



energy to inspire the world

Crema, 06.02.2020
Prot. 66 /OPER/CV

Spett.le

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e
del Mare

Direzione Generale per le Valutazioni Ambientali

Divisione II - Sistemi di Valutazione Ambientale

Via Cristoforo Colombo, 44

00147 – ROMA

PEC: DGSalvaquardia.Ambientale@PEC.minambiente.it

**Alla presente PEC non seguirà invio dell'originale (ex art. 6 L.412/91 e artt. 38 – 43 D.P.R. 445/2000)*

Integrazione della partecipazione istruttoria dei Comuni di Azzanello e Verolavecchia nel procedimento di valutazione di compatibilità ambientale del progetto di realizzazione di un nuovo impianto di stoccaggio gas ricadente nell'ambito della concessione di stoccaggio "Bordolano stoccaggio" avviato con istanza di pronuncia di compatibilità ambientale presentata dalla società STOGIT in data 07.07.2008 e acquisita al protocollo di questo Ministero con DSA-2008-0019343 del 11.07.2008.

Stogit S.p.A., società soggetta all'attività di direzione e coordinamento di Snam S.p.A., società con socio unico, avente sede legale in San Donato Milanese (MI), Piazza Santa Barbara, 7, e sede operativa in Crema (CR) via Libero Comune 5, qui rappresentata da ing. Cesare Giulio Vecchietti nella sua qualità di Direttore Operations (di seguito anche solo "Stogit"),

trasmette

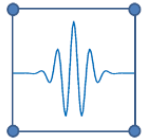
le controdeduzioni alle osservazioni presentate dal Sig. Corradi ed i relativi allegati di seguito riportati:

- Isamgeo, 2020 – Concessione di Bordolano. Valutazione delle performance della rete di monitoraggio microsismico.
- Eni-Saipem, 2013 – Campo di Bordolano. Approfondimento rischio sismico e valutazione del potenziale di liquefazione.
- Politecnico di Torino, 2020 – Campo di Bordolano. Rapporto tra campo di stoccaggio e sorgenti sismogenetiche.

Il Direttore Operations
Ing. Cesare Giulio Vecchietti

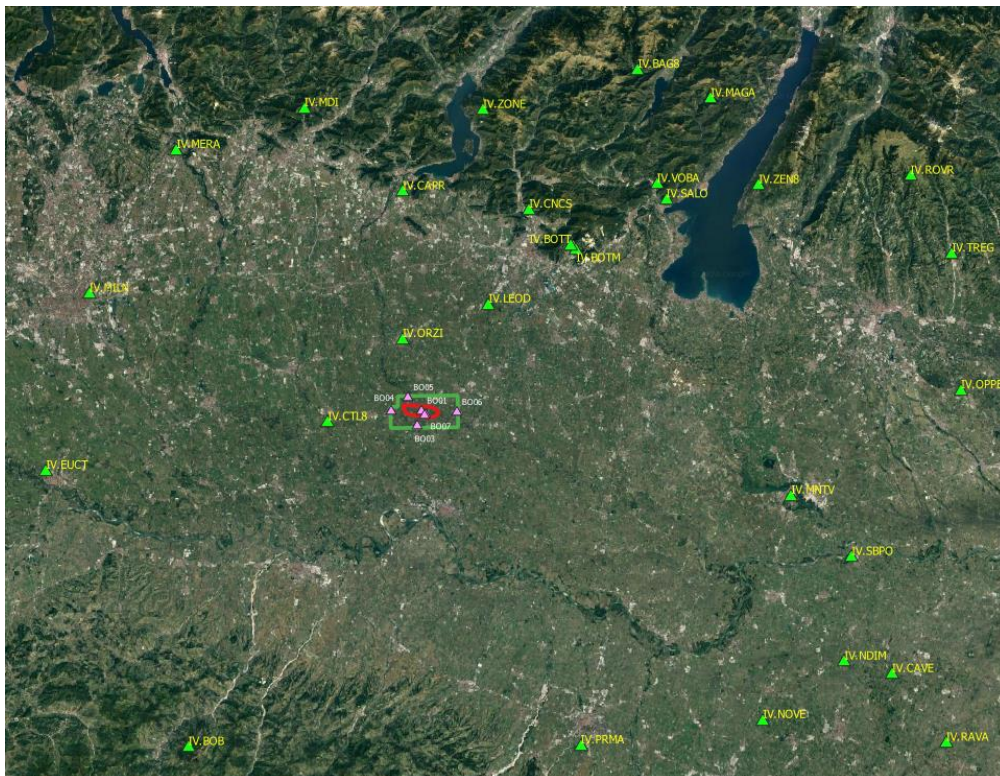
stogit S.p.A.
Sede Operativa
Via Libero Comune, 5
26013 Crema CR
Tel. centralino + 39 0373.892.1
www.snam.it

stogit S.p.A.
Sede legale: San Donato Milanese (MI), Piazza Santa Barbara, 7
Capitale Sociale: Euro 152.205.500 i.v.
Codice Fiscale e iscrizione al Registro Imprese della CCIAA
di Milano, Monza Brianza, Lodi n. 13271380159
R.E.A. Milano n. 1633445, Partita IVA n. 13271380159
Società soggetta all'attività di direzione e coordinamento di snam S.p.A.
Società con unico socio



Concessione di Bordolano

Valutazione delle performance della rete di monitoraggio microsismico



04 febbraio 2020

Alessandro Brovelli

Alessandro Brovelli

Amministratore Unico

ISAMGEO ITALIA SRL

Via Arno 1 - 21021 Angera - VA - Italy

Registro Imprese VA

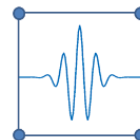
Cod. Fisc. e P.IVA 03170720126

e-mail: isamgeoitalia@legalmail.it

Redatto da: Isamgeo Italia Srl

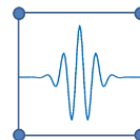
Isamgeo Italia srl, Via Arno 1, 21021 Angera (VA) - Italy

Tel/fax: +39 0331 960122, E-mail (pec): isamgeoitalia@legalmail.it



Indice

1. Introduzione	4
2. Considerazioni sulle reti INGV e OGS nell'area di studio per la concessione di Bordolano	7
2.1. La rete INGV.....	7
2.2. La rete OGS	9
2.3. Discussione	13
3. Valutazione dei livelli di rumore ambientale della rete di Bordolano.....	14
3.1. Livelli di rumore nel 2015	14
3.2. Livelli di rumore nel 2018	18
4. Analisi delle performance della rete di Bordolano.....	21
4.1. Metodologia	21
4.2. Scelta dei parametri geofisici	22
4.3. Modello locale	25
4.3.1. Risultati per la rete 2013 – 2016	26
4.3.2. Risultati per la configurazione attuale della rete	34
4.4. Modello regionale	43
4.4.1. Risultati per la rete di Bordolano del periodo 2013 – 11/2016.....	43
4.4.2. Risultati per la configurazione attuale.....	49
5. Conclusioni	57
6. Bibliografia.....	59



Executive summary

Questo studio è stato commissionato da STOGIT per la concessione di stoccaggio Bordolano. Il presente studio valuta:

- 1) le performance della rete di monitoraggio microsismico installata da STOGIT a partire dal 2013 sul campo di Bordolano, in relazione alle prescrizioni vigenti;
- 2) la copertura delle reti di monitoraggio sismico di OGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica) e di INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) nell'intorno della concessione di Bordolano.

Per quanto riguarda il confronto delle reti OGS-INGV, un'analisi della configurazione delle reti e della disposizione spaziale delle stazioni, basata sui dati pubblici presenti sui siti internet dei rispettivi enti, mostra che:

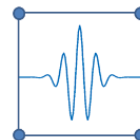
- a. La rete INGV, nel periodo 2013-2018, aveva una copertura da buona ad ottima, che è variata di poco nel tempo. Ci si può dunque attendere che le localizzazioni degli eventi effettuate da INGV con la propria rete siano ragionevolmente accurate con un basso livello di incertezza nell'area di studio;
- b. La rete OGS ha avuto una graduale evoluzione nel tempo, partendo da una rete del tutto inadeguata nel 2013. La copertura dell'area di Bordolano è tutt'oggi non del tutto soddisfacente, poiché l'area circostante la concessione di Bordolano è esterna all'area effettivamente monitorata da OGS. Solo a partire dal 2017 si può ritenere che l'accuratezza di localizzazione da parte di OGS nell'area di Bordolano sia divenuta parzialmente soddisfacente.

Si può quindi concludere che il catalogo INGV sia idoneo per un confronto con la rete locale installata da STOGIT presso il campo di Bordolano, mentre il catalogo OGS è affetto da grosse incertezze, soprattutto fino a tutto il 2016.

La valutazione della rete locale di monitoraggio installata da STOGIT SpA è stata condotta mediante una metodologia utilizzata e riconosciuta nella letteratura scientifica internazionale. L'analisi si compone di due fasi, ovvero: (a) la valutazione dei livelli di rumore ambientale e (b) la simulazione dello spettro di ampiezza di ipotetici eventi sismici, che vengono successivamente confrontati con i livelli di rumore di cui sopra.

La rete locale di monitoraggio di STOGIT SpA ha avuto nel tempo due configurazioni. Una prima configurazione tra il 2013 e novembre 2016, più semplice, avente lo scopo di registrare la baseline del rumore e la sismicità naturale ante-operam, ed una seconda configurazione completata a Dicembre 2016, attivata contestualmente all'effettivo avvio dell'attività di stoccaggio.

Le simulazioni effettuate mostrano che entrambe le configurazioni della rete, anche in presenza di elevati livelli di rumore caratteristici delle aree fortemente antropizzate, **sono in grado di rispettare le prescrizioni dettate in fase di VIA, ovvero contenute nel decreto DVA-2014-0018804 del 16.05.2014**. In aggiunta, è stato effettuato un confronto con i contenuti indicati negli **Indirizzi-Linee Guida MISE (2014), che indica come la rete di Bordolano sia totalmente confacente alle indicazioni fornite da queste ultime, in termini di soglie di localizzabilità degli eventi sismici**.



1. Introduzione

Questo studio è stato commissionato da STOGIT per la concessione di stoccaggio di Bordolano con lo scopo di approfondire e stimare la capacità di identificazione e localizzazione degli eventi sismici da parte della rete di monitoraggio microsismico installata da STOGIT presso la concessione. Obiettivo di queste analisi è quello di valutare se la rete, durante le diverse fasi di sviluppo e messa in attività del campo, fosse rispondente alle richieste contenute nella prescrizione DVA-2014-0018804 del 16.05.2014 e, più in generale, stimare la soglia minima di magnitudo locale degli eventi sismici che la rete è oggi in grado di identificare e localizzare, anche in funzione dei livelli di rumore ambientale presenti sul sito.

In aggiunta, è stato effettuato un confronto tra le reti di monitoraggio sismico di INGV ed OGS nell'area circostante la concessione, con l'obiettivo di comprendere quale delle due reti avesse il miglior grado di copertura dell'area oggetto dello studio e dunque fosse in grado di fornire le localizzazioni (parametri focali degli eventi, ovvero posizione dell'ipocentro e tempo origine) e magnitudo più affidabili. Questa esigenza è sorta in seguito alle significative differenze emerse nel confronto dei cataloghi sismici prodotti da INGV ed OGS, e contenuto nella relazione di OGS a firma del Dott. Priolo ed allegata al materiale relativo alla riapertura della procedura di VIA (*"Osservazioni alla VIA del progetto di stoccaggio di gas di Bordolano"*).

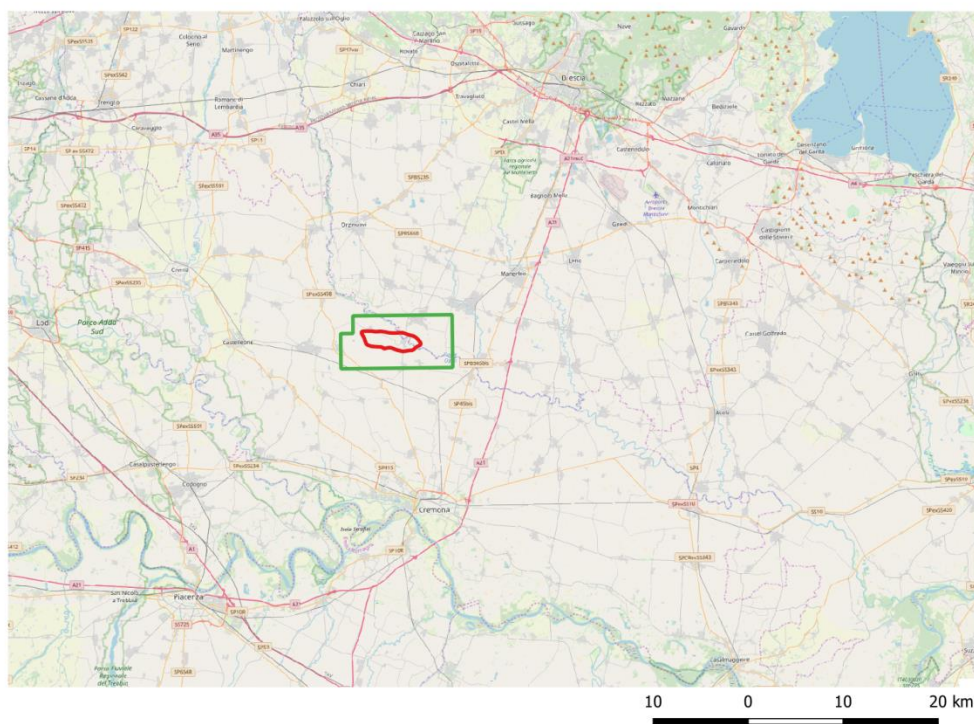


Figura 1.1. Posizione della concessione di Bordolano (rettangolo verde) nella porzione centrale della Pianura Padana. La linea rossa indica la proiezione del giacimento (OGWC) in superficie.

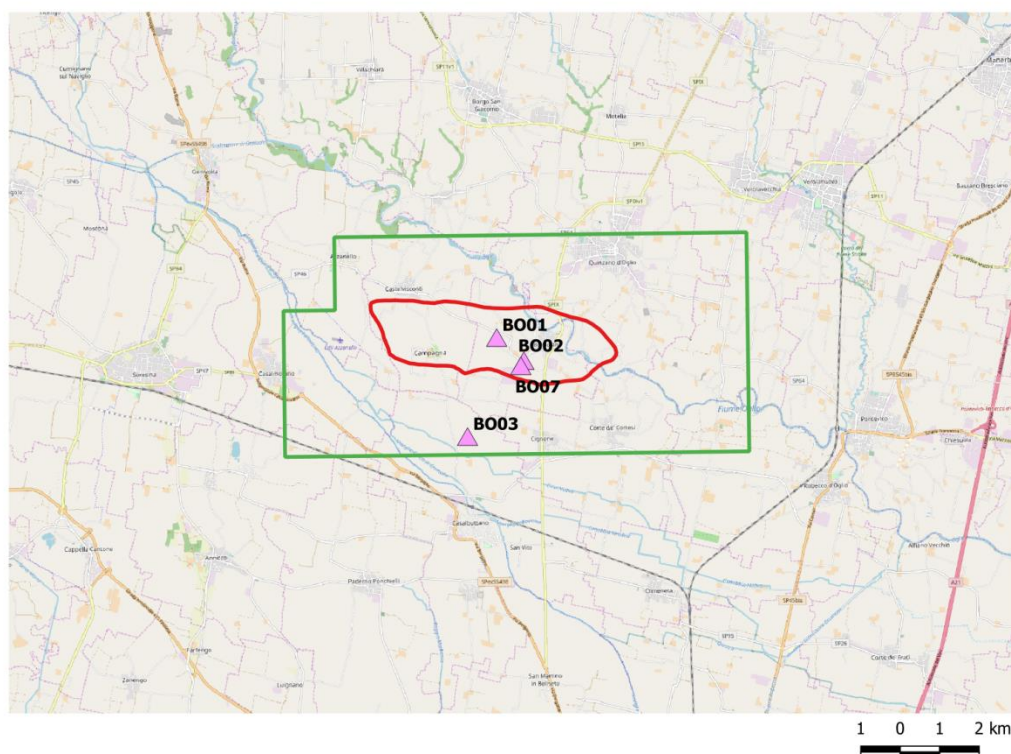
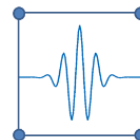


Figura 1.2. Configurazione della rete di monitoraggio microsismico nel periodo 2013 – 11/2016. La stazione in pozzetto a 70m di profondità è la BO02.

La Fig. 1.1 mostra la posizione della concessione di Bordolano nella porzione centrale della Pianura Padana, ad una distanza approssimativa di 34 km a sud di Brescia e 18 km a nord di Cremona. Il giacimento a gas, depletato, oggi usato come serbatoio per lo stoccaggio del gas, ha un'estensione di 6 km in direzione E-W e 2 km in direzione N-S, ed è posto a circa 1700 m di profondità.

