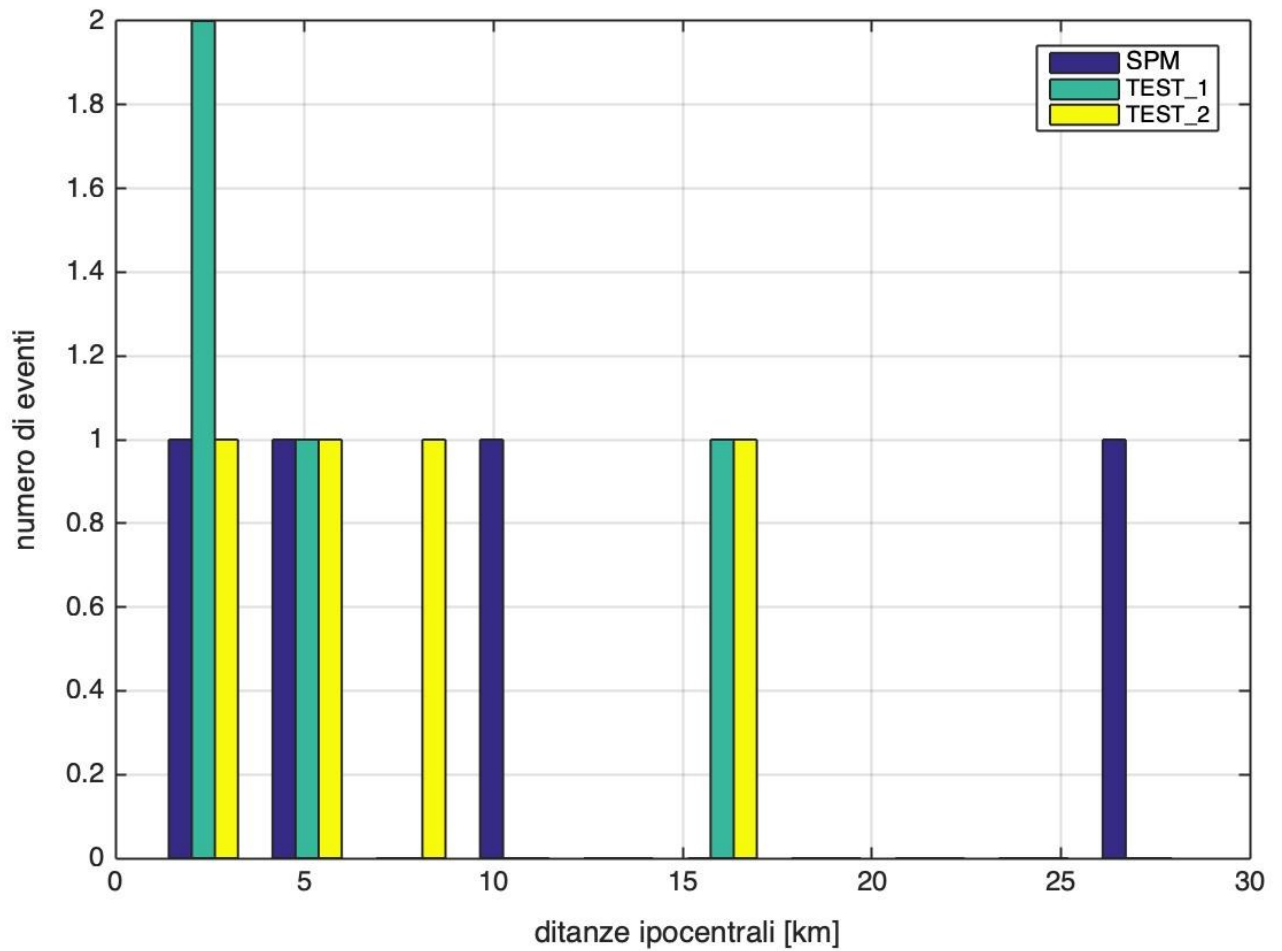


Figura A5. Istogramma delle distanze ipocentrali tra le localizzazioni degli eventi risultanti dai cataloghi LabCavone e INGV rispetto all'analisi eseguita nella sperimentazione del monitoraggio dalla SPM (barre blu). Le barre verdi e gialle mostrano le stesse distanze ipocentrali, con le localizzazioni della SPM ottenute secondo le modalità suggerite dai TEST_1 e TEST_2, ovvero con l'aggiunta di stazioni lontane e con modello di velocità SALA_INGV.

A4. Tempi di arrivo

Tabella A3. Per ogni evento del quarto trimestre riportiamo qui i tempi di arrivo delle fasi P e S a ogni stazione della rete integrata (VO+IV), utilizzati per la localizzazione. La riga grigia evidenzia gli eventi localizzati dentro il DI. Le colonne indicano numero dell'evento, data, ora, codice rete, stazione, tempo arrivo P e tempo arrivo S.

