



Concessione di stoccaggio di gas naturale
“Minerbio stoccaggio” (BO)
Struttura Preposta al Monitoraggio
Anno di esercizio 2018
Relazione Trimestrale N.1



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Progetto: SPERIMENTAZIONE ILG MINERBIO STOCCAGGIO

(Codice progetto: 913; Codice CUP: D81I18000300004)

UR-Milano / UR-Bologna

Giugno 2018

INDICE

1. Premessa	3
2. Sintesi dell'attività svolta (Dati periodo Gennaio-Marzo 2018)	4
3. Introduzione: assetto geologico	4
4. Attività precedente l'attivazione della Convenzione con il Comune di Minerbio	5
5. Monitoraggio sismico: attività sui dati del primo trimestre 2018.....	7
6. Monitoraggio delle deformazioni del suolo da stazioni GPS: analisi dei dati sino a marzo 2018	12
Bibliografia.....	13

ALLEGATO A: Concessione di stoccaggio di gas naturale “Minerbio stoccaggio” (BO). SPM – Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2018. Relazione N.02.

ALLEGATO B: Concessione di stoccaggio di gas naturale “Minerbio stoccaggio” (BO). Monitoraggio delle deformazioni del suolo da stazioni GPS in continuo – Anno di esercizio 2018. Relazione N.01.

1. Premessa

In questa relazione l'attività svolta viene illustrata con scopi divulgativi, cercando quindi di limitare per quanto possibile l'utilizzo di gergo tecnico (o cercando di definirlo in modo opportuno), allo scopo di rendere maggiormente comprensibili le tecniche utilizzate e i risultati ottenuti nell'ambito della sperimentazione degli "Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche" (che abbrevieremo come ILG) a Minerbio.

Le descrizioni dettagliate delle attività di monitoraggio sismico e del monitoraggio delle deformazioni del suolo mediante stazioni GPS vengono invece presentate rispettivamente negli allegati tecnici A e B e nei testi indicati in bibliografia.

La sperimentazione riguarda soprattutto la valutazione dei sistemi di monitoraggio attivi nell'area di stoccaggio di Minerbio, considerando le stazioni di rilevamento messe in opera direttamente dal Concessionario e la loro integrazione, ad esempio, con le stazioni gestite dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Per quanto riguarda il monitoraggio sismico, all'inizio dell'attività di sperimentazione erano attive 4 stazioni sismiche a cura del Concessionario, tutte dotate di un sismometro triassiale. Negli anni precedenti e sino al 1998, come era usuale in quel periodo, i sensori misuravano la sola componente verticale del moto del suolo. I sensori sismometrici triassiali (cioè a 3 componenti) misurano la velocità sia nella componente verticale che nelle direzioni nord-sud e est-ovest, permettendo così di ricostruire fedelmente il moto nelle 3 direzioni.

Una prima fase del progetto ha riguardato uno studio approfondito per determinare quale fosse il numero ottimale di nuove stazioni sismiche da installare (in modo da aumentare la capacità di registrare eventuali eventi sismici di bassa energia) e dove fosse opportuno collocarle, per poterli localizzare in maniera più precisa possibile.

Una prima configurazione prevedeva un numero massimo di 11 stazioni ma anche configurazioni con un numero minore di stazioni possono essere assolutamente soddisfacenti, posizionando ad esempio alcuni dei nuovi sensori in pozzetti a 150 m di profondità invece che a 100 m (riducendo ancor più il rumore sismico ambientale che è maggiormente presente per le stazioni in superficie).

La configurazione attuale, a partire da Aprile 2018, consiste in 8 stazioni, di cui 4 in pozzetto (con 3 nuove stazioni in pozzetto a 150 m).

Una prima valutazione, condotta con modellazioni teoriche e confronti approfonditi, conferma che la nuova configurazione della rete sismica del Concessionario a 8 stazioni apporta sostanziali miglioramenti rispetto alla configurazione iniziale.

Per quanto riguarda il monitoraggio della deformazione del suolo in questa prima fase ci si è occupati di verificare la qualità del dato registrato dalla stazione GPS di proprietà del Concessionario e di rielaborare tutte le acquisizioni del segnale per il periodo gennaio 2009 - marzo 2018.

E' stato evidenziato come la stazione GPS di Minerbio sia una ottima stazione di monitoraggio sia dal punto di vista della qualità del dato registrato che della continuità delle registrazioni.

E' stata infine analizzata in dettaglio la sismicità registrata nel periodo gennaio - marzo 2018. Non sono stati registrati eventi sismici collegati all'attività di stoccaggio gas nell'area monitorata.

2. Sintesi dell'attività svolta (Dati periodo Gennaio-Marzo 2018)

L'attività di sperimentazione degli ILG svolta sui dati registrati nel primo trimestre 2018 ha riguardato i seguenti punti:

1. Definizione dei domini di rilevamento per il monitoraggio della microsismicità: dominio interno (DI) e dominio esteso (DE).
2. Acquisizione in tempo reale dei dati sismici registrati, mediante l'integrazione di 12 stazioni della Rete Sismica Nazionale (RSN) e 2 stazioni del progetto AlpArray con le 4 stazioni della rete microsismica installata in DI dal Concessionario (Rete Microsismica Minerbio Stoccaggio - RMMS). Le stazioni della RSN, del progetto AlpArray e della RMMS costituiscono quindi la Rete Sismica Integrata Minerbio Stoccaggio (RSIMS).
3. Popolamento dell'archivio delle forme d'onda registrate in continuo nel periodo Maggio 2015 – Marzo 2018 dalle stazioni della RSIMS.
4. Analisi di detezione della rete nelle tre configurazioni realizzate o previste. RO: rete operativa fino a Marzo 2018; RP2017: rete pianificata nella fase iniziale del Protocollo Operativo; RP2018: rete operativa a partire dal secondo trimestre 2018.
5. Verifica dei livelli di rumore sismico ambientale registrato dalle stazioni della rete nel periodo 1/1/2018 – 31/3/2018.
6. Analisi della sismicità registrata dalle stazioni della RSIMS nel periodo 1/1/2018 – 31/3/2018 con particolare riferimento ai volumi crostali individuati dal dominio interno e dal dominio esteso di rilevazione (DI e DE, rispettivamente).
7. Acquisizione dei dati di monitoraggio delle deformazioni del suolo.
8. Analisi di qualità del dato della stazione GPS di Minerbio di proprietà del Concessionario.
9. Analisi delle serie temporali di spostamento e delle velocità di spostamento ottenute dall'elaborazione dei dati GPS per il periodo gennaio 2009 – marzo 2018.