La rete di monitoraggio gestita da Stogit S.p.A. per la concessione di Bordolano ha avuto due distinte fasi di sviluppo. In una prima fase (Fig. 1.2), durata dal 2013 a novembre 2016, e corrispondente al periodo di misura della baseline (o 'bianco') del rumore ambientale e della sismicità naturale, la rete era composta da 4 stazioni, di cui una in pozzetto a 70m di profondità. In questa prima fase non erano presenti attività di stoccaggio di gas nel campo. La rete è stata estesa progressivamente con l'aggiunta di 3 ulteriori stazioni, di cui una seconda in pozzetto (70 m di profondità). Nella seconda fase, iniziata a dicembre 2016 in corrispondenza della messa in attività del campo di stoccaggio e della centrale, la rete era quindi composta da 7 stazioni di monitoraggio, dotate di sismometri triassiali a corto periodo (frequenza propria di 1Hz). Una stazione è inoltre equipaggiata con un accelerometro di tipo force-balance. Il segnale viene acquisito in continuo e trasmesso in tempo reale ad un sistema di registrazione ed elaborazione per l'identificazione automatica e manuale degli eventi utilizzando all'occorrenza, in un'ottica di integrazione tra reti, i dati proveniente dalla rete sismica nazionale gestita da INGV. Un sistema di segnalazione automatica consente di informare gli analisti di potenziali eventi microsismici di interesse per effettuare eventuali analisi e approfondimenti di dettaglio.

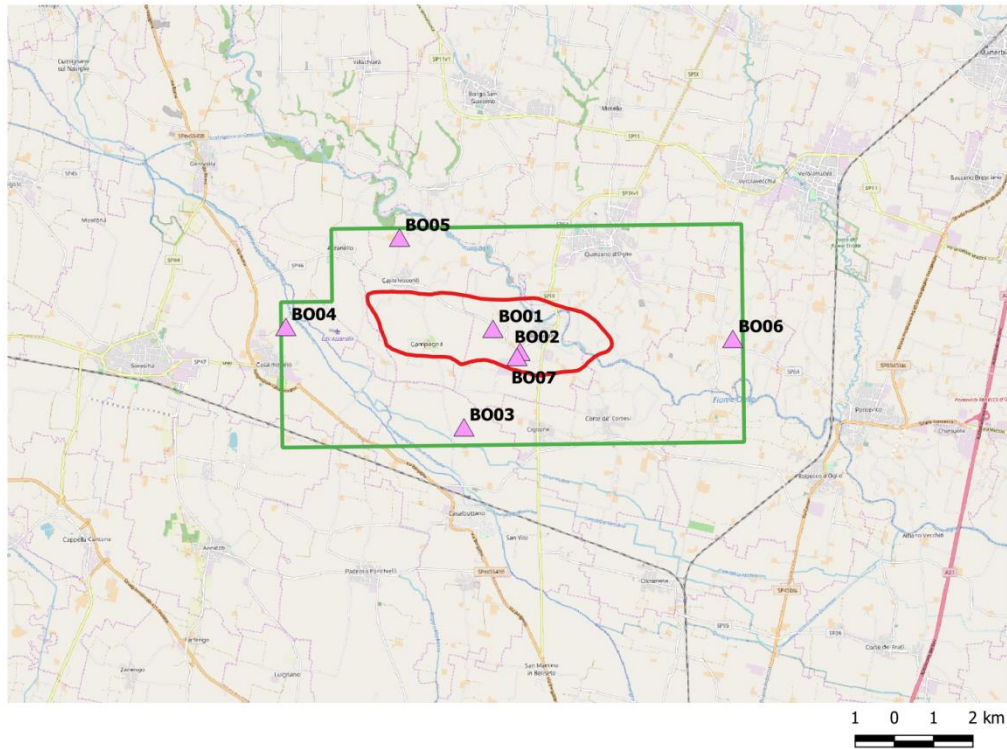
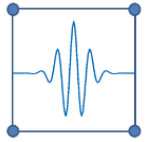
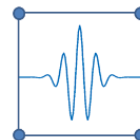


Figura 1.3. Configurazione delle stazioni della rete di monitoraggio sismico a partire da dicembre 2016 e tutt'ora in attività. Le stazioni in pozzetto a 70m di profondità sono la BO02 e BO05.



2. Considerazioni sulle reti INGV e OGS nell'area di studio per la concessione di Bordolano

L'analisi del Dott. Priolo evidenzia una discrepanza tra i cataloghi sismici predisposti da OGS e da INGV nel periodo 2013 – 2018 ed il corrispondente catalogo Stogit relativo alla concessione di Bordolano. In particolare, il catalogo OGS riporta un numero maggiore di eventi nel raggio di 30km da Bordolano, rispetto sia al catalogo INGV che al catalogo Stogit. Si osservi come tale distanza di 30 km sia stata scelta dal dott. Priolo in modo totalmente arbitrario, in quanto non sussistono motivazioni né tecniche né normative per giustificarla.

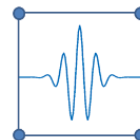
Un'analisi più dettagliata rivela che, all'interno del catalogo OGS, una larga parte degli eventi il cui epicentro è posto all'interno della regione di 30 km sono precedenti al 2016. Più in dettaglio, si evidenzia che tutti gli eventi più prossimi al campo (8 eventi), con epicentro a distanze comprese tra 12 e 20 km dal centro del giacimento (45.29 LAT 9.96 LONG.), sono stati identificati nel periodo 2013-2015. Al contrario, il catalogo INGV posiziona un solo evento nell'intero periodo 2013-2018 ad una distanza (di poco) inferiore ai 20km.

In questo contesto appare interessante comparare le capacità delle reti INGV e OGS utilizzate per compilare i relativi cataloghi, essendo evidente la discrepanza tra i risultati delle due reti, e non discusso nell'analisi del dott. Priolo. Per valutare quale dei due cataloghi sia più accurato, è opportuno analizzare le configurazioni delle reti, per verificare se le discrepanze osservate possano essere dovute a differenze nella geometria delle reti stesse. È importante però sottolineare che l'analisi e localizzazione dei terremoti da parte di INGV è condotta, sulla base della missione statutaria di INGV, su tutto il territorio nazionale.

2.1. La rete INGV

Ci si limita in questo paragrafo alla analisi della sola rete INGV (codice IV). Nelle regioni con poca copertura da parte della rete IV, tale ente utilizza anche dati di reti locali, tra cui buona parte della stessa rete OGS, e talvolta di stazioni temporanee. La Fig. 2.1 mostra la configurazione della rete INGV nell'area intorno alla concessione di Bordolano. La posizione delle stazioni è indicata dai triangoli verdi, le linee continue indicano la proiezione in superficie del giacimento (linea rossa). La linea tratteggiata rosa indica la regione nel raggio di 30 km dal Bordolano arbitrariamente introdotta dal Dott. Priolo. Come si vede, la rete INGV ha numerose stazioni nell'area, anche a distanze inferiori ai 30km dal campo di Bordolano. Secondo le informazioni disponibili sul portale INGV, le stazioni più prossime (IV.CTL8, IV.LEOD, ed IV.ORZI) sono attive da prima del 2013, ed in generale la maggior parte delle stazioni dell'area era già installata prima del 2013.

L'area colorata e sovrainposta alla mappa mostra infine la copertura azimutale della rete INGV per l'area oggetto dello studio. Quest'area è costituita da un quadrato di lato di 60km, centrato sulla concessione di Bordolano, ed esteso ulteriormente di 10km verso N e verso E. La scala di colori riporta il gap azimutale di un ipotetico evento all'interno dell'area, a seconda della posizione dell'epicentro. Per la rete INGV, il gap azimutale varia nell'intervallo 27-103 gradi per l'intero periodo 2013 – 2018.



Il gap azimutale (GA) è una metrica (puramente geometrica) che consente di stimare la bontà di una localizzazione, ovvero di stimare a priori se una rete di monitoraggio abbia sufficiente copertura per garantire che gli eventi sismici identificati in una certa area possano essere localizzati con sufficiente precisione. In particolare, per una rete di almeno 4 stazioni, il gap azimutale ottimale è inferiore a 90-110 gradi, la localizzazione è accettabile se il gap è inferiore a 180 gradi, ed è da scartare se maggiore di questo valore, perché la precisione che la rete consente è nettamente insufficiente. Si vedano a questo proposito per es. Bondár et al., 2004; D'Alessandro et al., 2011; Valtonen et al., 2013.

Nel caso della rete INGV, la copertura azimutale è da buona ad ottima ($GA < 90^\circ$), con numerose stazioni che coprono la zona più a nord dell'area considerata, nella fascia prealpina in prossimità della città di Brescia. In quest'area si può prevedere un'ottima capacità di detezione di eventi sismici e localizzazioni con elevato grado di accuratezza.

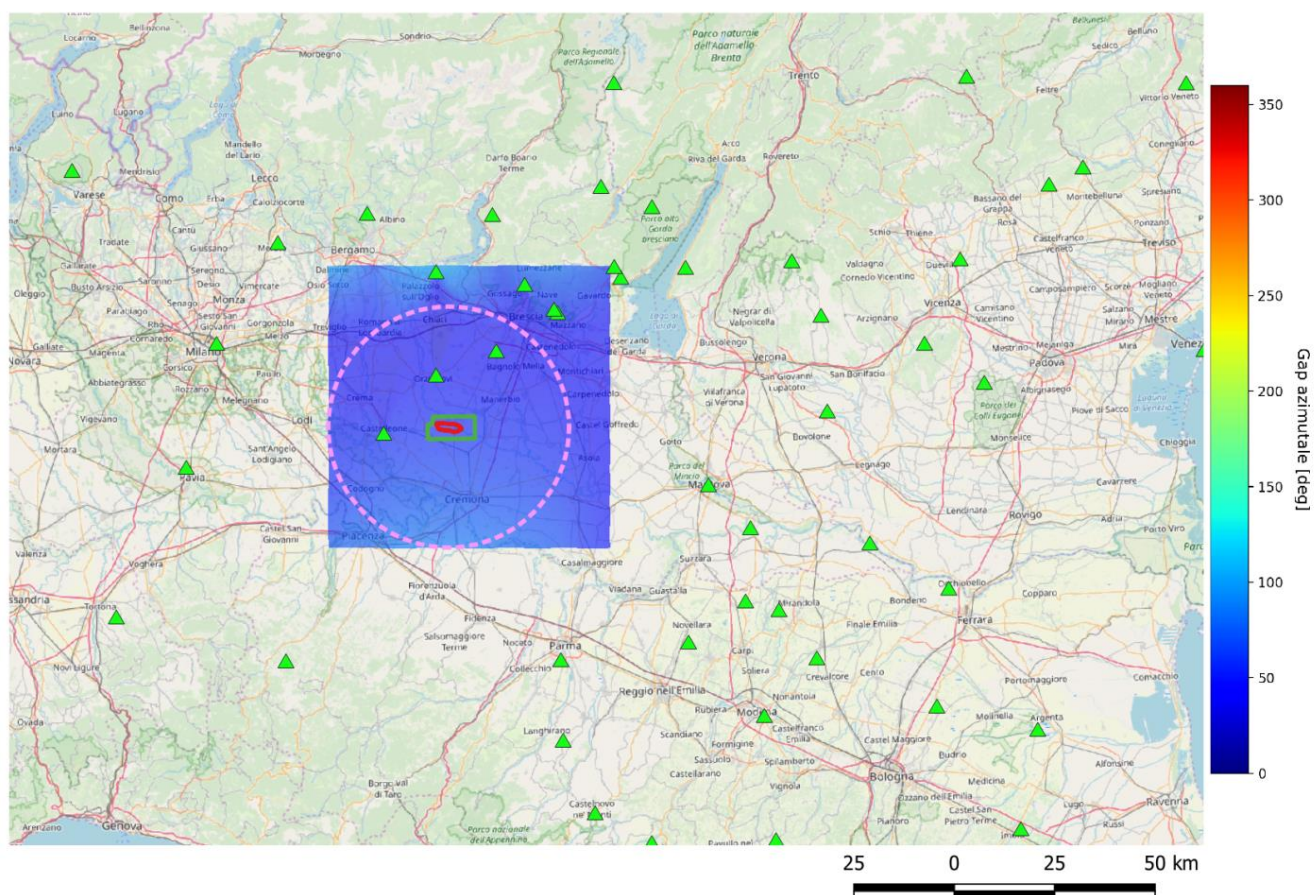
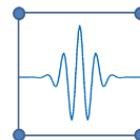


Figura 2.1. La rete INGV e la mappa del gap azimutale nella regione intorno a Bordolano. Le stazioni INGV sono indicate dai triangoli verdi.



2.2. La rete OGS

Le informazioni sulle reti gestite ed utilizzate da OGS sono disponibili sul portale OASIS (<http://oasis.crs.inogs.it/>), tab “Sites”. Dalle informazioni presenti, sembra che la localizzazione degli eventi venga effettuata utilizzando esclusivamente dati delle reti gestite direttamente da OGS. Si osservi peraltro che la finalità del monitoraggio sismico condotto in autonomia da OGS è quella di coprire l’Italia del Nord-Est. Lo stesso sito internet deputato a riportare gli eventi rilevati (<http://rts.crs.inogs.it/it/home.html>) mostra che la concessione di Bordolano è esterna all’area di interesse, definita dal poligono di colore rosso in Fig. 2.2.

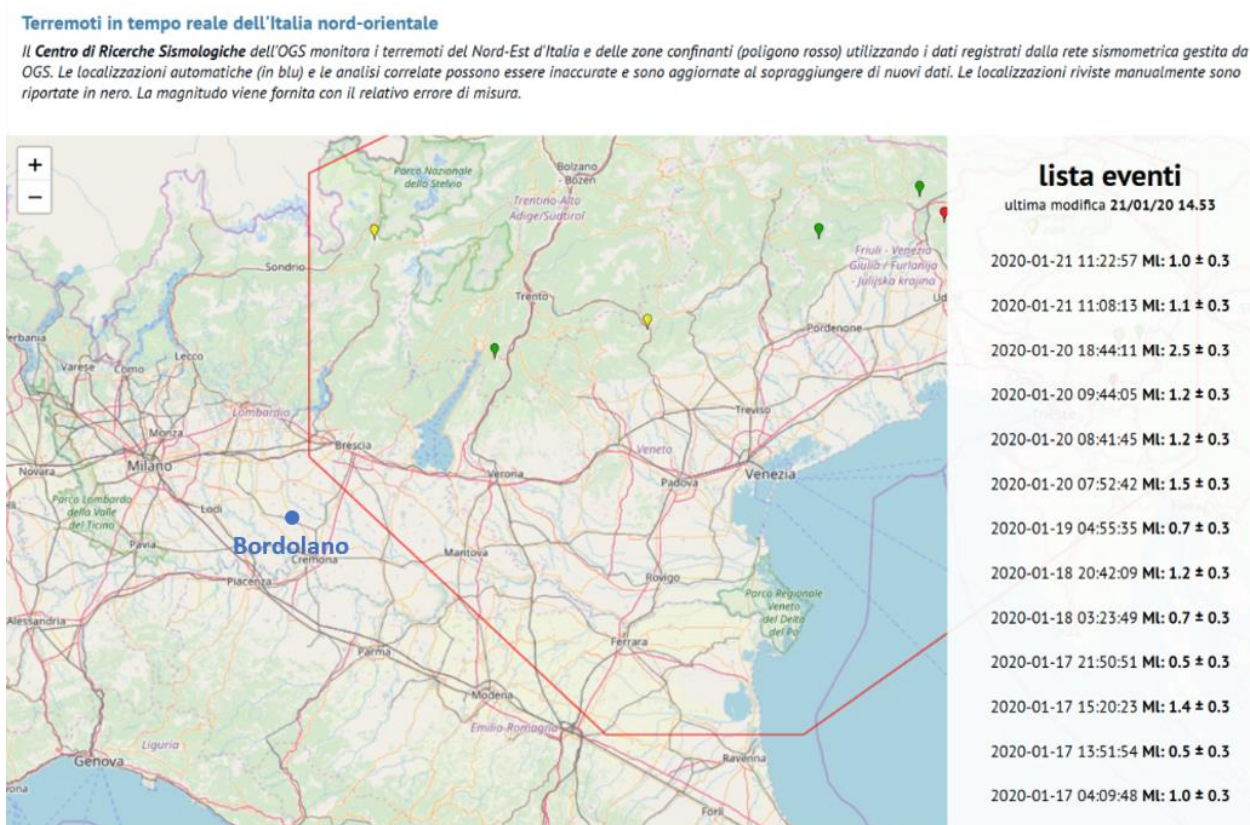
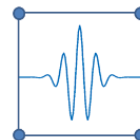


Figura 2.2 – Area monitorata dalla rete OGS al 21 gennaio 2020. Screenshot preso dal portale RTS-OGS (<http://rts.crs.inogs.it/>). Si osservi che la concessione di Bordolano è tutt’ora esterna all’area oggetto del monitoraggio da parte di OGS.