N	DATA (aaaa-mm-gg)	ORA (UTC)	Codice rete	Stazione	Arrivo P (s)	Arrivo S (s)
1	2019-10-01	21:29	IV	CAVE	30.38	31.94
			VO	CORR	30.48	32.31
			VO	ROVE	31.23	33.75
			VO	SGIA	30.32	31.84
2	2019-10-04	13:23	IV	FERS	26.32	26.75
			IV	RAVA	27.38	31.80
			VO	CORR	27.65	32.11
			VO	SGIA	27.10	--
3	2019-10-31	08:22	IV	CAVE	15.53	20.41
			IV	NDIM	16.64	18.63
			VO	ROCC	15.40	19.01
			VO	ROVE	15.39	--
4	2019-12-18	18:07	IV	CAVE	17.48	19.60
			IV	RAVA	15.13	19.17
			IV	SERM	15.64	--

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 negli 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 negli 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/dettaglionotizia.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/>.

Munafò, I., Malagnini, L., Chiaraluce, L. (2016). On the relationship between M_w and M_L for small earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(5), 2402–2408; doi:10.1785/0120160130.

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).

Elenco delle figure

- 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. 6
- FIGURA 2. MAPPA DELL'AREA INTERESSATA DALLE ATTIVITÀ DEL CENTRO OLIO CAVONE E DELLE STAZIONI SISMICHE PRESENTI. I TRIANGOLI VIOLA RAPPRESENTANO LE STAZIONI DELLA RETE LOCALE DI CAVONE, I TRIANGOLI VERDI LE STAZIONI DELLA RETE NAZIONALE INGV, I CERCHI GIALLI I POZZI DI PRODUZIONE DEL CAMPO, MENTRE COL SIMBOLO DEL POZZO È SPECIFICATO IL PUNTO DI REINIEZIONE. IL CONTORNO OCRA RAPPRESENTA L'ESTENSIONE DEL GIACIMENTO. LA LINEA BLU DELINEA IL LIMITE DEL DOMINIO INTERNO (DI), MENTRE QUELLA VERDE IL DOMINIO ESTESO (DE). 8
- FIGURA 3. MAPPA DELLE LOCALIZZAZIONI DEI 4 EVENTI CALCOLATE TRAMITE QUESTA ANALISI. IL POLIGONO OCRA RAPPRESENTA L'ESTENSIONE DEL GIACIMENTO CAVONE, LA LINEA BLU RAPPRESENTA IL LIMITE DEL DOMINIO INTERNO (DI), QUELLA VERDE IL DOMINIO ESTESO (DE). I TRIANGOLI VIOLA RAPPRESENTANO LE STAZIONI DELLA RETE DI CAVONE, I TRIANGOLI VERDI LE STAZIONI DELLA RETE INGV (RSN). I CERCHI NERI MOSTRANO GLI EPICENTRI DEGLI EVENTI ANALIZZATI CON ASSOCIATO IL NUMERO IN ORDINE DI OCCORRENZA COME DA TABELLA 3. 11
- FIGURA 4. SEZIONI VERTICALI SUD-NORD (S-N) E OVEST-EST (W-E) CHE MOSTRANO LA LOCALIZZAZIONE DEGLI IPOCENTRI DEI 4 EVENTI REGISTRATI IN QUESTO ULTIMO TRIMESTRE (CERCHI NERI) E LOCALIZZATI NEI DINTORNI DEL GIACIMENTO DI CAVONE DA INGV-SPM. I TRIANGOLI INDICANO LE STAZIONI (VERDE INGV E VIOLA PER QUELLE LOCALI), I CONTORNI BLU E VERDE RAPPRESENTANO I LIMITI DEI DUE VOLUMI DI E DE, IL RETTANGOLO BLU INDICA LA POSIZIONE DEL POZZO DI REINIEZIONE CAVONE 14. LA LINEA CONTINUA DELINEA LA SUPERFICIE DEL TERRENO MENTRE QUELLA TRATTEGGIATA LA PROFONDITÀ DEL GIACIMENTO. 11
- 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. 12
- FIGURA 6. ANDAMENTO TEMPORALE DELL'ATTIVITÀ INDUSTRIALE AL POZZO CAVONE 14 DI REINIEZIONE DELLE ACQUE DI SCARTO NEL PERIODO GENNAIO-DICEMBRE 2019 (DAL GIORNI 1 AL 365 DEL 2019). IN BLU I VOLUMI GIORNALIERI DI ACQUA INIETTATI E IN ROSSO LA PRESSIONE CORRISPONDENTE. GLI ASTERISCHI VERDI INDICANO I TEMPI DI OCCORRENZA DEGLI EVENTI SISMICI LOCALIZZATI ALL'INTERNO DEL DI. 13
- FIGURA A1. MAPPA DEGLI EVENTI LOCALIZZATI NEL QUARTO TRIMESTRE DEL 2019 DA LABCAVONE, INGV E DALLA SPM CON QUESTA ANALISI. I TRIANGOLI VIOLA E VERDI IDENTIFICANO LE STAZIONI SISMICHE DELLA RETE LOCALE DI CAVONE E DELL'INGV RISPETTIVAMENTE. I CERCHI NERI MOSTRANO GLI EPICENTRI COME CALCOLATI DALL'INGV-SPM (TABELLA 3), MENTRE I CERCHI ROSSI E BLU RAPPRESENTANO GLI EPICENTRI DEGLI STESSI EVENTI COME CALCOLATI DA LABCAVONE E INGV, RISPETTIVAMENTE. IL CONTORNO BLU DELIMITA L'ESTENSIONE DEL DI, MENTRE QUELLO IN VERDE L'ESTENSIONE DEL DE. I LIMITI DEL GIACIMENTO SONO RIPORTATI IN COLOR OCRA. 18
- FIGURA A2. SEZIONI VERTICALI DELLA SISMICITÀ LOCALIZZATA. IN NERO GLI IPOCENTRI CALCOLATI DALL'INGV-SPM. I CERCHI ROSSI E BLU RAPPRESENTANO GLI IPOCENTRI DEGLI STESSI EVENTI COME RIPORTATI IN LABCAVONE E INGV, RISPETTIVAMENTE. LA LINEA CONTINUA ORIZZONTALE DELINEA LA SUPERFICIE DEL