3. Introduzione: assetto geologico

La concessione di stoccaggio di gas naturale "Minerbio Stoccaggio", assegnata dal Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE) a STOGIT S.p.A. (da qui in poi denominato "Concessionario"), interessa un'area di 68.6 km² situata in provincia di Bologna, principalmente nel territorio comunale di Minerbio (MiSE-DGS-UNMIG, 2017). La concessione, ubicata circa 18 km a nord-est di Bologna, viene a trovarsi in una zona caratterizzata da intensa attività antropica, legata sia ad attività produttive che alla presenza di importanti vie di comunicazione.

L'assetto geologico strutturale dell'area è stato illustrato dettagliatamente nel rapporto: "Concessione di stoccaggio di gas naturale Minerbio Stoccaggio (BO). SPM - Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2017 – Relazione N.01" (INGV-MI, 2017a) e sintetizzato nell'Allegato A della presente relazione: "Concessione di stoccaggio di gas naturale Minerbio Stoccaggio (BO). SPM - Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2018 – Relazione N.02".

Di seguito si riepilogano alcune caratteristiche principali.

Il giacimento di stoccaggio è collocato nel campo di Minerbio, dal punto di vista geologico è situato all'interno del sistema di pieghe romagnole dell'Appennino Emiliano-Romagnolo, nella parte meridionale della Pianura Padana centro-orientale. Il giacimento, situato ad una profondità media di 1270 m, appartiene alla categoria dei giacimenti a gas esauriti (che vengono definiti "*Depleted Field*") ossia sfruttato in passato durante la fase di produzione primaria protrattasi sino al 1971 e , in seguito, convertito dal 1975 all'attività di stoccaggio.

L'attività di stoccaggio utilizza attualmente 51 pozzi di iniezione/erogazione e 6 pozzi-spia per il monitoraggio delle pressioni di giacimento.

L'intervallo stratigrafico di interesse minerario, attualmente adibito all'attività di stoccaggio è rappresentato da una serie di livelli sabbiosi con uno spessore di circa 80 m, ai quali si interpongono livelli argillosi di spessore più limitato.

La copertura del giacimento è garantita da una componente di natura argilloso-siltosa, che è presente sull'intera area del giacimento con uno spessore medio di circa 120 m e che costituisce una sigillatura continua.

L'acquifero che delimita il giacimento e l'originale contatto gas-acqua (GWC) è stato riconosciuto ad una profondità di 1370 m. La traccia del contatto gas-acqua originario individua un'area di circa 8 km² la cui proiezione in superficie è situata per circa l'80% nel comune di Minerbio.

4. Attività precedente l'attivazione della Convenzione con il Comune di Minerbio

Il monitoraggio di dettaglio della sismicità per l'area di Minerbio, unitamente a quello delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro, viene effettuato dal Concessionario con propria strumentazione. Occorre ricordare che il monitoraggio del territorio a scala nazionale è comunque effettuato dalle stazioni sismiche che fanno capo alla Rete Sismica Nazionale Italiana (RSN) dell'INGV (<http://cnt.rm.ingv.it/instruments>).

La disponibilità dei dati registrati dalla rete microsismica del Concessionario, specie nella nuova configurazione con 8 stazioni distanti solo pochi chilometri una dall'altra (ordine di 2.5 km), dovrebbe consentire di individuare eventuali eventi di magnitudo molto bassa, che non sono individuabili a causa della loro bassissima energia da altre stazioni più distanti (in questa zona, le stazioni della RSN presentano una spaziatura tra una stazione e l'altra dell'ordine dei 20 km). Eventi ad esempio con magnitudo pari o superiori a 2.0 sono comunque individuati e localizzati, in maniera indipendente, dalle stazioni RSN. Le localizzazioni e le registrazioni delle stazioni RSN sono disponibili liberamente a tutta la comunità scientifica internazionale (i dati sono scaricabili a partire dalla lista eventi in <http://cnt.rm.ingv.it/>).

Come già accennato in Premessa, il monitoraggio sismico è stato realizzato dal Concessionario mediante una rete di sensori velocimetrici che, nel periodo Giugno 1979 - Giugno 1986, ha raggiunto un numero massimo di 7 stazioni. Successivamente, la rete è stata limitata ad una sola stazione, integrata con le stazioni di altre reti emiliane gestite dal Concessionario, situate a 40-50 km di distanza da Minerbio. A partire da Settembre 1990, la rete di Minerbio è stata implementata con l'installazione di 3 stazioni velocimetriche, inizialmente dotate della sola componente verticale e, da Luglio 1998, dotate di sensori triassiali.

A partire da Aprile 2016, la rete è stata implementata con l'installazione di una stazione aggiuntiva in pozzetto (a 100 m di profondità) dotata di sensore velocimetrico triassiale. Installare un sensore non in superficie (come avviene generalmente) ma in pozzetti più profondi permette di migliorare la qualità del segnale registrato, limitando il disturbo dovuto alle attività umane (rumore "antropico" come ad esempio traffico, rumori industriali, etc,) e atmosferico. Spesso si usa la terminologia di "noise" sismico per definire i disturbi legati a fattori non collegati a eventi sismici.

In particolare, il monitoraggio sismico viene effettuato per la verifica delle condizioni di sicurezza di esercizio dei giacimenti anche in riferimento alle indicazioni contenute nel documento MiSE "Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche" (che come dicevamo in premessa abbrevieremo con la sigla ILG; MiSE-DGS-UNMIG, 2014).

Quest'ultimo prescrive anche l'individuazione di una struttura preposta al monitoraggio (denominata "SPM") e lo svolgimento di un'attività di sperimentazione del monitoraggio di attività antropiche come, ad esempio, lo stoccaggio di gas naturale in sotterraneo.

In data 5/5/2016, il “Protocollo Operativo – Attività di Sperimentazione degli Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della concessione *Minerbio Stoccaggio*”, sottoscritto da MiSE, Regione Emilia Romagna (RER) e Concessionario, individua l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) come SPM (RER, 2016a; 2016b).

Pur in assenza di un finanziamento dedicato (che era invece previsto nel Protocollo Operativo) sono state svolte diverse attività. La convenzione tra Comune di Minerbio e INGV, che rende possibile il finanziamento dell’attività della SPM per la sperimentazione degli ILG, è stata siglata solo recentemente in data 17/5/2018.