Sulla base delle informazioni ricavabili dal portale OASIS, appare come la rete gestita da OGS abbia subito alcune trasformazioni nel corso degli anni. In particolare, la copertura della zona di interesse per questo studio, a sud di Brescia, è variata negli anni recenti oggetto della relazione del Dott. Priolo. Nel periodo 2013 – 2018 si possono identificare tre fasi distinte:

- **Periodo 2013 – 2015:** L’area di interesse poteva essere monitorata tramite le reti “North-East Italy Broadband Network”, codice “NI”, e la rete della Provincia Autonoma di Trento, codice “PAT”. La geometria complessiva della rete, e la relativa copertura azimutale nell’area oggetto del presente studio sono riportate in Fig. 2.3. Le stazioni della rete NI sono riportate con i simboli triangolari di



colore giallo, mentre quelle della rete PAT sono in rosa. La mappa mostra chiaramente che la copertura sull'area a sud-ovest del lago di Garda era molto scarsa, con un gap azimutale indicativamente compreso tra 220 e 290 gradi. In queste condizioni, l'accuratezza delle localizzazioni degli eventi sismici è estremamente bassa ed inaffidabile in questa specifica zona.

- **Periodo 2016 – 01/2017:** A gennaio 2016 la rete "NI" è stata dismessa ed è stata rimpiazzata dalla rete denominata "North-East Italy Seismic Network", codice "OX". Molti dei siti della rete "NI" sono stati riutilizzati nella nuova rete, che è però stata anche integrata da ulteriori stazioni (Fig. 2.4). La copertura azimutale dell'area oggetto di studio è migliorata in prossimità della città di Brescia ed il lago di Garda, con valori di Gap azimutale (di seguito GA) localmente inferiori a 90°, mentre a sud-ovest a partire dalla concessione di Bordolano la copertura rimane scarsa (GA dell'ordine dei 290°). In altre parole, nel 2016 la rete OGS si può ipotizzare fosse in grado di localizzare accuratamente solo gli eventi posti nel settore nord orientale (Lago di Garda e città di Brescia).
- **Periodo 01/2017 – 2018:** La rete OGS è stata probabilmente ulteriormente integrata tramite l'installazione di una nuova rete locale volta al monitoraggio della sismicità nell'intorno di un altro campo di stoccaggio non gestito da STOGIT. Si tratta della rete di Cornegliano Laudense, codice "OL" (triangoli azzurri in Fig. 2.5). Con questa integrazione (l'effettiva integrazione di tali stazioni non è sicura in quanto non deducibile dalle informazioni pubblicate sul portale OGS OASIS), la copertura azimutale della rete OGS sull'area di Bordolano verrebbe migliorata, tuttavia nella zona intorno al campo sarebbe comunque eterogenea e compresa tra 90° e 160°, mentre oltre tenderebbe a raggiungere valori di gap azimutale elevato.

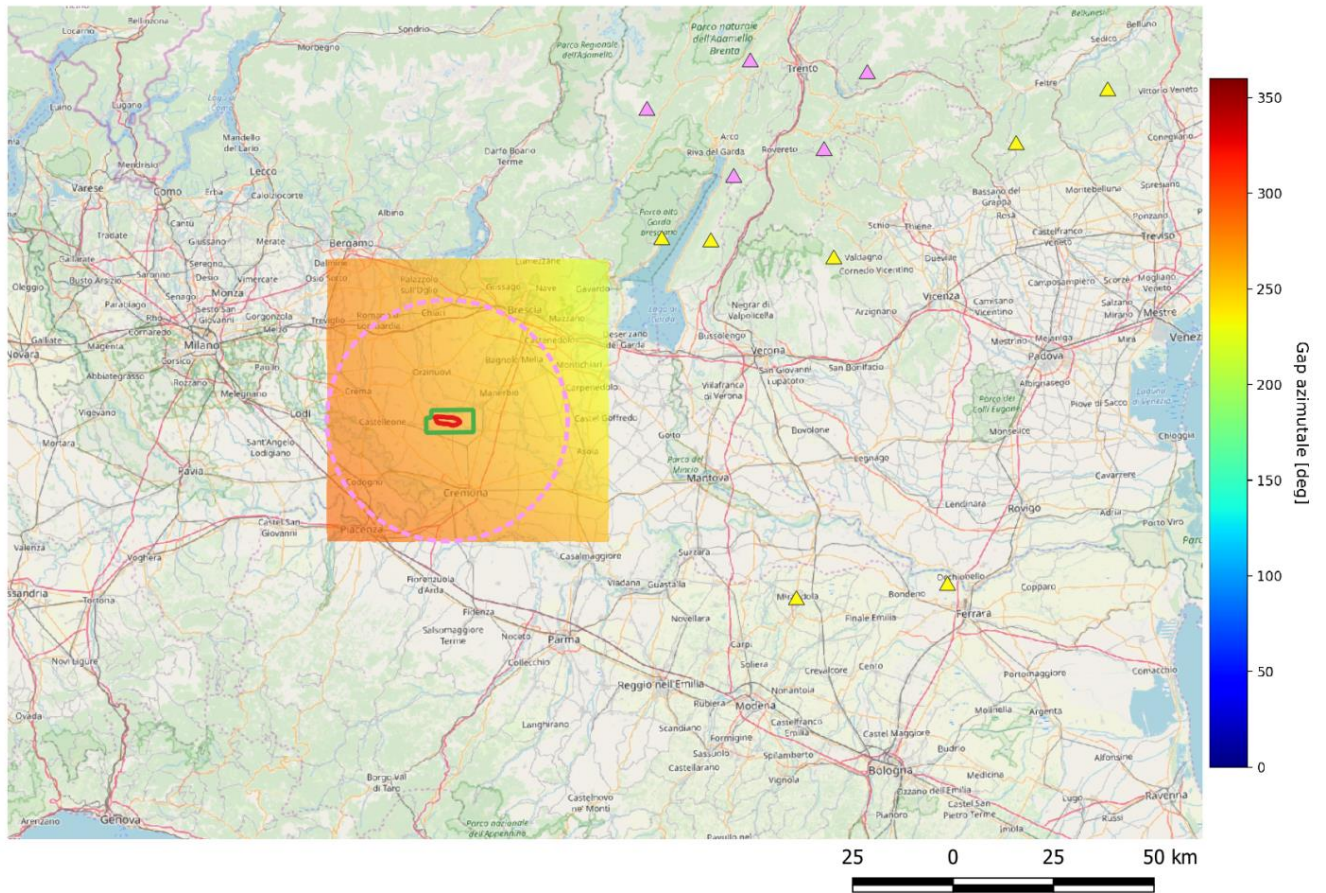
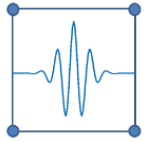


Figura 2.3. La rete utilizzata da OGS nel periodo 2013-2015 e la relativa mappa di gap azimutale nella regione intorno a Bordolano. Le stazioni della rete “NI” sono indicate dai triangoli gialli, quelli della rete “PAT” dai triangoli rosa.

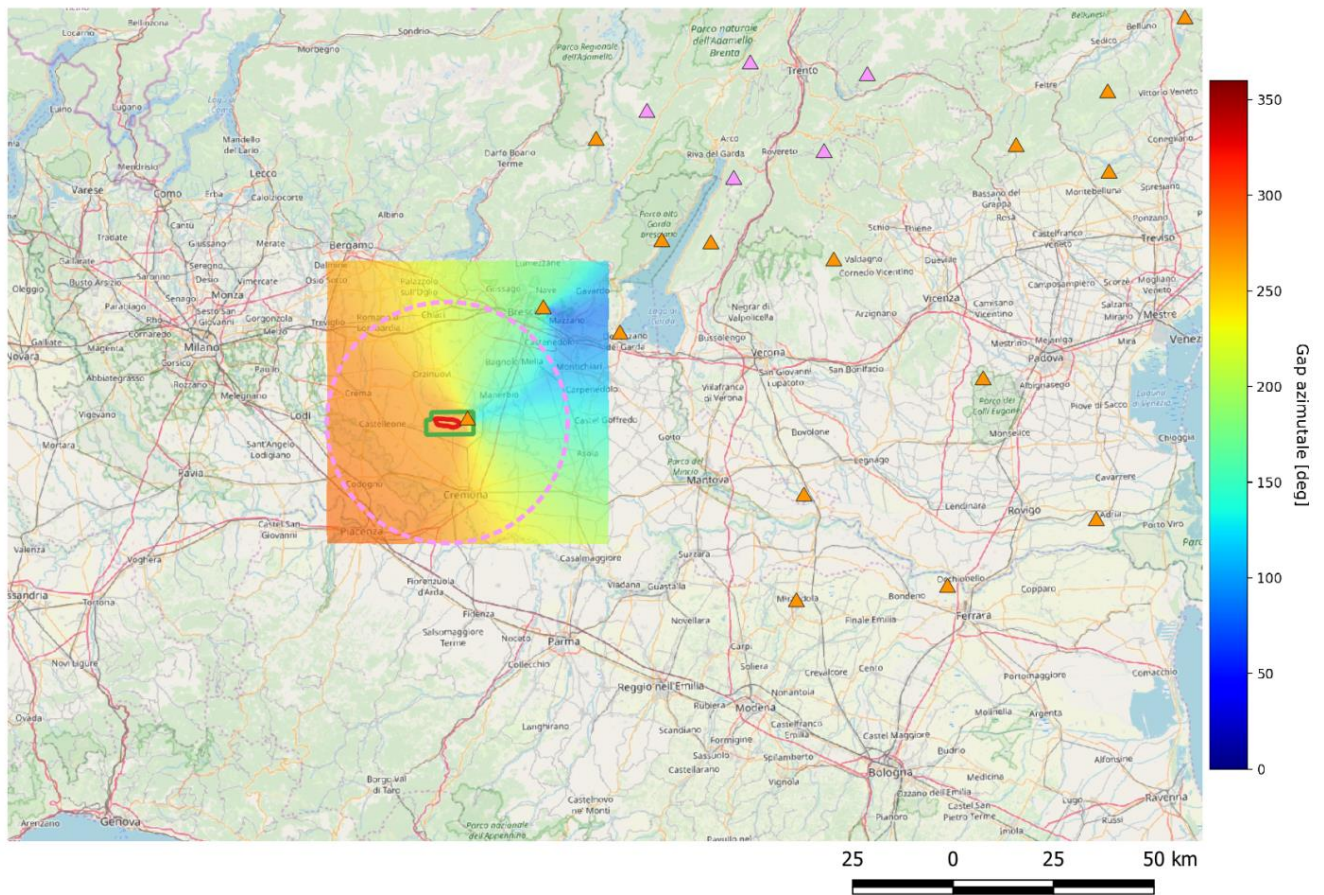
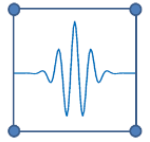


Figura 2.4. La rete OGS nel 2016 e la relativa mappa di gap azimutale nella regione intorno a Bordolano. Le stazioni della rete "OX", che ha rimpiazzato la rete "NI" al 01/01/2016 sono indicate dai triangoli arancioni, quelli della rete "PAT" dai triangoli rosa.

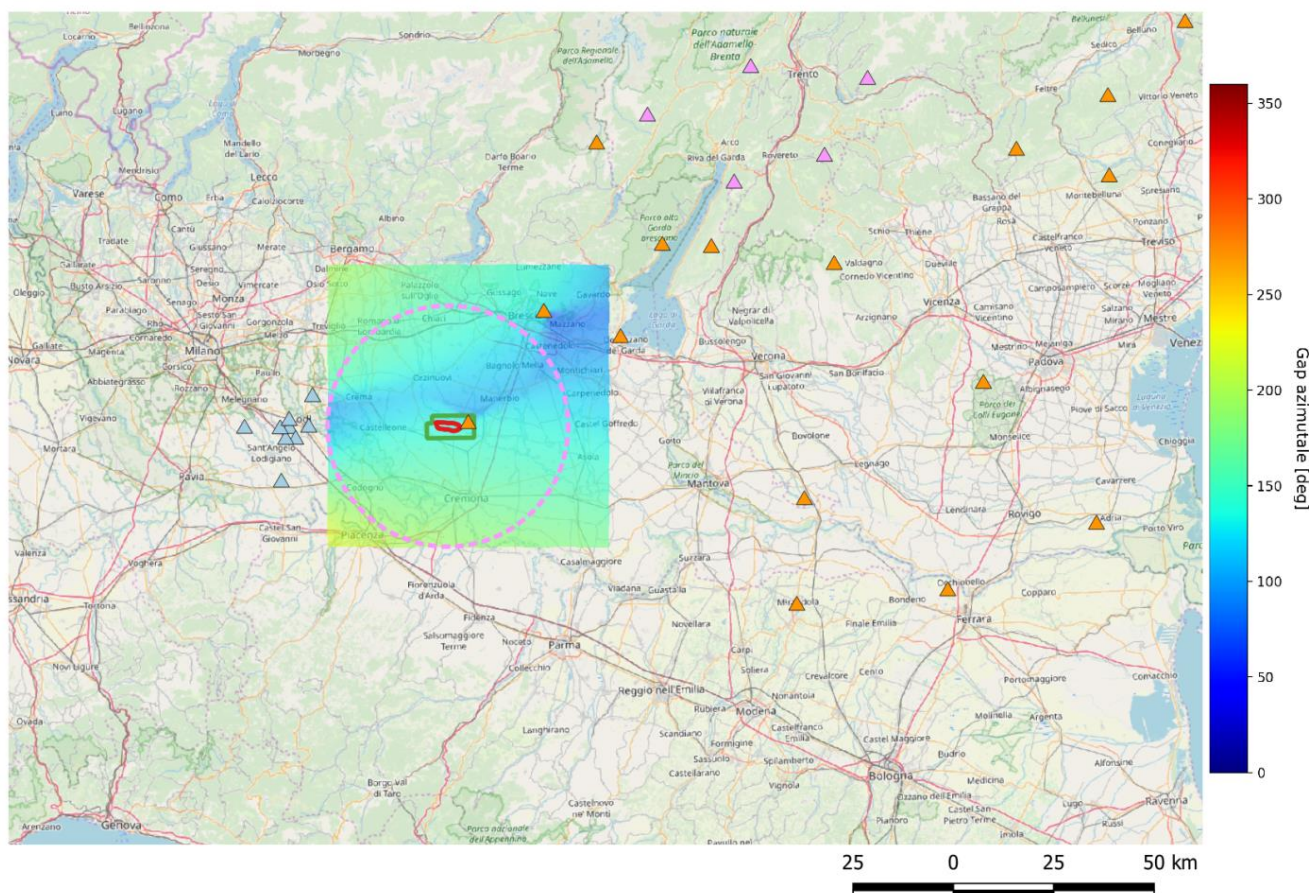
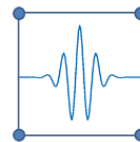
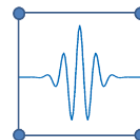


Figura 2.5. La rete OGS a partire dal 2017, e la mappa del gap azimutale nella regione intorno a Bolognola. Le stazioni della rete "OL", sono state attivate il 20 gennaio 2017 e sono indicate dai triangoli azzurri.

2.3. Discussione

Il confronto tra le reti utilizzate da INGV ed OGS suggerisce che la rete INGV ha consentito, per l'area oggetto dello studio e per l'intero periodo 2013-2018, una accuratezza complessiva delle localizzazioni da buona a ottima. Il catalogo INGV dovrebbe quindi essere preso come riferimento nei confronti tra diversi cataloghi. Questo dovrebbe essere tenuto presente anche in linea generale, essendo INGV l'ente che per normativa svolge il monitoraggio della sismicità nazionale (si veda decreto legislativo che istituisce INGV, 29 settembre 1999, n. 381, art.2 comma 1c).

Relativamente agli eventi sismici del catalogo OGS i cui epicentri sono situati all'interno dell'area di studio, l'evoluzione nel tempo della rete di monitoraggio OGS, con l'aggiunta progressiva di nuove stazioni e soprattutto il miglioramento della copertura azimutale, suggerisce che solo a partire dal gennaio 2017 le localizzazioni possano essere ritenute affidabili (se viene considerata l'effettiva integrazione della rete di Cornigliano Laudense), in quanto la rete in questa data ha raggiunto una sufficiente copertura. Al contrario, fino al dicembre 2016, la copertura appare inadeguata ad effettuare delle localizzazioni di precisione nell'area oggetto del presente studio.



3. Valutazione dei livelli di rumore ambientale della rete di Bordolano

La valutazione della sensitività di una rete di monitoraggio sismico richiede *in primis* la caratterizzazione del rumore ambientale *in-situ*. L'approccio adottato in questo studio è stato di utilizzare i dati acquisiti in campo dalle stazioni della rete, e calcolare tramite queste registrazioni le densità dello spettro di potenza (*probabilistic power spectral densities*, PPSD) secondo l'approccio classico di McNamara e Buland (2004), come implementato nella libreria ObsPy (Beyreuther et., 2010, Krischer et al., 2015). Tale tipologia di approccio viene comunemente usato a livello internazionale da enti pubblici e istituti di ricerca del settore, a tal proposito si rimanda per esempio ai risultati della sperimentazione degli indirizzi e linee guida effettuata sul campo di stoccaggio di Minerbio dall'istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (*Concessione di stoccaggio di gas naturale "Minerbio stoccaggio" (BO) Struttura Preposta al Monitoraggio, Relazione Finale, Luglio 2019*).