TERRENO, QUELLA TRATTEGGIATA LA PROFONDITÀ DEL GIACIMENTO. LA LINEA BLU SCHEMATIZZA IL
CONTORNO DEL DI MENTRE LA LINEA VERDE SCHEMATIZZA IL DE. 18

FIGURA A3. MAPPA DI CONFRONTO TRA LE LOCALIZZAZIONI OTTENUTE CON LE DUE DIVERSE MODALITÀ DI
LOCALIZZAZIONE UTILIZZATE NEI TEST_1 E TEST_2, CORRISPONDENTI RISPETTIVAMENTE A
LOCALIZZAZIONI EFFETTUATE PRENDENDO IN CONSIDERAZIONE ANCHE STAZIONI PIÙ LONTANE E I MODELLI
DI VELOCITÀ ENI (CERCHI BLU) O SALA_INGV (CERCHI GIALLI). 22

FIGURA A4. SEZIONI VERTICALI DELLA SISMICITÀ LOCALIZZATA CON I DUE DIVERSI TEST DALLA SPM. I CERCHI BLU
RAPPRESENTANO GLI IPOCENTRI DEGLI STESSI EVENTI LOCALIZZATI NEL TEST_1 UTILIZZANDO LE
REGISTRAZIONI ALLE STAZIONI PIÙ LONTANE, MENTRE I CERCHI GIALLI RAPPRESENTANO GLI IPOCENTRI
DEGLI STESSI EVENTI LOCALIZZATI UTILIZZANDO IL MODELLO DI SALA_INGV (TEST_2). LA LINEA
CONTINUA ORIZZONTALE DELINEA LA SUPERFICIE DEL TERRENO, QUELLA TRATTEGGIATA LA PROFONDITÀ
DEL GIACIMENTO. LA LINEA BLU SCHEMATIZZA IL CONTORNO DEL DI MENTRE LA LINEA VERDE
SCHEMATIZZA IL DE. 22

FIGURA A5. ISTOGRAMMA DELLE DISTANZE IPOCENTRALI TRA LE LOCALIZZAZIONI DEGLI EVENTI RISULTANTI DAI
CATALOGHI LABCAVONE E INGV RISPETTO ALL'ANALISI ESEGUITA NELLA SPERIMENTAZIONE DEL
MONITORAGGIO DALLA SPM (BARRE BLU). LE BARRE VERDI E GIALLI MOSTRANO LE STESSE DISTANZE
IPOCENTRALI, CON LE LOCALIZZAZIONI DELLA SPM OTTENUTE SECONDO LE MODALITÀ SUGGERITE DAI
TEST_1 E TEST_2, OVVERO CON L'AGGIUNTA DI STAZIONI LONTANE E CON MODELLO DI VELOCITÀ
SALA_INGV. 23