Il Protocollo Operativo era stato avviato in data 11/7/2016 e, nel corso della prima fase di attività è stato attuato da parte della SPM realizzando: 1) la verifica delle reti di monitoraggio esistenti; 2) la programmazione del potenziamento progressivo delle reti di monitoraggio; 3) la predisposizione per la trasmissione diretta dei dati rilevati dalle reti di monitoraggio; 4) l’elaborazione ed interpretazione dei risultati dei monitoraggi fin qui condotti dal Concessionario; 5) l’acquisizione dei dati registrati mediante l’integrazione delle stazioni della Rete Sismica Nazionale (RSN) e del progetto AlpArray (AlpArray, 2016) con le stazioni della Rete Microsismica “Minerbio Stoccaggio” (RMMS) gestita dal Concessionario; 6) il popolamento dell’archivio delle forme d’onda registrate in continuo nel periodo Maggio 2015 – Febbraio 2018 dalle 15 stazioni RSN e AlpArray che confluiscono nella rete sismica integrata, RSIMS (costituita da RSN; stazioni AlpArray e RMMS); 7) la verifica dei livelli di rumore sismico ambientale registrato dalle stazioni della rete e l’analisi della sismicità registrata nel periodo Maggio 2015 – Dicembre 2017.

L’attività di monitoraggio è stata rendicontata nel rapporto: “Concessione di stoccaggio di gas naturale Minerbio Stoccaggio (BO). SPM - Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2017 – Relazione N.01” (INGV-MI, 2017a), nel documento di sintesi inviato da INGV a MiSE, RER e Concessionario in data 27/7/2017 (INGV-MI, 2017b) e nella sintesi dell’attività svolta dalla SPM nel secondo semestre 2017 (INGV-MI, 2018a).

A partire da Marzo 2018, la definitiva messa a punto della procedura di acquisizione dei dati della rete microsismica gestita dal Concessionario presso la sede di Milano della SPM ha consentito di completare il popolamento dell’archivio di forme d’onda registrate in continuo, che attualmente risulta perciò costantemente aggiornato in tempo reale.

5. Monitoraggio sismico: attività sui dati del primo trimestre 2018

Per quanto riguarda la definizione dei domini di rilevamento, le analisi svolte hanno confermato che il monitoraggio della sismicità naturale e/o eventualmente indotta dalle attività di stoccaggio gas condotte nella concessione deve essere effettuato nei volumi DI e DE, come definiti nel rapporto: “Concessione di stoccaggio di gas naturale Minerbio Stoccaggio (BO). SPM - Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2017 – Relazione N.01” (INGV-MI, 2017a). In particolare le dimensioni risultano essere di $(10 \times 10 \times 5) \text{ km}^3$ e $(22 \times 22 \times 11) \text{ km}^3$ rispettivamente. DI e DE sono stati definiti considerando posizione e dimensioni del GWC del giacimento, situato alla profondità media di 1370 m e che si estende per 2 e 6 km nelle direzioni NE-SO e NO-SE rispettivamente. Nelle Fig. 1 e 2 vengono mostrate la mappa delle proiezioni in superficie dei domini di rilevazione e le proiezioni di tali domini sulla sezione geologica C-C' di Boccaletti *et al.* (2004), rispettivamente.

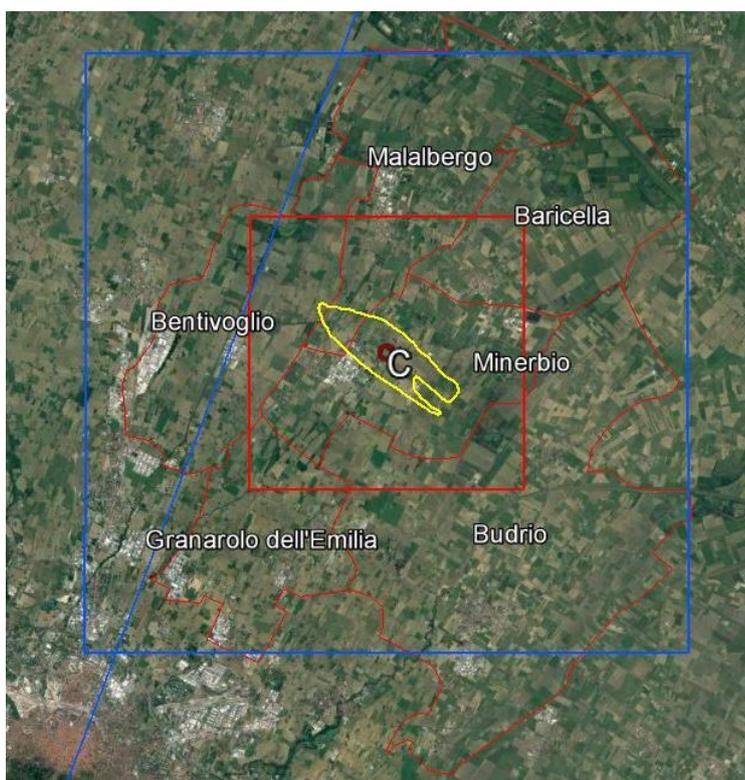


Figura 1. Proiezione in superficie dei domini di rilevazione interno (DI) ed esteso (DE) (box rosso e box blu, rispettivamente). DI e DE hanno dimensioni di $(10 \times 10 \times 5) \text{ km}^3$ e $(22 \times 22 \times 11) \text{ km}^3$ rispettivamente. Vengono mostrati la proiezione in superficie del contatto GWC, i confini dei comuni interessati dalla concessione “Minerbio Stoccaggio” e la posizione di C, il punto centrale delle proiezioni in superficie dei domini di rilevazione, di coordinate: 44.623 N; 11.490 E. La linea blu che affianca il lato ovest del dominio interno corrisponde alla traccia della sezione C-C' di Boccaletti *et al.* (2004).