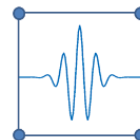
Sono stati analizzati due periodi di un mese ciascuno, corrispondenti al mese di maggio 2015 e ottobre 2018. Questi due periodi sono stati scelti perché, da un lato sono rappresentativi delle due configurazioni della rete di Bordolano (la rete per l'acquisizione del 'bianco' a 4 stazioni nel 2015 e la rete di monitoraggio con 7 stazioni nel 2018) e dall'altro presentano elevata continuità nei dati ed al tempo stesso il numero di eventi sismici naturali rilevati è basso. La scelta di due periodi diversi e distanti tra loro consente inoltre di valutare se e come siano variati nel tempo i livelli di rumore.

Le successive sezioni riportano i grafici dei risultati dell'analisi relativi alla componente orizzontale est (E) per i due periodi temporali scelti. Tutte le componenti sono state analizzate: quella qui riportata si ritiene la più indicativa in quanto le successive analisi di sensitività della rete sono eseguite considerando le fasi S, che sono normalmente identificabili sulle componenti orizzontali dei sismogrammi. I risultati sono presentati in termini di PPSD, confrontate con le curve standard di riferimento NHHM (New High Noise Model) e NLNM (New Low Noise Model) di Peterson (1993), rappresentate come linee continue di colore grigio nei diagrammi della PPSD. I risultati dell'analisi sono inoltre mostrati in termini di evoluzione nel tempo dell'ampiezza spettrale per alcune bande di frequenza di interesse.

3.1. Livelli di rumore nel 2015

Questa sezione riporta i livelli di rumore ottenuti analizzando i dati di maggio 2015. La Tab. 3.1 riporta in dettaglio i valori di ampiezza spettrale, alla frequenza di 5 Hz (scelta perché rappresentativa della frequenza d'angolo di eventi di bassa magnitudo) per diversi valori di probabilità (dal 25esimo al 90esimo percentile). Le Fig. 3.1 e 3.3 mostrano un esempio di PPSD di una stazione in pozzetto e una in superficie, mentre le Fig. 3.2 e 3.4 illustrano la variazione nel tempo dell'ampiezza (giorno/notte, giorni feriali/festivi).

Dall'analisi effettuata emerge che in tutte le stazioni di superficie (BO01, BO03 e BO07) i valori siano elevati, prossimi o superiori alla curva di riferimento NHHM per frequenze non di interesse per eventi microsismici. L'evoluzione temporale delle ampiezze mostra come il disturbo sia di origine prevalentemente antropica, dal momento che è chiaramente concentrato durante le ore lavorative dal lunedì al venerdì. La variabilità giorno/notte è elevata, eccedente in alcuni casi i 50dB, in tutti i range di



frequenza considerati. Per la stazione in pozzetto con sensori a 70m di profondità (BO02, Fig. 3.3 e 3.4) questa variabilità è in parte attenuata, almeno durante le ore diurne. Il guadagno rispetto ad una stazione di superficie si aggira indicativamente sui 10dB nelle ore diurne ma arriva in alcuni casi fino a 20dB, mentre durante la notte è inferiore, mediamente 5dB. I valori di rumore riscontrati sono tipici di aree altamente antropizzate, il livello di rumore è comunque tale da garantire il rispetto delle performance richieste dalle prescrizioni vigenti sul campo di stoccaggio come è osservabile dalle modellazioni effettuate a scala locale e presentate nel seguito (Cap. 4).

Tabella 3.1. Caratterizzazione dell'intensità del rumore ambientale nel mese di maggio 2015 per la frequenza di riferimento di 5Hz delle due stazioni di riferimento nel periodo 2013-11/2016. Sono riportati i valori ottenuti per diversi livelli di probabilità pari al 25-, 50-, 75- e 90-esimo percentile (rispettivamente colonne p25, p50, p75 e p90).

Stazione	Canale	Intensità del rumore a 5Hz, [$\text{m}^2/\text{s}^4/\text{Hz}$][dB]			
		p25	p50	p75	p90
BO02	S1Z	-124	-117	-101	-97
	S1E	-127	-121	-105	-102
	S1N	-126	-121	-105	-101
BO03	S1Z	-112	-108	-102	-99
	S1E	-112	-108	-101	-98
	S1N	-113	-109	-102	-99

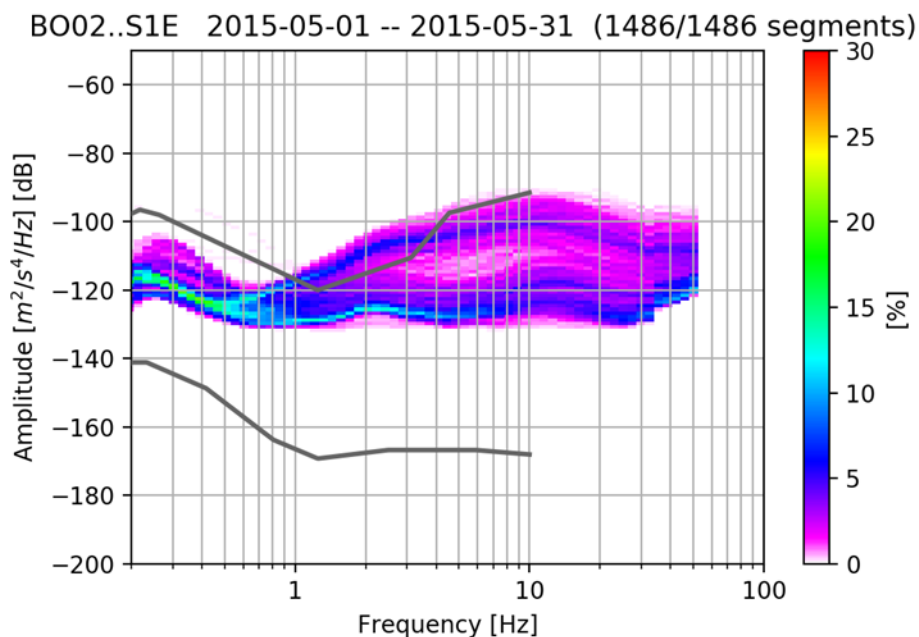
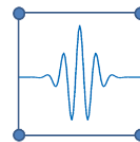


Figura 3.1 Diagramma della PPSD per la stazione BO02, canale S1E, relativo al mese di maggio 2015

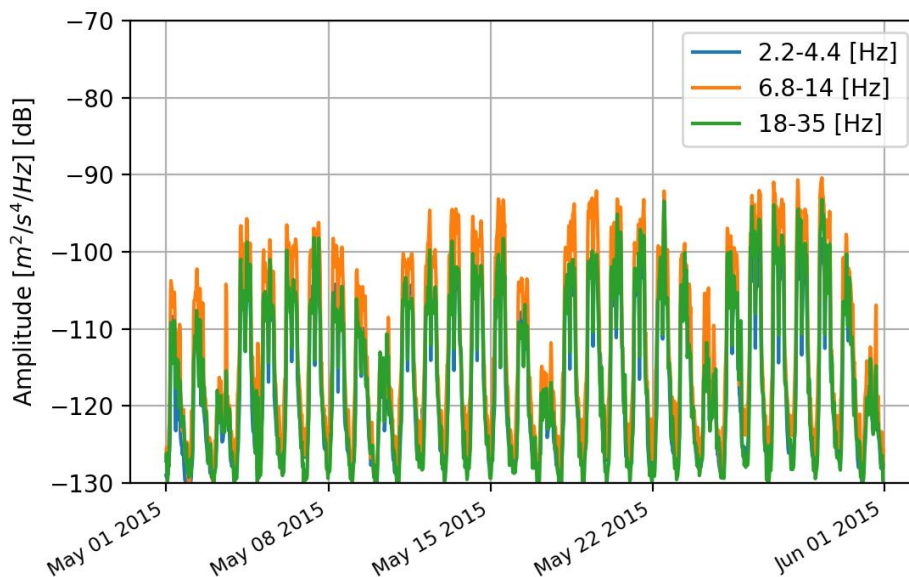


Figura 3.2 Grafico dell'andamento temporale dell'intensità del rumore per 3 intervalli di frequenza e per il periodo di maggio 2015, stazione BO02, canale S1E

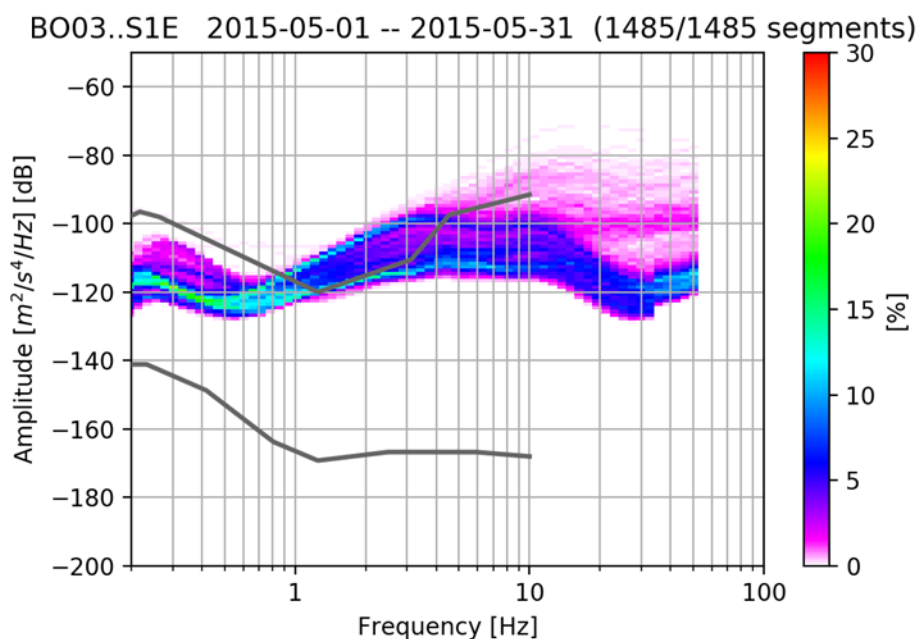
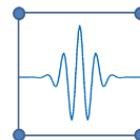


Figura 3.3 Diagramma della PPSD per la stazione BO03, canale S1E, relativo al mese di maggio 2015

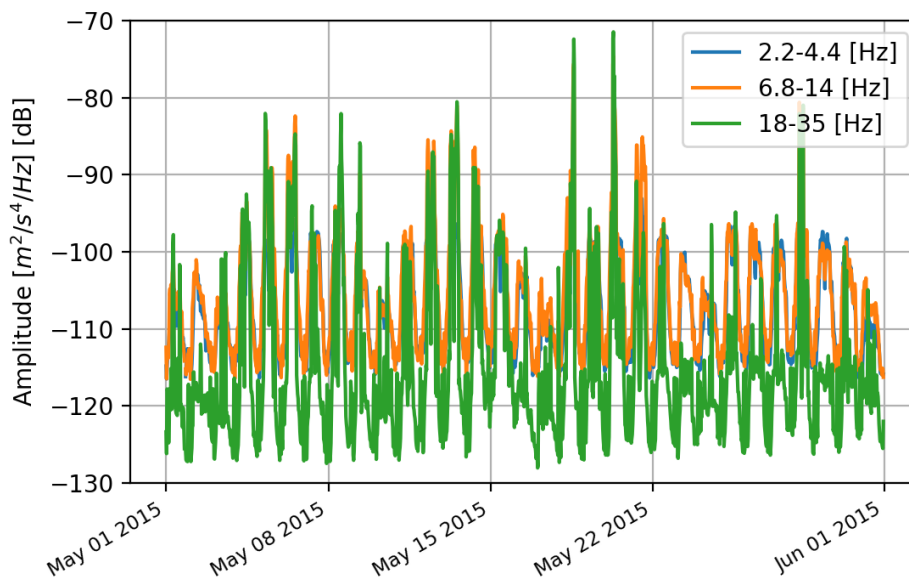
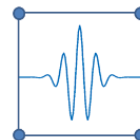


Figura. 3.4 Grafico dell'andamento temporale dell'intensità del rumore per 3 intervalli di frequenza e per il periodo di maggio 2015, stazione BO03, canale S1E



3.2. Livelli di rumore nel 2018

Questa sezione riporta i livelli di rumore ottenuti analizzando le registrazioni di Ottobre 2018. La Tab. 3.2 riporta in dettaglio i valori di ampiezza spettrale, alla frequenza di 5Hz per diversi livelli di probabilità, che possono essere confrontati con quanto riportato in Tab. 3.1 per valutare le differenze. Le Fig. 3.5 e 3.7, mostrano invece a titolo di esempio le PSD di una stazione in superficie ed una in pozzetto, mentre le Fig. 3.6 e 3.8 illustrano la variazione nel tempo dell'ampiezza (giorno/notte, giorni feriali/festivi).

I valori massimi (caso p90) sono in questo periodo ridotti rispetto al 2015, anche di 15dB rispetto a maggio 2015. Un confronto puntuale può essere fatto confrontando i valori di Tab. 3.1 e 3.2. Durante la notte, o comunque nei periodi più tranquilli, i livelli di rumore scendono, ma si attestano mediamente su valori uguali o leggermente superiori a quelli del maggio 2015. In altre parole, le analisi indicano che il livello di rumore diurno era superiore a maggio 2015 rispetto a ottobre 2018, mentre durante la notte i livelli medi sono leggermente maggiori nel 2018.

Tabella 3.2. Caratterizzazione dell'intensità del rumore ambientale nel mese di ottobre 2018 per la frequenza di riferimento di 5Hz per le 3 componenti di due stazioni della rete attiva a Bordolano nel periodo 2017-2018. Sono riportati i valori ottenuti per diversi livelli di probabilità pari al 25-, 50-, 75- e 90-esimo percentile (rispettivamente colonne p25, p50, p75 e p90).

Stazione	Canale	Intensità del rumore a 5Hz, [m ² /s ⁴ /Hz][dB]			
		p25	p50	p75	p90
BO02	S1Z	-122	-117	-111	-109
	S1E	-125	-121	-116	-114
	S1N	-124	-121	-115	-114
BO03	S1Z	-111	-107	-102	-99
	S1E	-112	-108	-103	-101
	S1N	-111	-108	-103	-100

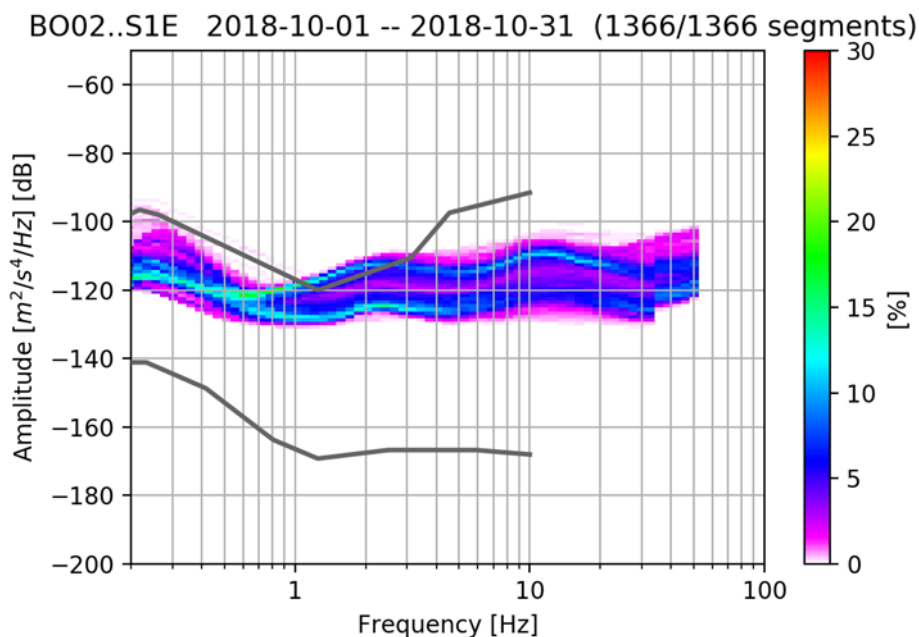
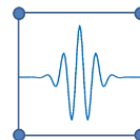


Figura 3.5 Diagramma della PPSD per la stazione BO02, canale S1E, relativo al mese di ottobre 2018

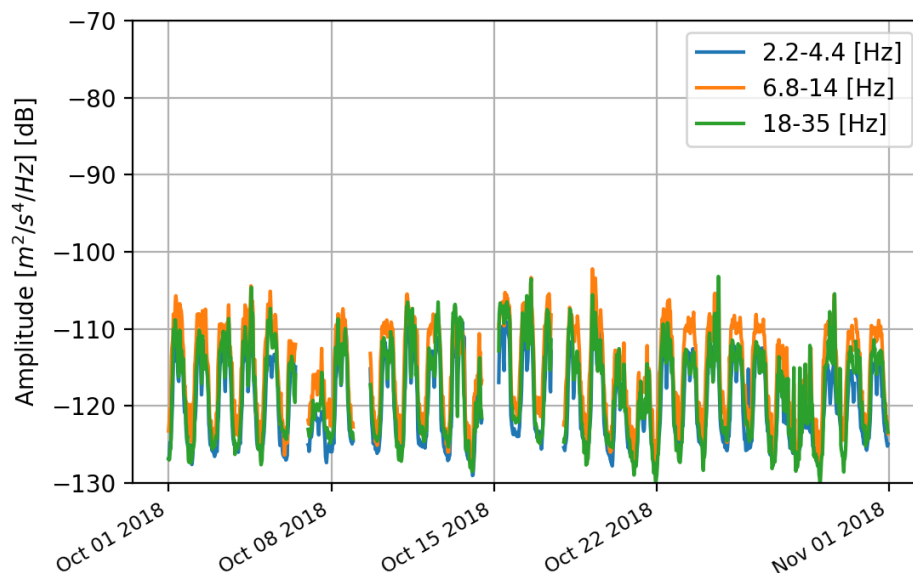


Figura 3.6 Grafico dell'andamento temporale dell'intensità del rumore per 3 intervalli di frequenza e per il periodo di ottobre 2018, stazione BO02, canale S1E