Elenco delle tabelle

TABELLA 1. ELENCO DELLE STAZIONI SISMICHE ATTIVE AL CENTRO OLIO CAVONE: NOMI E COORDINATE GEOGRAFICHE.	7
TABELLA 2. ELENCO DEGLI EVENTI REGISTRATI NEL PERIODO OTTOBRE-DICEMBRE 2019 E LORO LOCALIZZAZIONI CALCOLATE DA LabCavone e INGV-ONT. LE COLONNE RIPORTANO DA SINISTRA A DESTRA: NUMERO DELL'EVENTO, DATA, ORA (UTC), LONGITUDINE, LATITUDINE, PROFONDITÀ, MAGNITUDO LOCALE (ML), E PROVENIENZA DELLA LOCALIZZAZIONE DA CATALOGO LabCavone o INGV-ONT. LE CELLE SCURE EVIDENZIANO L'UNICO EVENTO LOCALIZZATO ALL'INTERNO DEL DI.	9
TABELLA 3. ELENCO DEGLI EVENTI REGISTRATI NEL PERIODO OTTOBRE-DICEMBRE 2019 E LORO LOCALIZZAZIONI COME CALCOLATE NELL'AMBITO DELLA SPERIMENTAZIONE DALL'INGV-SPM. LE COLONNE RIPORTANO DA SINISTRA A DESTRA: NUMERO DELL'EVENTO, DATA, ORA (UTC), LONGITUDINE, LATITUDINE, PROFONDITÀ, MAGNITUDO MOMENTO (Mw), VALORE DI PICCO DI ACCELERAZIONE (PGA IN %G) E VALORE DI PICCO DI VELOCITÀ (PGV IN CM/S). LE CELLE SCURE EVIDENZIANO L'UNICO EVENTO LOCALIZZATO ALL'INTERNO DEL DI.	9
TABELLA 4. TABELLA RIASSUNTIVA DEGLI EVENTI ANALIZZATI E DI COME RICADONO ALL'INTERNO DEI DUE DOMINI DEFINITI LA CONCESSIONE DI MIRANDOLA, NEL QUARTO TRIMESTRE (OTTOBRE-DICEMBRE) DEL 2019.	12
TABELLA A1. LISTA DEGLI EVENTI REGISTRATI NEL QUARTO TRIMESTRE 2019, CON I RISULTATI DELLA LOCALIZZAZIONE, E GLI ERRORI ASSOCIATI, CALCOLATA ATTRAVERSO L'ANALISI DELLA SPM. LA RIGA GRIGIA EVIDENZIA GLI EVENTI LOCALIZZATI DENTRO IL DI. LE COLONNE RIPORTANO DA SINISTRA VERSO DESTRA, IL NUMERO ASSEGNATO ALL'EVENTO, LA DATA, L'ORA, LONGITUDINE E LATITUDINE (IN GRADI), PROFONDITÀ (IN KM), ERRORE SUL PIANO ORIZZONTALE, ERRORE SULL'ASSE VERTICALE ED ERRORE QUADRATICO MEDIO (RMS).	16
TABELLA A2. CONFRONTO TRA I DIVERSI TIPI DI LOCALIZZAZIONE INDICATI COME SPM, TEST_1 E TEST_2, OTTENUTI RISPETTIVAMENTE CON LE MODALITÀ STANDARD, L'AGGIUNTA DI STAZIONI LONTANE E UTILIZZANDO IL MODELLO ENI (RIGHE IN BLU), L'AGGIUNTA DI STAZIONI LONTANE E MODELLO SALA_INGV (RIGHE GIALLE). LE COLONNE RIPORTANO DA SINISTRA VERSO DESTRA IL NUMERO ASSEGNATO ALL'EVENTO, IL METODO DI LOCALIZZAZIONE, LONGITUDINE E LATITUDINE (IN GRADI), PROFONDITÀ (IN KM), ERRORE SUL PIANO ORIZZONTALE, ERRORE SULL'ASSE VERTICALE, GAP AZIMUTALE (MASSIMO ANGOLO FRA STAZIONI), ERRORE QUADRATICO MEDIO (RMS), NUMERO DI FASI (PICKINGS) USATE PER LOCALIZZARE, TEMPO ORIGINE, T_0 (IN SECONDI) E DISTANZA (D, IN KM) CON LA LOCALIZZAZIONE RIPORTATA NEL BOLLETTINO IN CUI È PRESENTE L'EVENTO (LabCavone PER IL PRIMO EVENTO, INGV PER TUTTI GLI ALTRI).	20
TABELLA A3. PER OGNI EVENTO DEL QUARTO TRIMESTRE RIPORTIAMO QUI I TEMPI DI ARRIVO DELLE FASI P E S A OGNI STAZIONE DELLA RETE INTEGRATA (VO+IV), UTILIZZATI PER LA LOCALIZZAZIONE. LA RIGA GRIGIA EVIDENZIA GLI EVENTI LOCALIZZATI DENTRO IL DI. LE COLONNE INDICANO NUMERO DELL'EVENTO, DATA, ORA, CODICE RETE, STAZIONE, TEMPO ARRIVO P E TEMPO ARRIVO S.	24