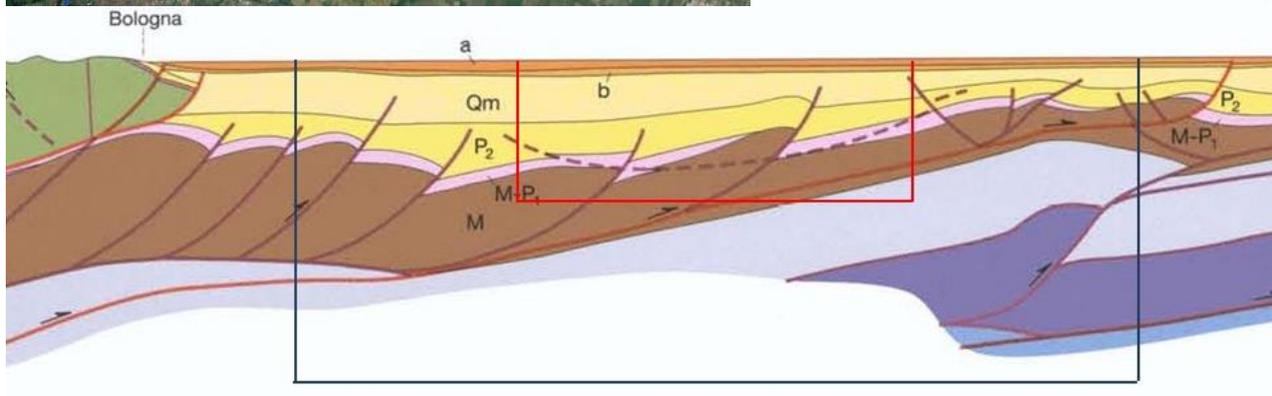


Figura 2. Proiezioni dei domini di rilevazione sulla sezione C-C' di Boccaletti *et al.* (2004). Linea rossa: dominio interno; linea blu: dominio esteso. Le profondità dei domini DI e DE sono di 5 e 11 km, rispettivamente

Per quanto riguarda l'acquisizione dei dati sismici, si è evidenziato che le indicazioni contenute negli ILG riguardanti l'integrazione della rete microsismica con le stazioni di eventuali reti regionali operanti nell'area (MiSE-DGS-UNMIG, 2018) possono essere applicate integrando le stazioni della Rete Microsismica "Minerbio Stocaggio" (RMMS) gestita dal Concessionario con le 12 stazioni INGV della RSN (INGV-CNT, 2018a) e le 2 stazioni del progetto AlpArray (INGV, 2016) installate fino ad una distanza massima da Minerbio di circa 55 km (cfr. Fig.3).

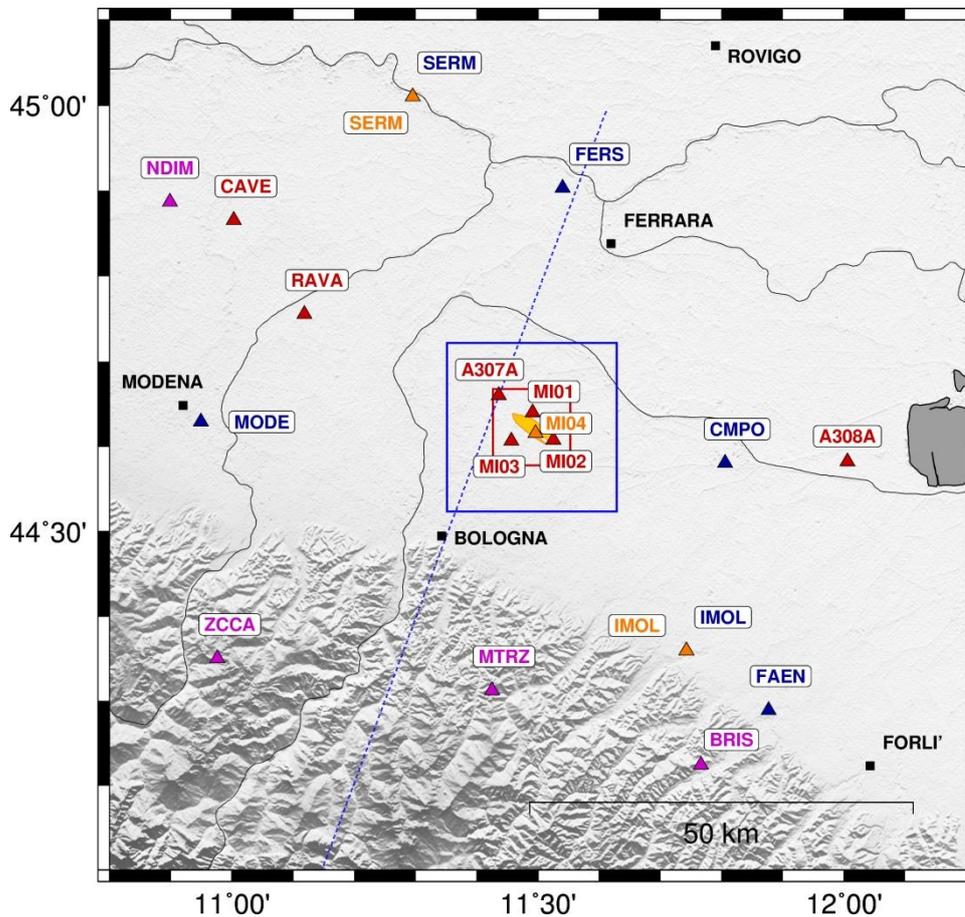


Figura 3. Stazioni della Rete Sismica Integrata Minerbio Stocaggio (RSISM). Triangoli rossi: sensori velocimetrici posti in superficie; triangoli blu: accelerometri posti in superficie; triangoli viola: stazioni superficiali equipaggiate con doppio sensore; triangoli arancioni: stazioni dotate di accelerometro in superficie e sensore velocimetrico in pozzetto (profondità: 100-200m). Vengono indicate le proiezioni in superficie dei limiti del Dominio Interno e del Dominio Esteso di rilevazione (linee rossa e blu, rispettivamente); la traccia della sezione C-C' di Boccaletti *et al.* (2004) (linea tratteggiata blu) e la proiezione in superficie dell'area delimitata dalla linea di contatto GWC (area gialla).

L'integrazione delle forme d'onda registrate da questa rete integrata (RSIMS) in un unico archivio di dati (in un formato dei dati standard per la comunità scientifica sismologica, che viene denominato formato miniSEED) costituito presso INGV-MI è stata realizzata mediante apposito software (in particolare utilizzando il software Seedlink; IRIS, 2018a). Questo software consente in modo efficace l'acquisizione in tempo reale delle tracce registrate da tutte le stazioni. Le tracce provenienti dalle stazioni INGV per questo progetto di sperimentazione confluiscono in tempo reale presso la sede di Milano (INGV-MI) già a partire da Marzo 2017 (per verificare l'efficacia delle procedure di trasferimento delle forme d'onda delle varie stazioni sismiche in tempo reale). Le tracce registrate dalle stazioni della RMMS vengono acquisite in tempo reale a partire da Marzo 2018.