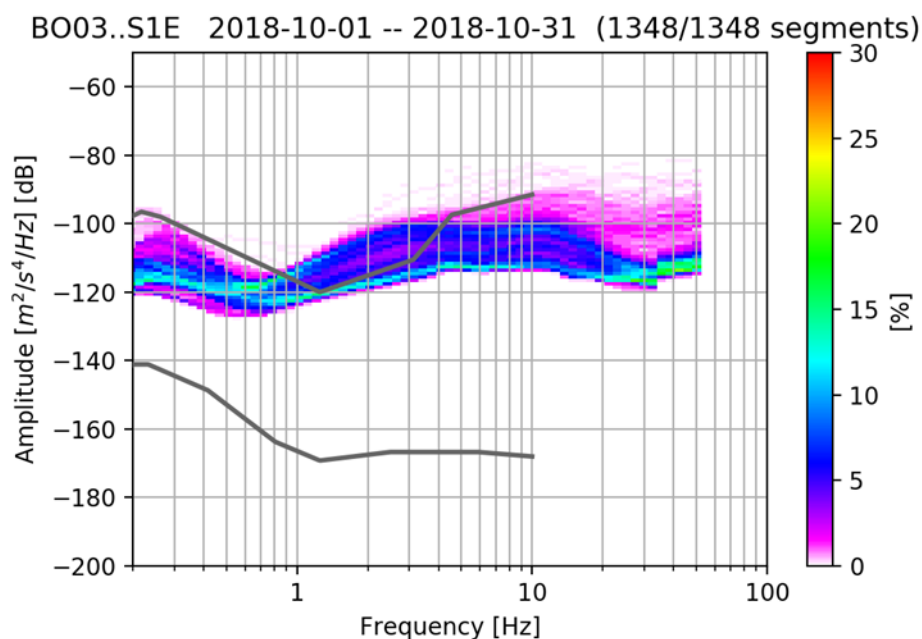
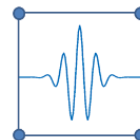


Figura 3.7 Diagramma della PPSD per la stazione BO03, canale S1E, relativo al mese di ottobre 2018

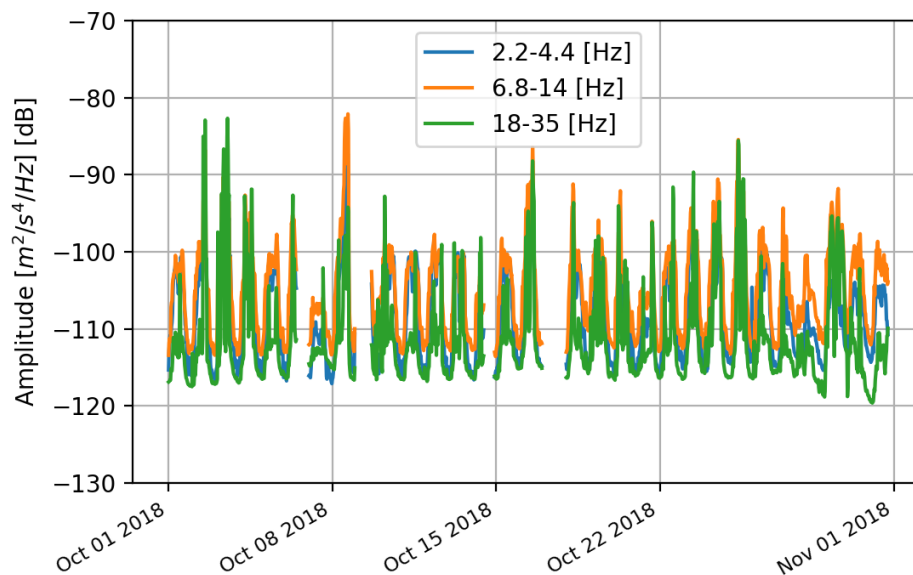
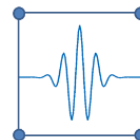


Figura 3.8 Grafico dell'andamento temporale dell'intensità del rumore per 3 intervalli di frequenza e per il periodo di ottobre 2018, stazione BO03, canale S1E



4. Analisi delle performance della rete di Bordolano

4.1. Metodologia

L'obiettivo della modellizzazione è quello di simulare eventi sismici di magnitudo non particolarmente elevata ($ML = 0 \div 3$), in cui lunghezza e larghezza della superficie di faglia risultano confrontabili.

La metodologia utilizzata per le simulazioni è ben conosciuta, è stata descritta e discussa nella letteratura nazionale ed internazionale (es., D'Alessandro et al., 2011, Kraft et al., 2013, Stabile et al., 2013, Carannante et al., 2017) ed è stata usata ampiamente per la progettazione ed analisi di sensitività di reti di monitoraggio sismico a differenti scale (per es. D'Alessandro et al., 2010, Kraft et al., 2013, INGV 2015a, 2015b, 2017).

La metodologia può essere sintetizzata come segue,

1. Calcolare i tempi di transito sorgente-ricevitore e la lunghezza del relativo percorso per una griglia regolare di ipocentri a diverse distanze e diverse profondità;
2. Calcolare l'ampiezza dello spettro di spostamento simulato ai ricevitori per ciascun ipocentro, utilizzando il modello sorgente di Brune (1970), nonché i modelli di spreading e attenuazione locali;
3. Confrontare lo spettro di spostamento simulato con i livelli di rumore misurati (ottenuti come PPSD, si veda il Cap. 3)

Terremoti di moderata magnitudo presentano valori di $\Delta\sigma$ compresi nello stretto range 1-10 MPa (D'Alessandro et al., 2010). Si assume nel seguito $\Delta\sigma = 1$ MPa come valore rappresentativo della caduta di sforzo di eventi sismici di magnitudo inferiore a 3.0. Tramite il modello a sorgente puntiforme di Brune (1970; 1971) si calcola lo spettro di Fourier in velocità β delle onde S registrate a distanza ipocentrale R dalla sorgente, secondo le relazioni:

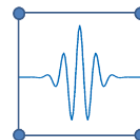
$$V(f) = \frac{CM_0}{R} \frac{2\pi f}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} e^{\left(\frac{-\pi R_i}{\beta_i Q_0 i}\right)} e^{(-k\pi f)}$$

$$f_c = \beta \left(\frac{\Delta\sigma}{8.47 M_0}\right)^{1/3} \quad C = \frac{F_S R \theta \omega}{4\pi Q \beta^3}$$

ove la costante C dipende dalla velocità β , dalla densità del mezzo, ρ , dal fattore di forma della radiazione, $R\theta\omega$ e dal fattore F_S che rappresenta l'amplificazione di superficie libera. Per la sorgente si utilizza un modello di faglia circolare di raggio R sulla quale agisce uno stress di taglio impulsivo. La dimensione del raggio di faglia R è determinata dalla Magnitudo locale che si vuole considerare tramite il momento sismico scalare $M_0 = 10^{(1.5ML+9.1)}$ e dallo Stress Drop statico $\Delta\sigma$ (Madariaga, 1976, Hanks and Kanamori, 1979).

L'attenuazione infine viene parametrizzata utilizzando un fattore di qualità Q(f) dipendente dalla frequenza secondo la relazione $Q(f) = Q_0 f$ (Lay e Wallace 1995) e il parametro k di decadimento spettrale (Anderson e Hough, 1984).

Lo spettro in velocità dell'evento simulato viene confrontato con i livelli di rumore ambientale ottenuti dalle PPSD, opportunamente convertite. Un evento è considerato identificabile sul sismogramma solo se il



rapporto segnale rumore è maggiore di un valore soglia, preso pari a 3 in questo studio. In letteratura è stato indicato che già un rapporto segnale/rumore di 2 sia sufficiente per identificare manualmente le fasi, sebbene la precisione del picking sia minore (Steck et al. 2001, Stabile et al., 2013).

Un evento è considerato localizzabile quanto viene identificato da un certo numero di stazioni (≥ 4). Maggiore è il numero di stazioni che rilevano l'evento, più è stabile e precisa è la localizzazione.

4.2. Scelta dei parametri geofisici

I parametri geofisici da inserire nel modello volto a stimare le performance della rete sono la velocità delle onde di taglio, β , ed i parametri che controllano l'attenuazione delle onde, ovvero il fattore di qualità Q_0 e di decadimento spettrale, k .

Informazioni relative alla velocità delle onde S possono essere estratte da alcuni lavori recenti relativi all'intera pianura padana. In particolare, Molinari et al. (2015) e successivamente Berbellini et al., (2017) hanno realizzato dei modelli di velocità di dettaglio che si estendono fino ad alcune decine di km di profondità. I due modelli sono denominati MAMBo (Molinari et al., 2015) e MAMBo-E (Berbellini et al., 2017). Berbellini et al., (2017) riporta per entrambi i modelli una sezione verticale lungo un profilo approssimativamente est-ovest, passante in prossimità della concessione di Bordolano (si veda la Fig. 4.1). Tale sezione può essere usata per stimare un valore medio di velocità delle onde di taglio per le simulazioni di sensitività della rete di monitoraggio (i cui risultati sono illustrati nelle successive Sez. 4.3 e 4.4). In particolare (Fig. 4.2), si osserva come in entrambi i modelli sia presente una interfaccia ad alto contrasto di velocità ad una profondità di circa 6km. Le formazioni più superficiali (per profondità inferiori a 6km) hanno velocità relativamente basse e sebbene ci siano alcune differenze tra i due modelli, i valori sono compresi tra 750 e 2300 m/s. A profondità maggiori di 6 km invece i valori sono superiori ai 3000 m/s. I profili di velocità in corrispondenza di alcune stazioni della rete sismica nazionale riportati in Berbellini et al., (2017) indicano un valore di β pari a circa 4000 m/s a 30 km di profondità.

Per quanto riguarda il fattore di qualità Q, uno studio di Del Pezzo et., (2011), relativo alla porzione centrale della Pianura Padana (la Fig. 4.3 riporta l'area interessata dallo studio) indica un valore regionale del fattore di qualità nel range compreso tra 125 e 160. Questo range è coerente con i risultati sia di Morasca et al., 2010, condotto però ad una scala più ampia, sia di Castro et al., (2008) relativo alla regione circostante il lago di Garda. Cautelativamente, poiché i valori di letteratura sono delle medie regionali che prendono in considerazione anche i livelli più profondi, il valore più basso tra quelli osservati in letteratura è stato scelto, ed è stato ulteriormente ridotto sulla base delle stime di errore: **dunque si ritiene che i risultati ottenuti siano conservativi, ovvero tendano a sottostimare le soglie di magnitudo che possono essere effettivamente identificate, soprattutto per eventi a grande profondità.**

Il parametro di decadimento spettrale k può variare tra un valore di 0.01s per siti rocciosi e 0.12 s per sedimenti alluvionali. In questo studio, coerentemente con precedenti analisi sempre condotte nella Pianura Padana (Carannante et al., 2016, INGV, 2017), è stato scelto seguendo un approccio cautelativo.

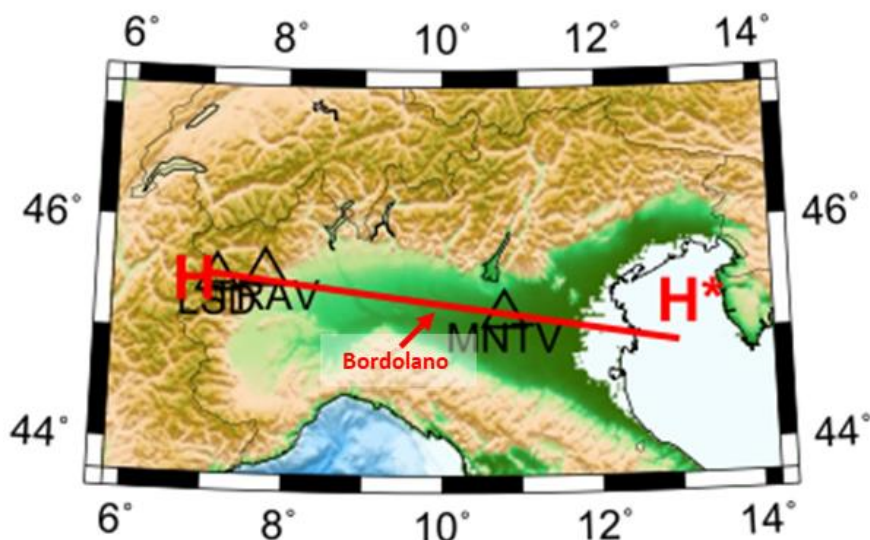
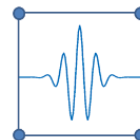


Figura 4.1 Posizione del profilo H-H* lungo il quale Berbellini et al., (2017) hanno estratto un profilo verticale fino a 10km di profondità del modello di velocità delle onde S. Sovrainposta è la posizione approssimativa della concessione di Bordolano, posta ad una distanza di 65km dalla stazione IV.MNTV in direzione ovest rispetto a questa. Immagine riprodotta e modificata da Berbellini et al., (2017).

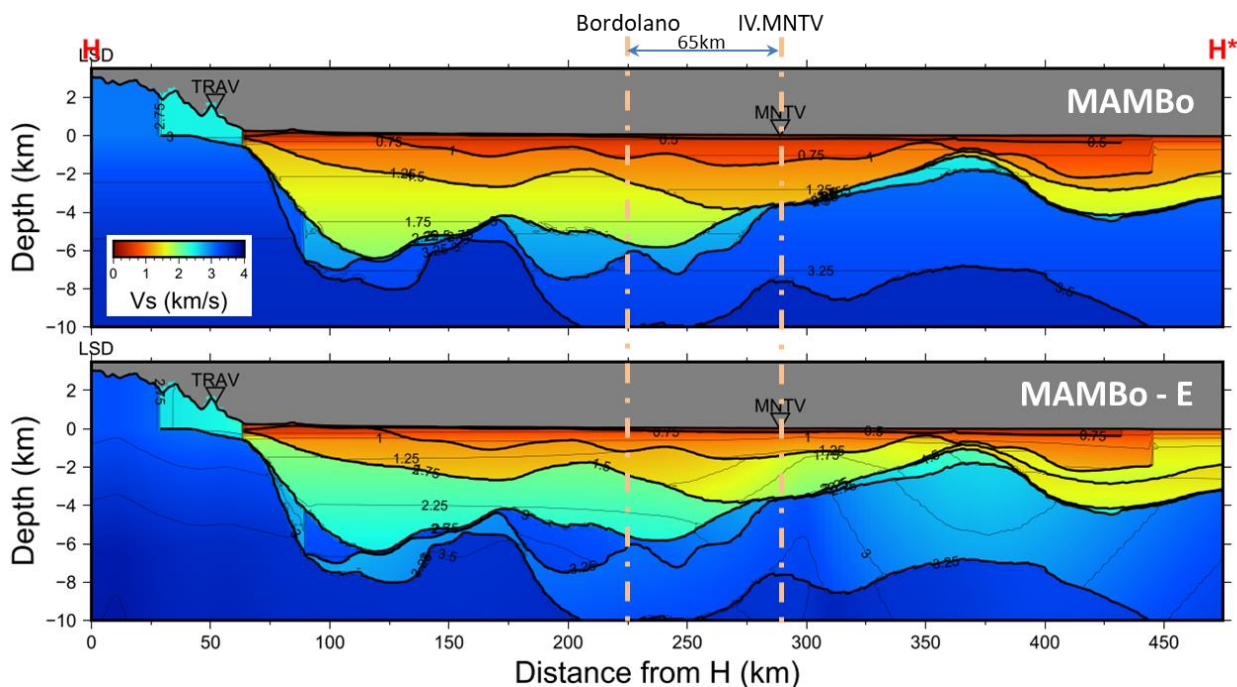


Figura 4.2 Sezione verticale del modello di Vs lungo il profilo H-H* per relativo ai modelli MAMBo e MAMBo-E. E' indicata la posizione approssimativa del campo di Bordolano, posto 65km a ovest della stazione IV.MNTV. Figura riprodotta e modificata da Berbellini et al., (2017).