L'archivio delle forme d'onda di tutte le stazioni della RSIMS risulta quindi completato mediante il trasferimento dei dati registrati anche prima della realizzazione del collegamento in tempo reale. A tal fine, sono stati effettuati sia lo scarico dei dati della RSN e delle stazioni AlpArray, relativi al periodo Maggio 2015 - Febbraio 2017 che, ad opera del Concessionario, il trasferimento e la copia presso INGV-MI dei dati digitalizzati della RMMS corrispondenti al periodo Maggio 2015 – Febbraio 2018 (questo anche per consentire le analisi dei dati del Concessionario senza la necessità di attendere una connessione in tempo reale). Abbiamo così a disposizione una banca dati uniforme e con un formato dati standard e comune a tutte le stazioni sismiche.

In generale, per *detezione* si intende la magnitudo minima di un evento sismico che è possibile registrare in un sito; tale valore è in funzione principalmente dei livelli di disturbo presenti nell'area in esame e del numero di stazioni sismiche utilizzate. Le analisi di *detezione* sono state condotte utilizzando la procedura descritta nel rapporto: "Concessione di stoccaggio di gas naturale Minerbio Stoccaggio (BO). SPM - Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2017 – Relazione N.01" (INGV-MI, 2017a).

Nelle analisi sono state ipotizzate due diverse condizioni di rumore sismico ambientale. In condizioni sfavorevoli di rumore ambientale, che per semplificare potremmo considerare come le condizioni esistenti durante il giorno in una giornata lavorativa, la rete operativa fino a Marzo 2018 (RO: comprendente 4 stazioni, di cui 1 in pozzetto a 100 m) consente di localizzare con buona precisione eventi sismici fino a magnitudo 1.0 in corrispondenza dell'area di stoccaggio e fino a magnitudo 1.3 alla base del Dominio Interno. Con la rete microsismica inizialmente pianificata dal Concessionario (RP2017: comprendente 6 stazioni in superficie e 5 in pozzetto) nelle stesse condizioni di rumore di cui sopra si potrebbero localizzare con buona precisione eventi sismici fino a magnitudo 0.8 in corrispondenza del *reservoir* e fino a magnitudo 0.9 alla base del Dominio Interno. Le analisi effettuate mostrano che in tale dominio livelli comparabili di *detezione* potranno essere raggiunti anche con la rete installata a partire da Aprile 2018 (RP2018: comprendente 4 stazioni in superficie e 4 in pozzetto). Nella parte di Dominio Esteso non compresa in DI, la RP2018 risulta leggermente meno sensibile della RP2017, con differenze di soglie di localizzazione che generalmente risultano essere intorno al decimo di grado (0.1) di magnitudo M_L .

In Fig. 4 viene mostrata, a titolo di esempio, la distribuzione areale dei valori di soglia (intendendola come la magnitudo minima localizzabile nelle varie località dell'area in esame) per eventi teoricamente localizzati alla profondità del giacimento, in funzione di 2 differenti situazioni di rumore sismico.

Come fatto anche per i precedenti periodi, è stata effettuata la verifica dei livelli di rumore sismico ambientale registrato dalle stazioni della rete nel periodo 1/1/2018 – 31/3/2018, che ha confermato, come era lecito attendersi, l'elevata rumorosità dell'area di monitoraggio.

Le analisi sono state effettuate mediante un software prodotto dal servizio geologico americano (PQLX; USGS, 2018) che consente di valutare il grado di disturbo antropico presente nel segnale registrato in diversi periodi di funzionamento della rete.

Le stazioni MI01 e MI02 mostrano valori di disturbo elevato, in linea con quelli delle stazioni sismiche installate in ambito urbano (il riferimento sono le curve che raffigurano varie situazioni per stazioni sismiche esistenti nel mondo, il cosiddetto High Noise Model di Peterson, 1993), la MI03 si rivela ancor più rumorosa, con livelli superiori di circa 10 dB. La MI04 invece, installata in pozzetto è caratterizzata invece da livelli di rumore più contenuti, mediamente circa 10 dB al di sotto delle curve ottenute in superficie, nella banda di frequenza 1-20 Hz. Nella medesima banda di frequenze anche la variazione giorno/notte si attesta mediamente attorno a circa 10 dB.

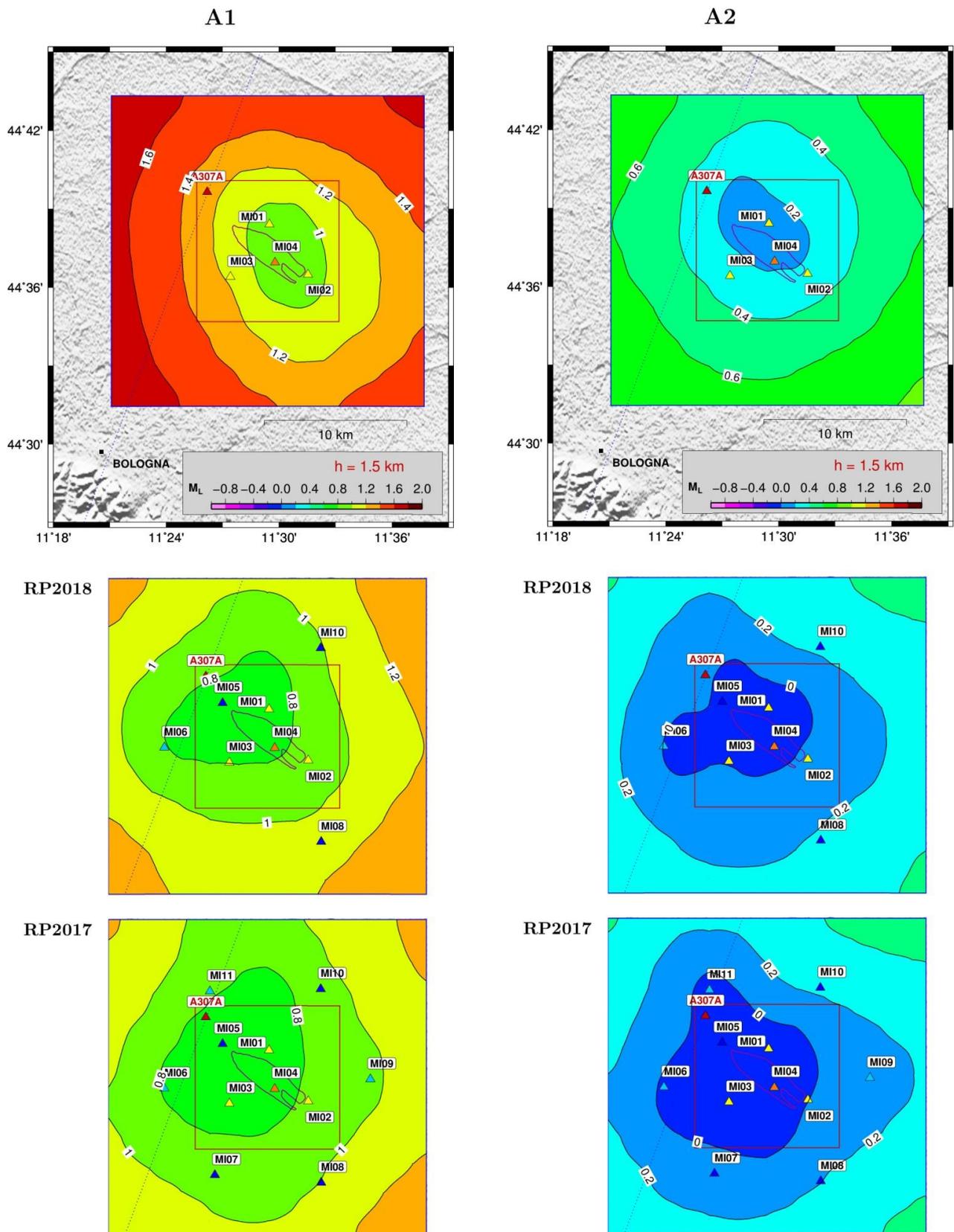


Figura 4. Mappe di localizzazione, in termini di magnitudo minima M_L , ottenute nei casi A1 (situazione di noise elevato, es. giorno lavorativo) e A2 (noise meno elevato, es. ore notturne) per eventi sismici localizzati alla profondità di 1.5 km (profondità del *reservoir*). In alto: rete operativa fino al primo trimestre 2018; al centro: rete operativa a partire dal secondo trimestre 2018; in basso: rete pianificata dal Concessionario nel 2017. Stazioni in superficie: simboli in giallo e in azzurro; stazioni in pozzetto: simboli in arancione e in blu.

L'analisi della sismicità (Fig. 5) è stata condotta con particolare riferimento ai volumi crostali individuati dal Dominio Interno e dal Dominio Esteso di rilevazione. Mediante un sistema di riconoscimento automatico dei segnali sono stati individuati 347 eventi. 41 di essi sono risultati essere effettivamente eventi sismici mentre i rimanenti sono stati catalogati come segnali transienti causati da disturbi di natura antropica o rumore ambientale.

Gli eventi più vicini sono localizzati in corrispondenza della catena appenninica e della pianura padana emiliana e, in un raggio di 50 km da Minerbio si trovano 11 eventi caratterizzati da $1.4 \leq M_L \leq 2.7$ dei quali 1 con profondità compresa fra 5 e 11 km e 10 con profondità maggiore di 11 km (Fig. 5).

Il più vicino ($M_L = 2.7$) è localizzato a 22 km di distanza epicentrale (quindi al di fuori dei domini interno e esterno) e a 35 km di profondità.