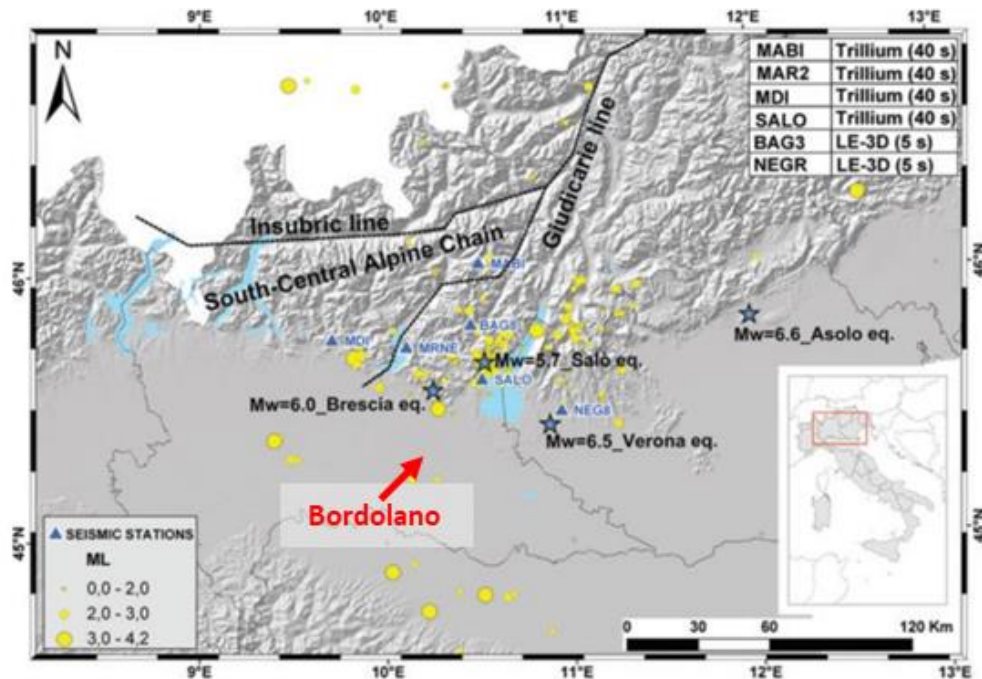
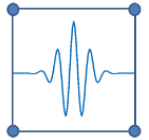
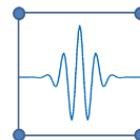


Figura 4.3 Area interessata dallo studio di Del Pezzo et al., (2011) per la stima dei coefficienti di attenuazione sismica. La freccia indica la posizione del campo di Bordolano. Figura riprodotta e modificata da Del Pezzo et al., (2011).



4.3. Modello locale

La modellistica alla scala locale ha l'obiettivo di stimare l'intensità minima degli eventi che possono essere identificati e localizzati dalla rete nelle vicinanze del giacimento e nell'area soggetta a prescrizione ministeriale DVA-2014-0018804 del 16.05.2014 (*"dovrà essere predisposta una rete di monitoraggio microsismico in grado di determinare la massima accelerazione del suolo provocata da un terremoto riconducibile alle attività di stoccaggio, ed in grado di ubicare i sismi fino a Magnitudo pari a 0.9; a tale rete dovrà essere associato un sistema di riconoscimento ed ubicazione degli eventi, anche tramite le «forme d'onda», tale da consentire una valutazione in tempo sufficientemente breve della microsismicità significativa; la rete microsismica dovrà coprire un'area tale comprendere almeno tutta la proiezione in superficie del giacimento e le stazioni di misura dovranno essere in grado di registrare sismi in un raggio di almeno di 5 km dai fondo-pozzo"*). Per completezza di analisi l'area di modellazione è stata estesa anche ai domini di rilevazione definiti dagli indirizzi e linee guida per i monitoraggi emanati dal Ministero dello Sviluppo Economico (si precisa che tali linee guida non hanno carattere prescrittivo e non sono applicate al campo di Bordolano). Le linee guida indicano che l'obiettivo della rete dovrebbe essere quello di identificare eventi di magnitudo locale inferiore ad 1 nel Dominio Interno (DI) e migliorare di 1 ordine di grandezza nel Dominio Esteso la magnitudo di completezza della rete sismica nazionale, che in questa zona, è compresa tra 2 e 2.5 (Schorlemmer et al., 2010) a seconda del livello di confidenza scelto e della profondità degli eventi.

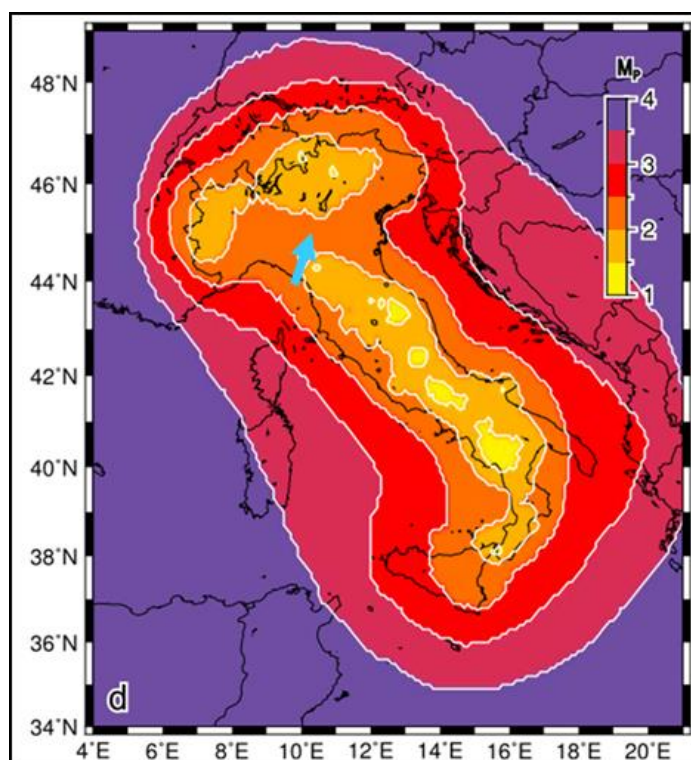
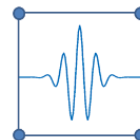


Figura 4.4 Mappa di valutazione della magnitudo di completezza per eventi a profondità 0km e probabilità $P=0.999$ secondo Schorlemmer et al., 2010 (loro Fig. 4, pannello d). La freccia azzurra aggiunta indica la posizione approssimativa della concessione di Bordolano.



L'analisi sulla sensitività della rete di monitoraggio di Bordolano alla scala locale è stata condotta considerando una regione quadrata di lato 24km, estesa fino alla profondità di 12km. La velocità media delle fasi S alla sorgente è stata scelta coerentemente con le velocità indicate dai modelli regionali per le zone più superficiali (si vedano Molinari et al., 2015; Berbellini et al., 2017, oltre alla precedente Sez 4.2).

Tutte le mappe di questa sezione sono state realizzate utilizzando la stessa scala di colori per facilitare il confronto, le linee nelle mappe rappresentano:

- Proiezione in superficie del giacimento (linea rossa continua)
- Limite della prescrizione di 5 km (linea rosa)
- Limiti del dominio interno (linea gialla continua) e del dominio esteso (linea bianca).

4.3.1. Risultati per la rete 2013 - 2016

L'analisi di sensitività della rete locale nella configurazione esistente fino a novembre 2016 è stata effettuata considerando 4 distinti scenari: 3 di questi scenari hanno livelli di rumore differenti, pari rispettivamente al 50-, 75- e 90-esimo percentile (denominati p50 rumore medio, p75 rumore medio alto e p90 rumore alto e caso estremamente cautelativo) considerando che 4 stazioni contribuiscano alla localizzazione dell'evento (eventualmente anche con 3 sole stazioni è possibile localizzare un evento sismico, sebbene con una accuratezza inferiore).

Si ricorda che la finalità della rete nel periodo 2013-2016 era quella di registrare la baseline del rumore e valutare la sismicità locale naturale ante operam (lo stoccaggio è iniziato a Dicembre 2016).

I risultati per i tre scenari sono riportati nelle Fig. 4.5 – 4.9 per lo scenario p50, 4.10 – 4.14 per lo scenario p75 e 4.15 – 4.19 per lo scenario p90.

Le figure illustrano la magnitudo minima localizzabile per eventi a diverse distanze dalla concessione e per profondità fissate a 2-5-7-10-12 Km, tali profondità comprendono le aree soggette a prescrizione ministeriale e le aree indicate all'interno degli indirizzi e linee guida.

I risultati della simulazione indicano che la rete di monitoraggio di Bordolano, nel periodo 2013-2016, considerata la scelta conservativa dei parametri geofisici (le performance reali della rete sono probabilmente in qualche misura superiori, vedi Sez. 4.2), rispettava quanto richiesto dalla prescrizione DVA-2014-0018804 del 16.05.2014:

- In corrispondenza del giacimento, per eventi nello stesso range di profondità della roccia serbatoio (circa 2km), la rete mostra una capacità di localizzare eventi nel range di magnitudo locale prossima allo 0.0 nel caso con bassi livelli di rumore (scenario p50) e 0.9 (scenario p90).
- Per quanto riguarda la capacità di detezione e localizzazione nel raggio di 5km da fondo pozzo, nella situazione limite con sorgenti alla profondità di 7km e distanza epicentrale di 5km, le simulazioni indicano valori nel range di ML compreso tra 0.4 e 1.4, a seconda dello scenario. Questi valori sono sicuramente compatibili con la finalità della rete, ovvero registrare i livelli di rumore e sismicità naturale di base, in quanto, anche nello scenario peggiore, la rete era in grado di migliorare decisamente la capacità di detezione e localizzazione rispetto ai valori attesi per la rete sismica nazionale nell'intorno del giacimento.

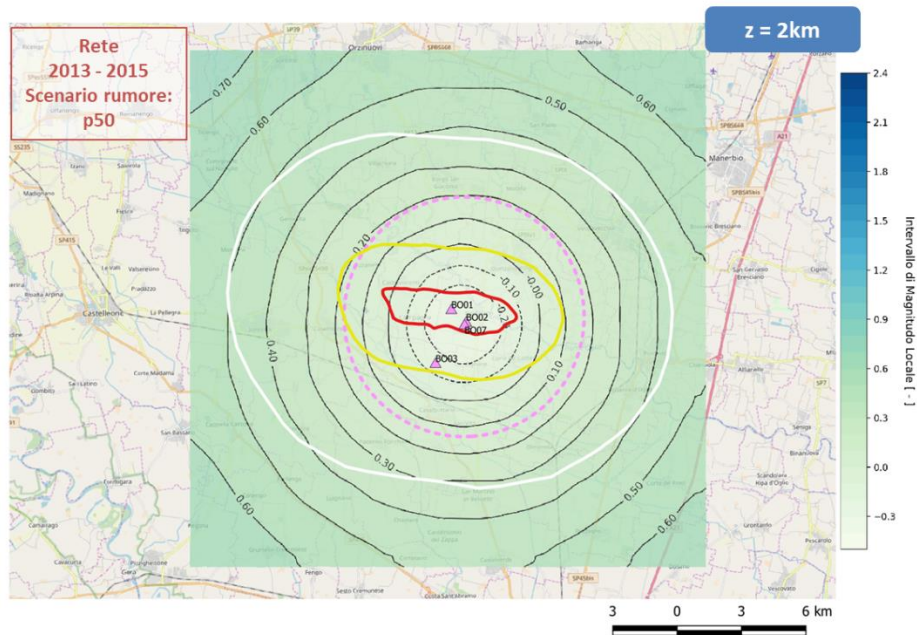
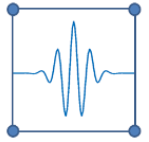


Figura 4.5 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 2km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

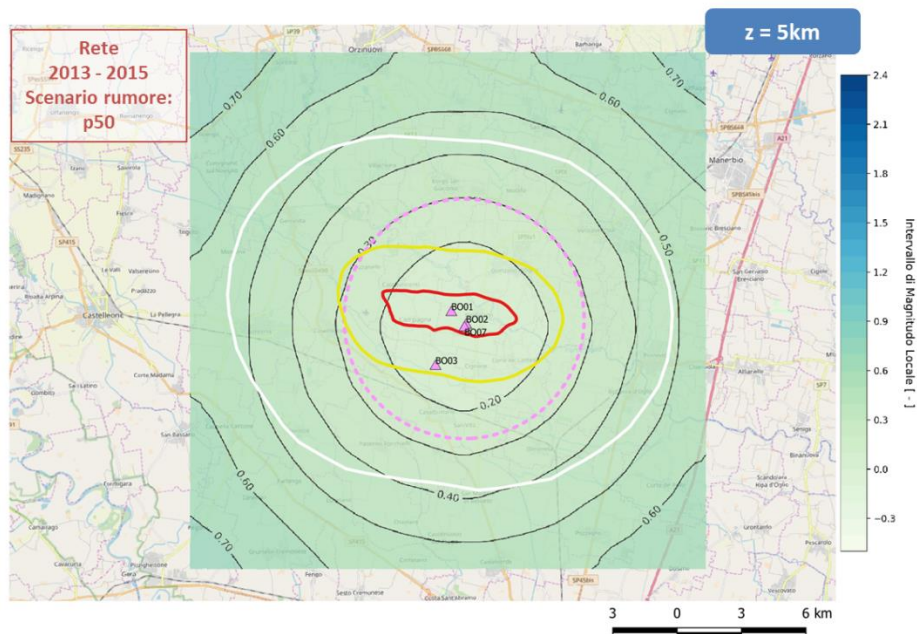


Figura 4.6 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 5km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

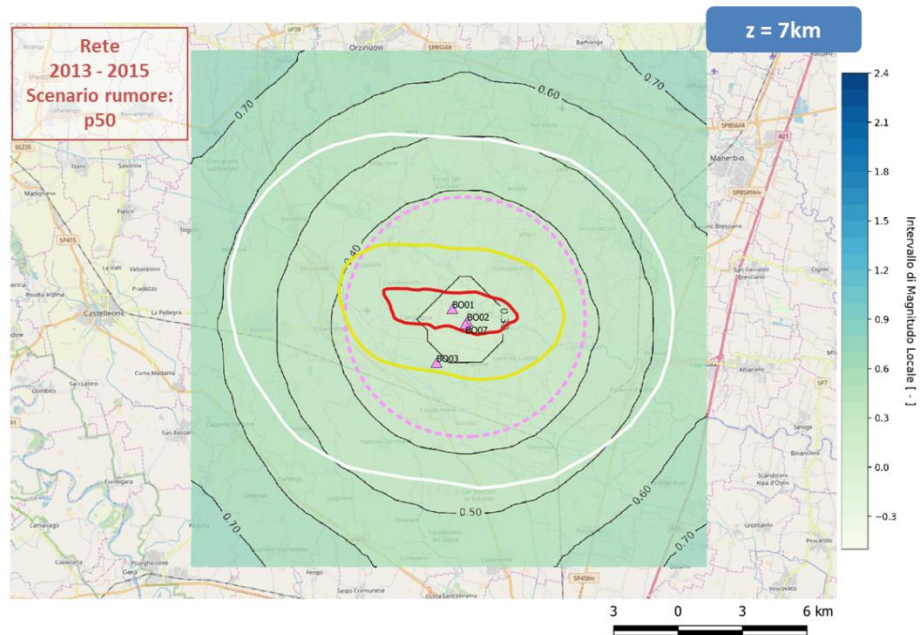
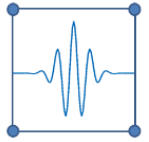


Figura 4.7 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 7km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

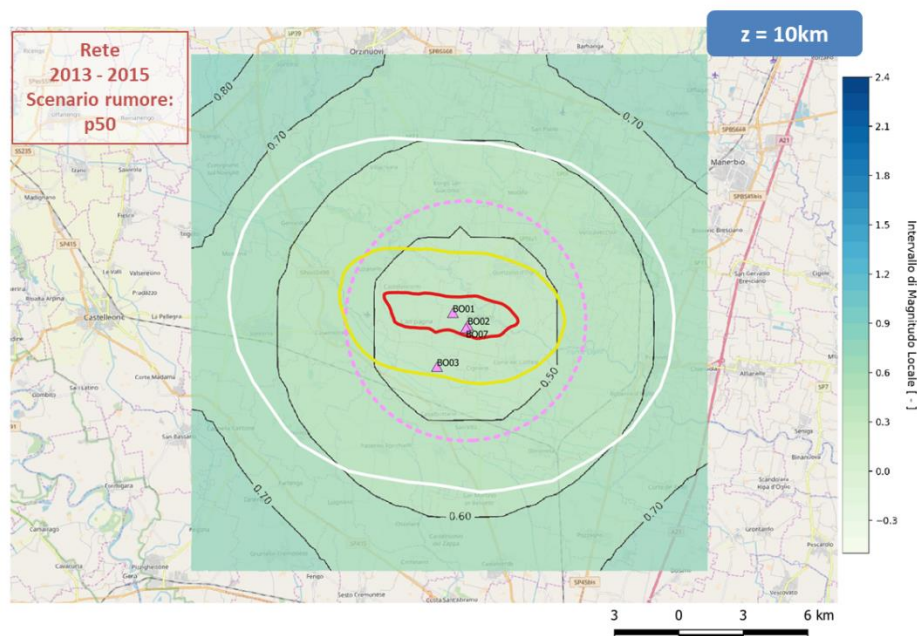


Figura 4.8 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 10km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