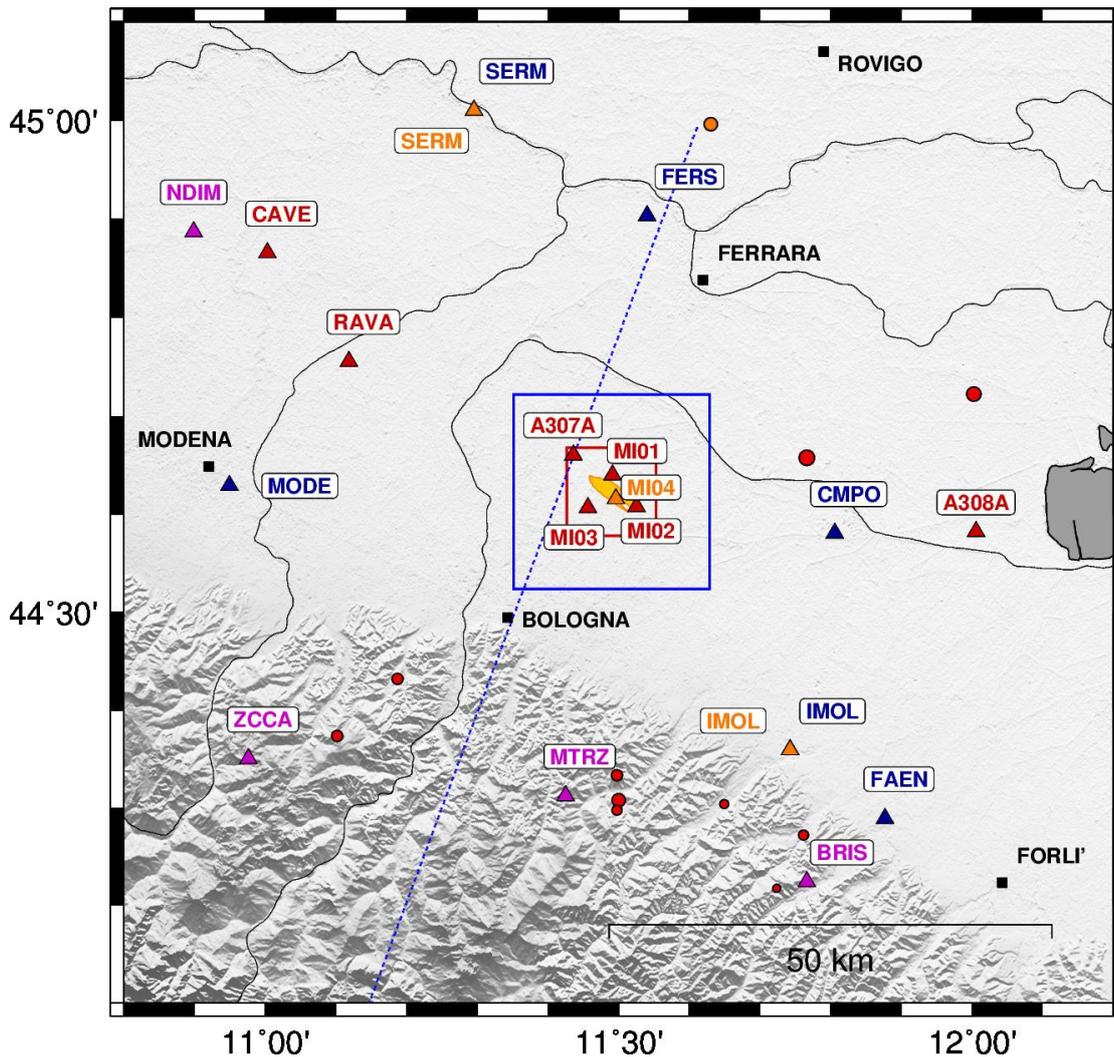


Figura 5. Eventi sismici localizzati registrati dalla RSIMS nel periodo 1/3/2018-31/3/2018. Vengono mostrati gli eventi con distanza epicentrale da Minerbio minore di 50 km. Cerchi rossi pieni: eventi con profondità maggiore di 11 km; cerchi rossi arancione: eventi con profondità compresa fra 5 e 11 km. I triangoli mostrano la posizione delle stazioni della RSIMS (cfr. didascalia di Fig. 3 per la descrizione della tipologia di sensore installato). In figura vengono mostrate anche la proiezione in superficie del contorno dei volumi DI e DE (in rosso e in blu rispettivamente); la proiezione in superficie del GWC (area in giallo) e la traccia C-C' di Boccaletti et al. (2004) (linea blu tratteggiata).

Nell'Allegato A sono descritte in dettaglio le operazioni effettuate e lo schema di classificazione degli eventi sismici che viene utilizzato in funzione della distanza dal sito di Minerbio e dal fatto che gli eventi siano o meno registrati e/o localizzati dalla Rete Sismica Nazionale.

Non sono stati registrati eventi sismici collegati all'attività di stoccaggio gas nell'area monitorata.

6. Monitoraggio delle deformazioni del suolo da stazioni GPS: analisi dei dati sino a marzo 2018

Per quanto riguarda le misure delle deformazioni del suolo da stazioni GPS in continuo, nell'Allegato B sono descritte in dettaglio le procedure adottate per l'analisi dei dati raccolti dalla stazione GPS di Minerbio (sigla MINE, gestita da Stogit), adottando i più elevati standard scientifici internazionali. Qui riassumiamo i risultati principali di queste analisi in termini di studio delle serie temporali di spostamento e di velocità.

Una stazione di misura GPS consente di ottenere una misura dell'evoluzione nel tempo della posizione di un punto sulla superficie terrestre con precisione millimetrica.

La stazione MINE presenta una ottima continuità del dato, in linea con le migliori stazioni GPS permanenti analizzate all'INGV. Si può certamente affermare che la stazione MINE sia di ottima qualità dal punto di vista della ripetibilità e della continuità del dato.

La stazione MINE ha subito uno spostamento verso nord di circa 6 mm a seguito del terremoto di MI 5.9 del 20 maggio 2012. Inoltre, la stessa stazione mostra, dopo il 20 maggio 2012, un segnale transiente con andamento nel tempo descrivibile attraverso una funzione esponenziale, associato a processi di rilassamento post-sismico (es., after-slip sui piani di faglia coinvolti nella sequenza). Al fine di caratterizzare le velocità di spostamento di questa stazione nel contesto della cinematica regionale dell'area della pianura Padana Emiliana e pede-Apenninica, è fondamentale considerare nell'analisi della serie temporale di spostamento l'effetto delle deformazioni transienti associate alla sequenza Emiliana del 2012 (offset co-sismici e post-sismico).

Una volta corretta la serie temporale per le componenti transienti di tipo tettonico, le stime di velocità orizzontali e verticali sono in linea con quelle delle stazioni dell'area presa in considerazione in questo rapporto.

La serie temporale di spostamento mostra un andamento stagionale con periodo annuale, la cui ampiezza massima è osservata nella componente nord (~5 mm, Fig. 7). Una maggior discrepanza tra dati e modello stagionale è presente tra il 2011 e il 2014.

Nei prossimi rendiconti si effettuerà una analisi approfondita della stagionalità, in relazione anche alle stazioni GPS limitrofe, oltre a analizzare la serie temporale del trimestre in esame.

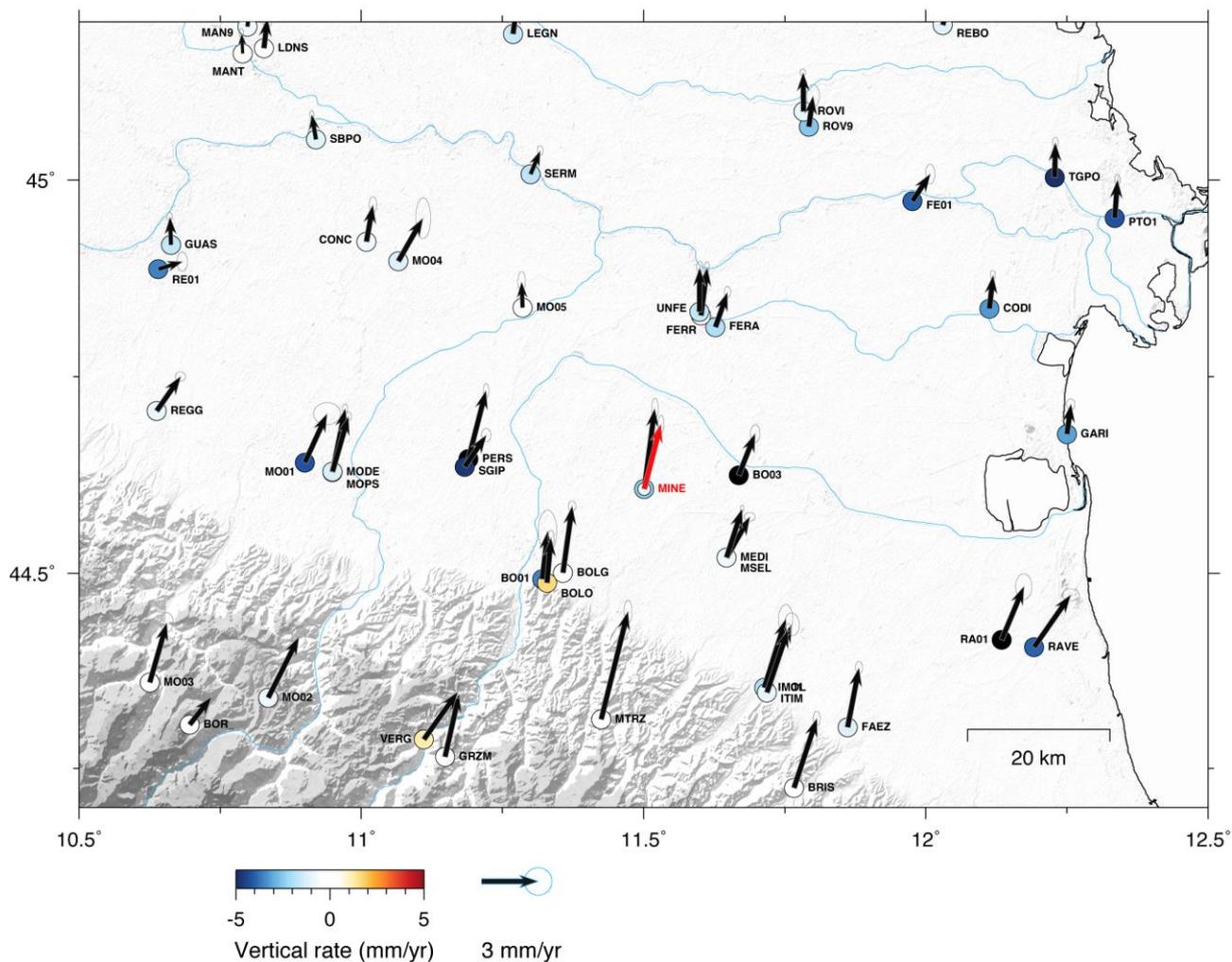


Figura 7: Campo di velocità orizzontale (freccie), rispetto ad Eurasia, e verticale (cerchi colorati). Per la stazione GPS MINE la freccia rossa ed il cerchio di diametro inferiore indicano le velocità orizzontale e verticale, rispettivamente, ottenute considerando una componente esponenziale nel fit della serie temporale. Le ellissi d'errore sono al livello di confidenza del 95%.

Bibliografia

- AlpArray (2016). The AlpArray initiative, <http://www.alparray.ethz.ch/home/>
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Tanini C., Vannucci G. (2004). Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 1:250.000 e note illustrative. SELCA Editore, Firenze.
- Cattaneo M., D'Alena E., Frapiccini M., Marzorati D., Monachesi G. (2011). Acquisizione presso la sede di Ancona, *Miscellanea INGV*, 10, 124-127, ISSN 2039-6651.
- INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2016). Il progetto AlpArray, <http://terremoti.ingv.it/it/struttura-di-ricerca/lda-t1-geodinamica-e-interno-della-terra/33-contenuti/983-il-progetto-alparray.html>
- INGV-CNT, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Centro Nazionale Terremoti (2018a). Italian Seismic Network, <http://cnt.rm.ingv.it/instruments/network/IV>
- INGV-CNT, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Centro Nazionale Terremoti (2018b). Lista Terremoti, <http://cnt.rm.ingv.it/>

- INGV-MI, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Milano (2017a). Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio” (MISE/RER/Stogit S.p.A.). Concessione di stoccaggio di gas naturale Minerbio Stoccaggio (BO). SPM - Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2017 – Relazione N.01, Maggio 2017, Milano, 41 pp.
- INGV-MI, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Milano (2017b). Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio” (MISE/RER/Stogit S.p.A.). Sintesi rapporto Monitoraggio Sismico – Anno di esercizio 2017 – Relazione n.01 con integrazione relativa a monitoraggio deformazione del suolo e della pressione di poro, Luglio 2017, Milano, 4 pp.
- INGV-MI, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Milano (2017c). Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio” (MISE/RER/Stogit S.p.A.). Sintesi dell’attività svolta nel periodo Luglio-Dicembre 2017 nell’ambito del Protocollo Operativo, Gennaio 2018, Milano, 3 pp.
- IRIS – Incorporated Research Institutions for Seismology (2018a). SeedLink, <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/services/seedlink>
- IRIS – Incorporated Research Institutions for Seismology (2018b). Data Formats, <https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/data/formats/>
- IRIS – Incorporated Research Institutions for Seismology (2018c). Software Downloads, <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/software/downloads/sac/>
- MiSE–DGS–UNMIG, Ministero dello Sviluppo Economico – Direzione Generale per la Sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche – Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse (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.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf
- MiSE–DGS–UNMIG, Ministero dello Sviluppo Economico – Direzione Generale per la Sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche - Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse (2017). Titoli Minerari Vigenti, concessione di stoccaggio “Minerbio Stoccaggio”, <http://unmig.mise.gov.it/unmig/titoli/dettaglio.asp?cod=2907>
- MiSE–DGS–UNMIG, Ministero dello Sviluppo Economico – Direzione Generale per la Sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche - Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse (2018). Verifica della sperimentazione degli ILG nella Concessione Minerbio Stoccaggio, Verbale di Riunione (MiSE–DGS–UNMIG Sezione di Bologna, RER, Stogit S.p.A., INGV, Comune di Minerbio, Assomineraria), 27 Febbraio 2018, Bologna.
- Peterson (1993). Observation and modelling of seismic background noise, *U.S.G.S. Tech. Rept.*, 93-322, 1-95.
- RER, Regione Emilia-Romagna (2016a). Deliberazione della Giunta Regionale - 11 Aprile 2016, N.488. Schema di Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio”, BURERT n.125 del 04.05.2016, <http://bur.regione.emilia-romagna.it/dettaglio-inserzione?i=c12c12b691bf4807864dde86e77f8664>
- RER, Regione Emilia-Romagna (2016b). Deliberazione della Giunta Regionale - 11 Aprile 2016, N.488. Schema di Protocollo Operativo – Attività di sperimentazione degli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della concessione “Minerbio Stoccaggio”, BURERT n.125 del 04.05.2016 – ALLEGATO 1 ALLA DGR N.488, <http://bur.regione.emilia-romagna.it/bur/area-bollettini/bollettini-in-lavorazione/maggio-periodico-parte-seconda-1a-quindicina.2016-05-03.3588733174/schema-di-protocollo-operativo-attivit -di-sperimentazione-degli-indirizzi-e-linee-guida-per-il-monitoraggio-della-concessione-minerbio-stoccaggio/allegato-1-alla-dgr-n-488-del-2016-05-03.1462281488>
- Spallarossa D., Ferretti G., Scafidi D., Pasta M. (2011). Picking automatico nella rete sismica dell’Italia Nord-Occidentale (RSNI), *Miscellanea INGV*, 10, 141-146, ISSN 2039-6651.
- USGS - United States Geological Survey (2018). PQLX: A Software Tool to Evaluate Seismic Station Performance, <https://earthquake.usgs.gov/research/software/pqlx.php>