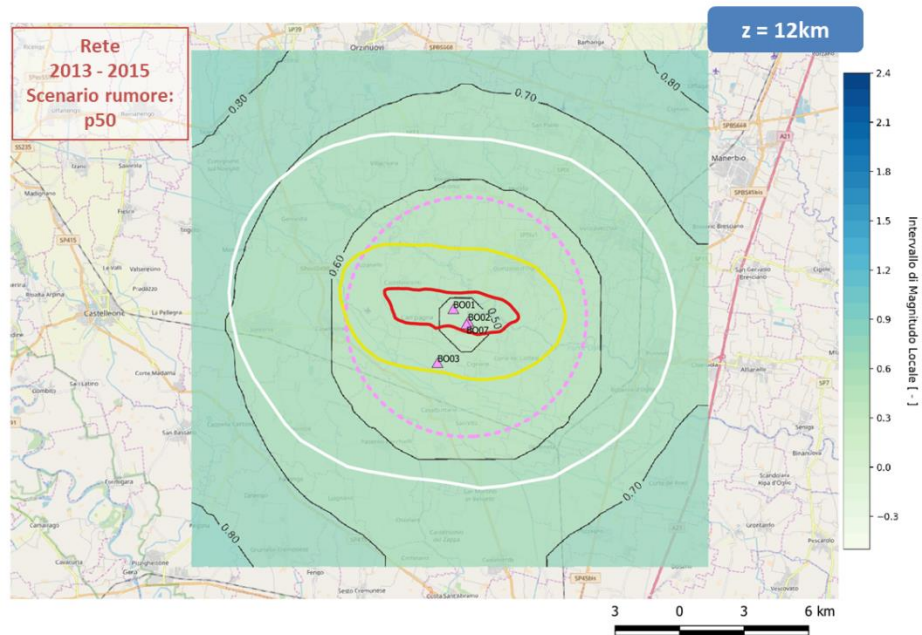
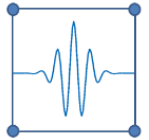


Fig.4.9 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 12km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

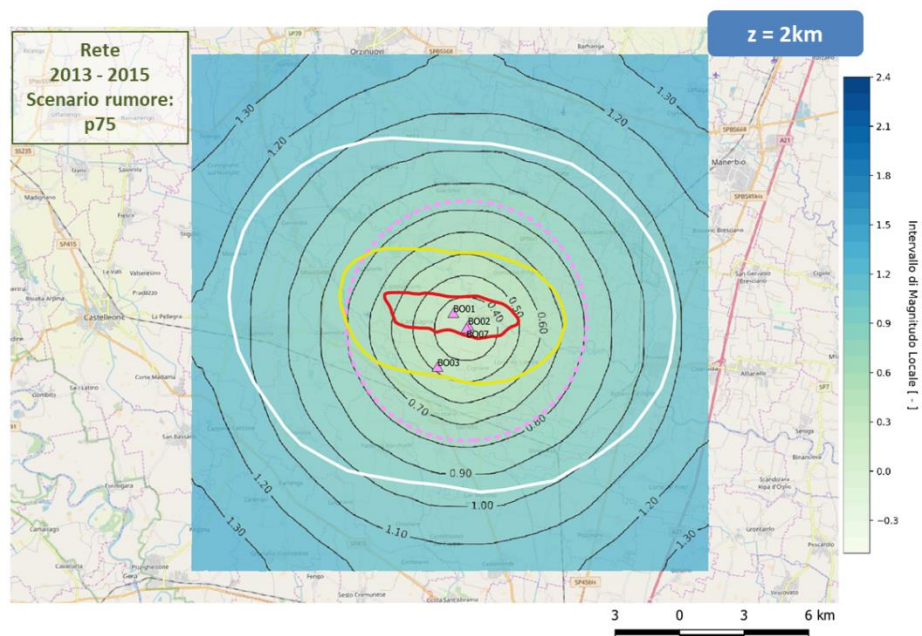


Figura 4.10 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 75esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 2km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

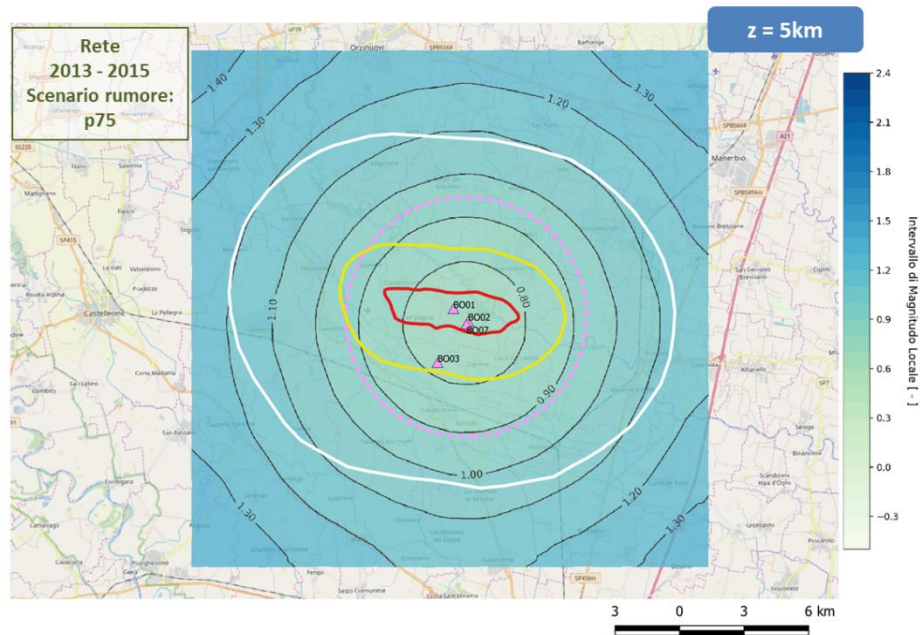
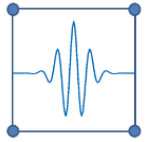


Figura 4.11 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 75esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 5km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

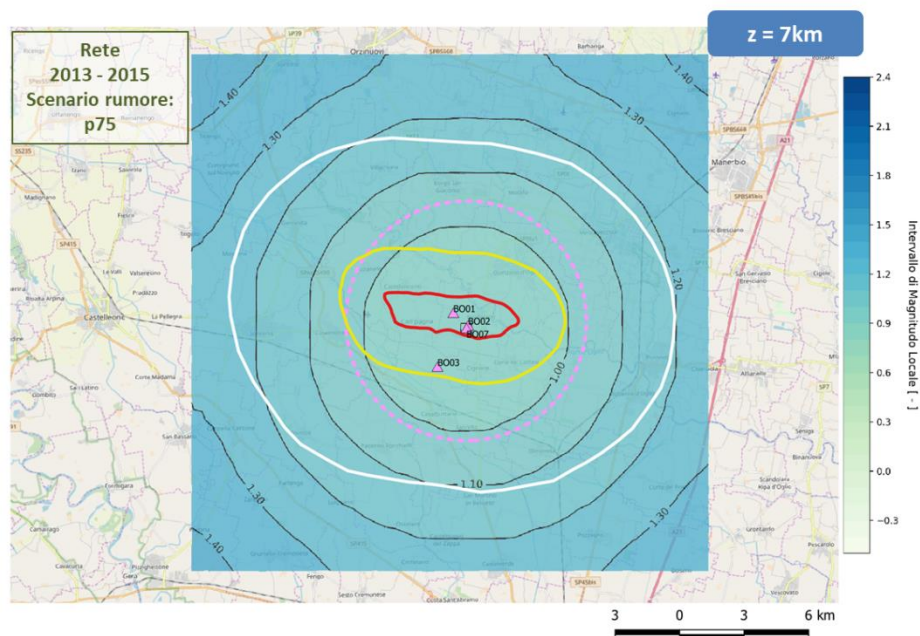


Figura 4.12 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 75esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 7km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

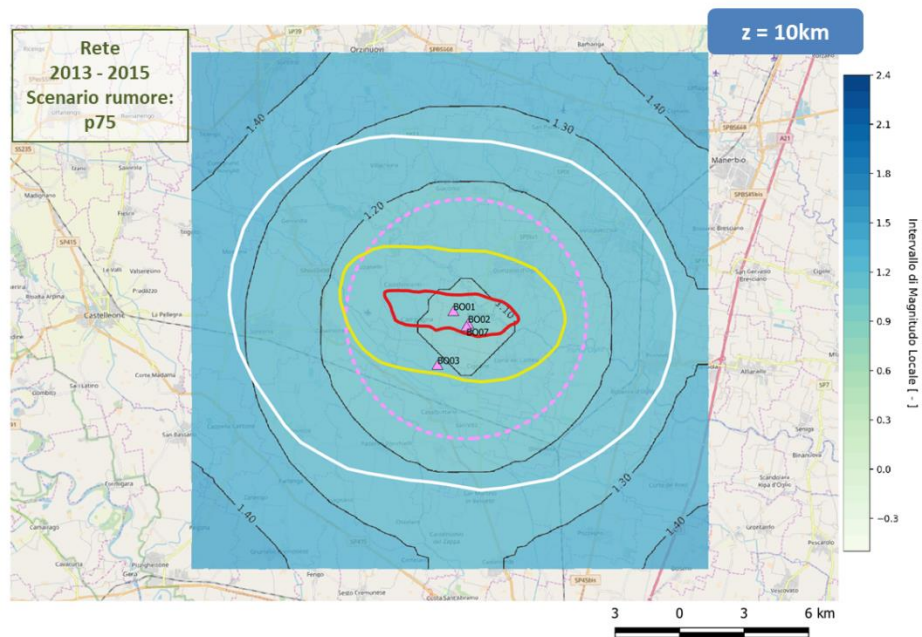
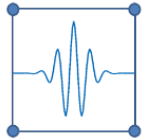


Figura 4.13 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 75esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 10km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

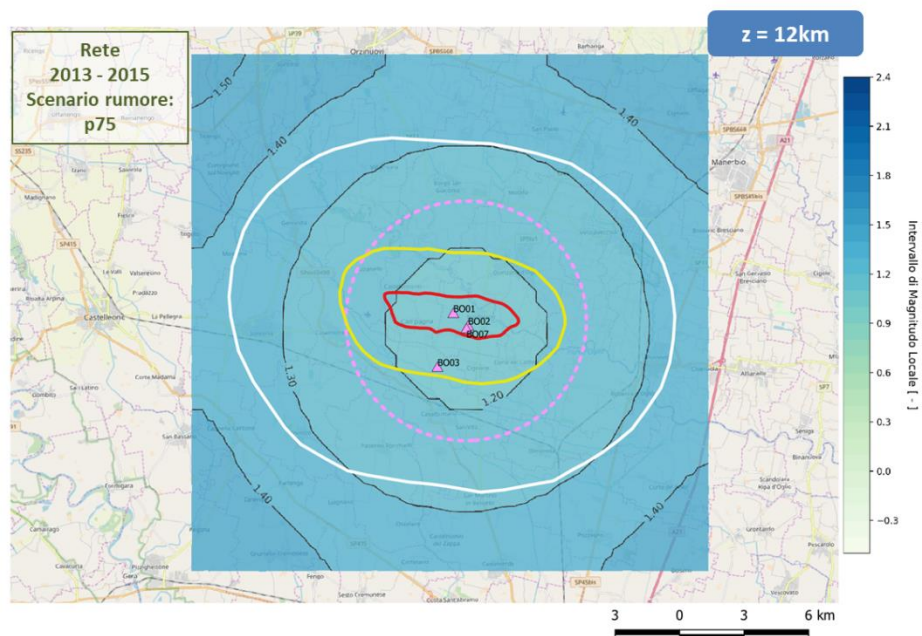


Figura 4.14 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 75esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 12km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

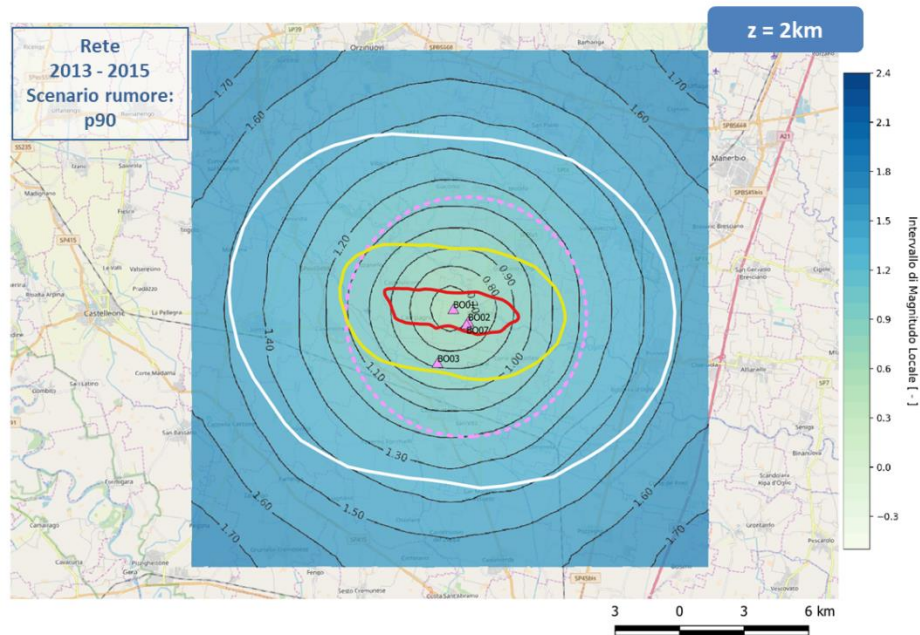
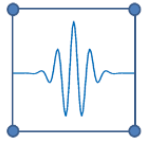


Figura 4.15 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 2km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

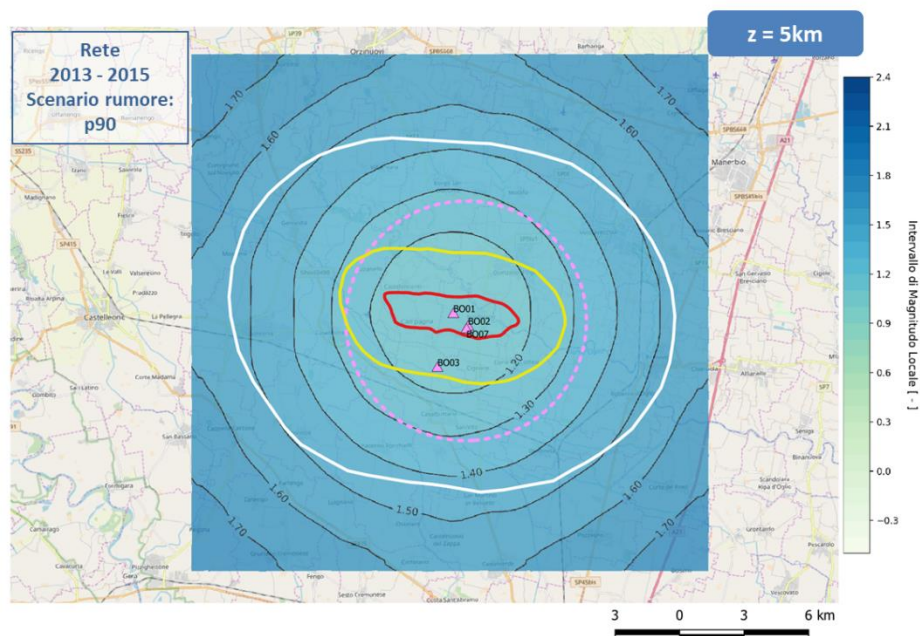


Figura 4.16 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 5km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

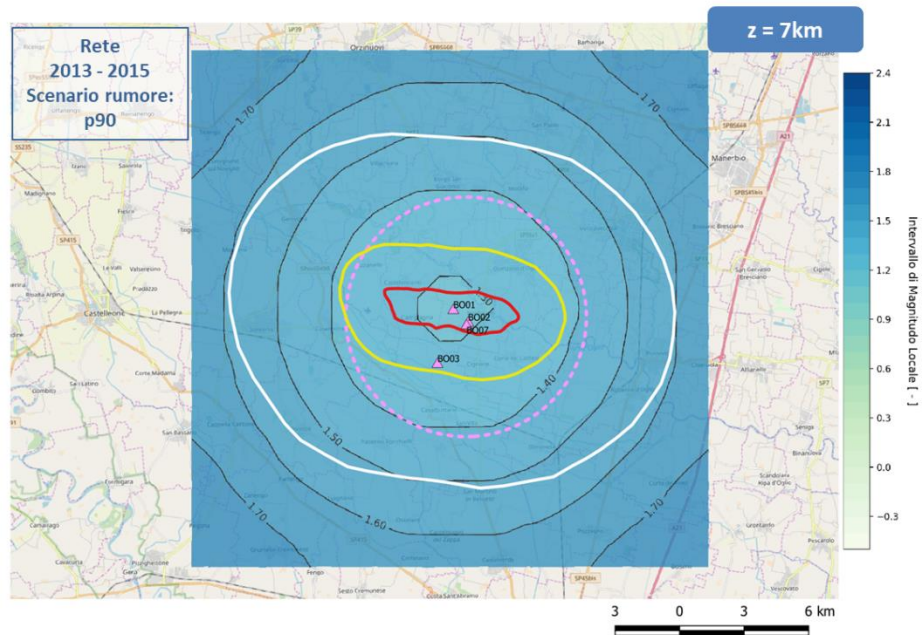
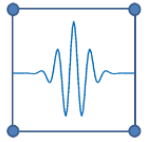


Figura 4.17 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 7km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

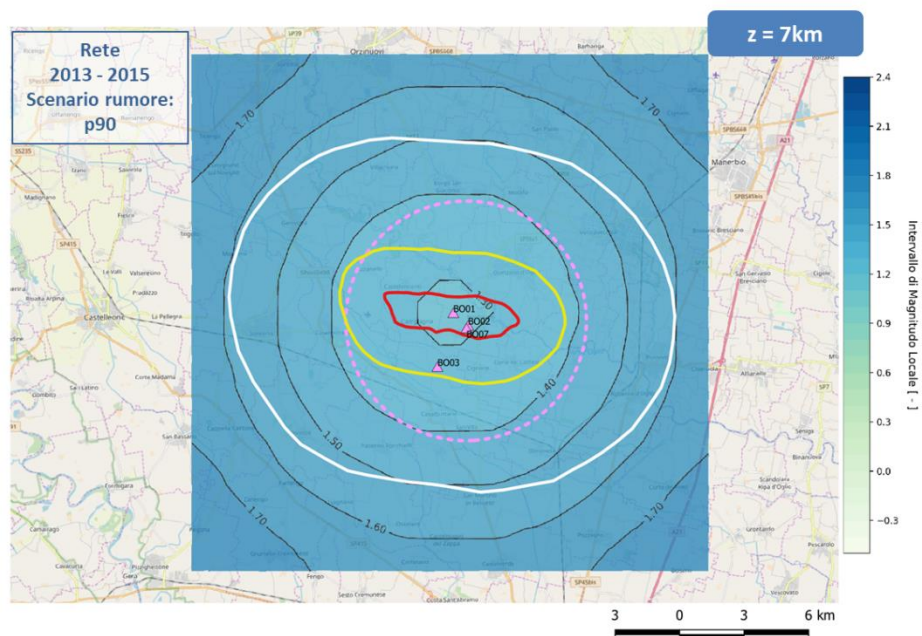


Figura 4.18 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 10km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

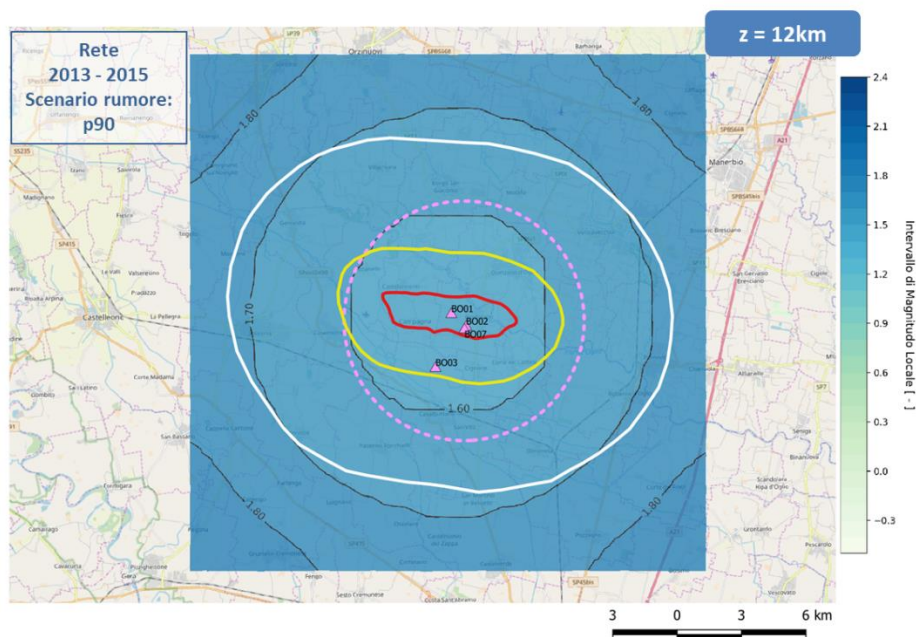
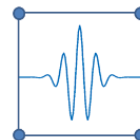


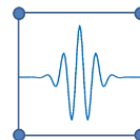
Figura 4.19 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 12km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

4.3.2. Risultati per la configurazione attuale della rete

La rete, nella sua configurazione attuale, attiva a partire da Dicembre 2016, è composta da 7 stazioni, di cui 2 in pozzetto a 70m di profondità, per aumentare ulteriormente la copertura dell'area e quindi per migliorare la capacità di detezione e localizzazione di eventi sismici di bassa intensità. I risultati modellistici riportati nelle mappe seguenti (Fig. 4.20 – 4.34) forniscono indicazioni sulla capacità di localizzazione della rete, sia in termini di intensità minima sia sui pattern spaziali. In tutti gli scenari riportati sono stati considerati i livelli di rumore registrati ad ottobre 2018. Le Fig. da 4.20 a 4.24 sono relative allo scenario p50, le Fig. 4.25 – 4.29 allo scenario p75 ed infine le Fig. 4.30 – 4.34 allo scenario p90, dove p50, p75 e p90 indicano il 50-,75- e 90-esimo percentile. La velocità media delle fasi S alla sorgente è stata scelta coerentemente con le velocità indicate dai modelli regionali per le formazioni più profonde.

In analogia alle simulazioni effettuate sul periodo di bianco i risultati devono essere contestualizzati in relazione alle richieste contenute nella prescrizione DVA-2014-0018804 del 16.05.2014 e solo a scopo di maggior dettaglio con gli ILG – MISE.

I risultati indicano che ad una distanza tra 5 e 7 km dal centro della concessione, quindi a distanza di 5km dal fondo pozzo ed al bordo del DI o al suo esterno, la magnitudo locale minima identificabile per eventi a 7km di profondità, nello scenario peggiore e maggiormente cautelativo (alto rumore p90) è pari a ML 0.8, e migliora fino a ML 0.3 nello scenario p50 (medio rumore). Questo risultato indica che la rete ha una sensibilità e capacità di localizzazione superiore (ovvero migliore) di quella richiesta dalle prescrizioni vigenti. Per quanto riguarda il dominio esteso (DE), la rete ha una capacità di localizzare eventi sismici di ML



1.1 -1.2 per ipocentri a profondità fino a 10km nello scenario con rumore ambientale più elevato, mentre – alla stessa profondità – la sensibilità aumenta fino a eventi di ML 0.4-0.5 nello scenario mediano (p50). In ogni caso quindi è possibile affermare che la rete, oltre ad avere una sensibilità migliore di quanto richiesto dalla prescrizione vigente, è anche perfettamente rispondente alle indicazioni delle linee guida, in quanto consente di identificare eventi ML inferiore a 0.9 nel DI, e migliora di circa 1 ordine di grandezza la magnitudo di completezza della rete sismica nazionale (ricordiamo che l'unico studio disponibile sulla RSN – Schorlemmer et al., 2010 – indica per l'area una magnitudo di completezza compresa tra 2 e 2.5 a seconda della profondità degli eventi sismici e del livello di confidenza considerato).

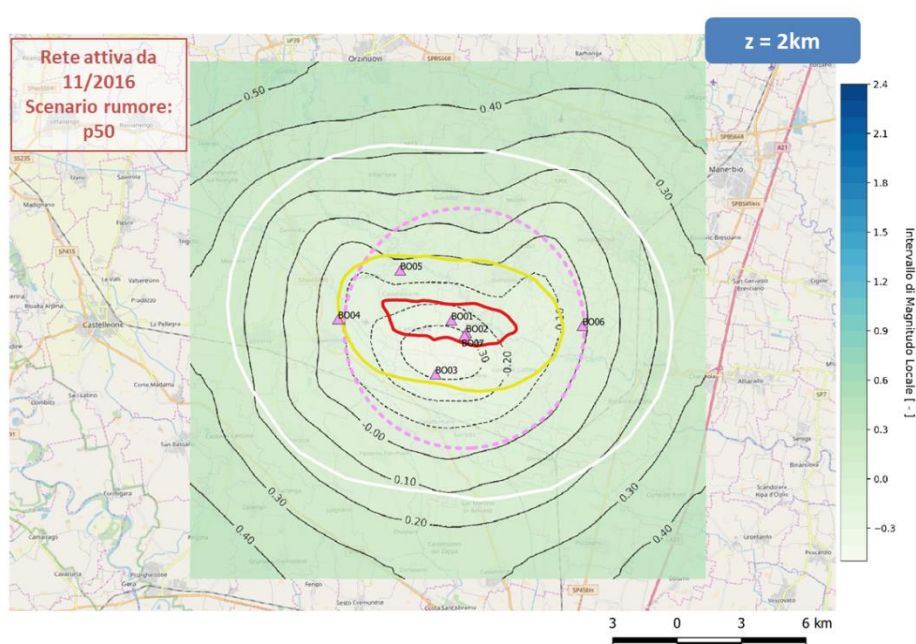


Figura 4.20 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 2km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

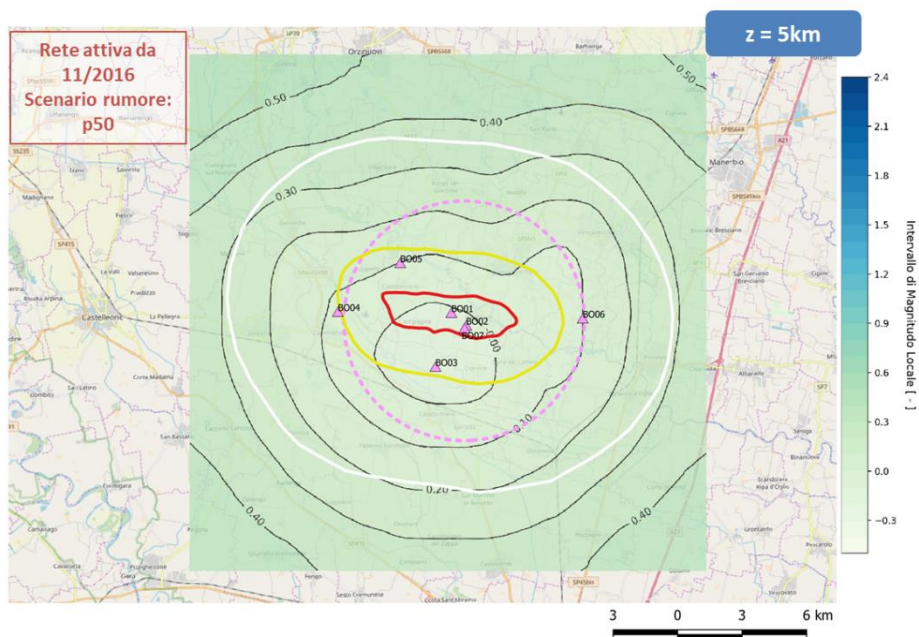
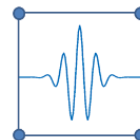


Figura 4.21 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 5km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

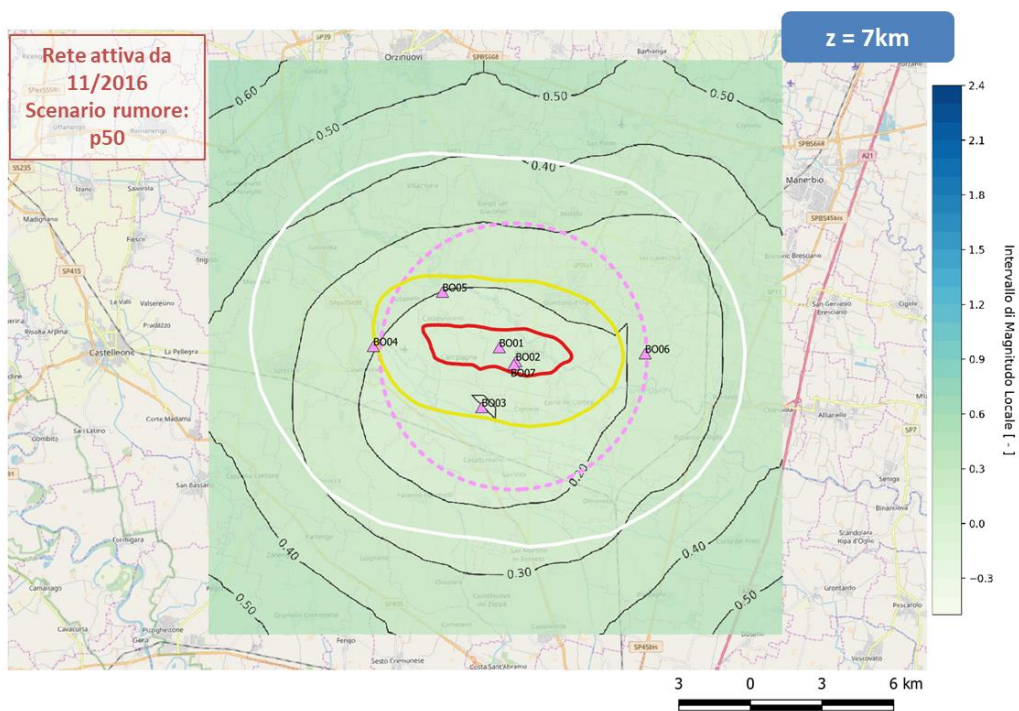


Figura 4.22 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 7km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

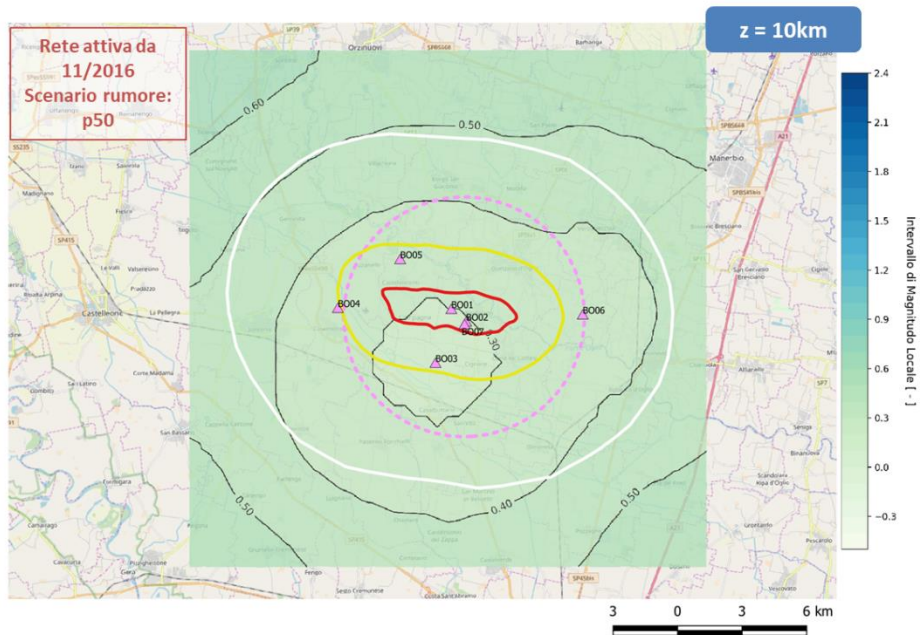
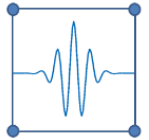


Fig.4.23 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 10km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

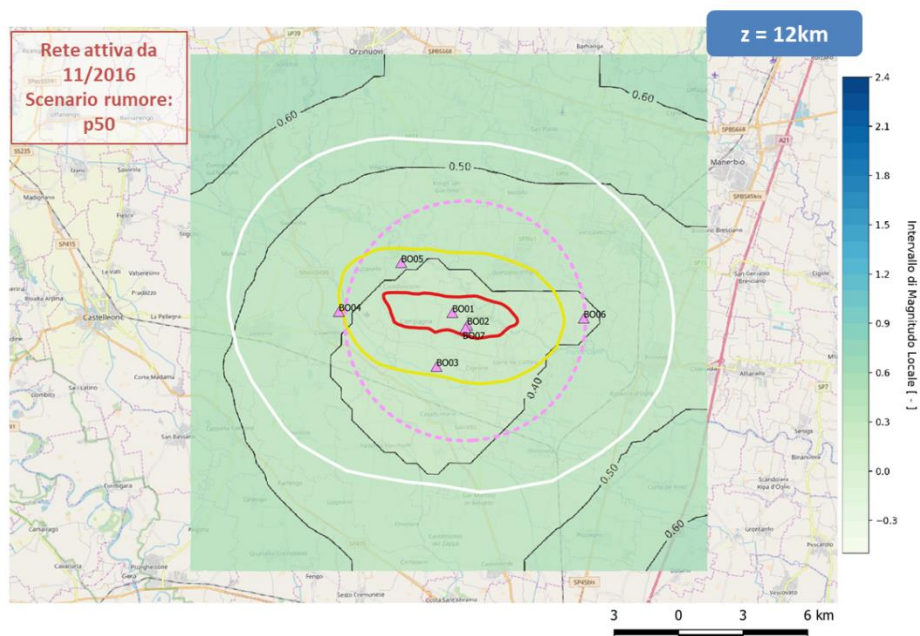


Figura 4.24 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 12km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

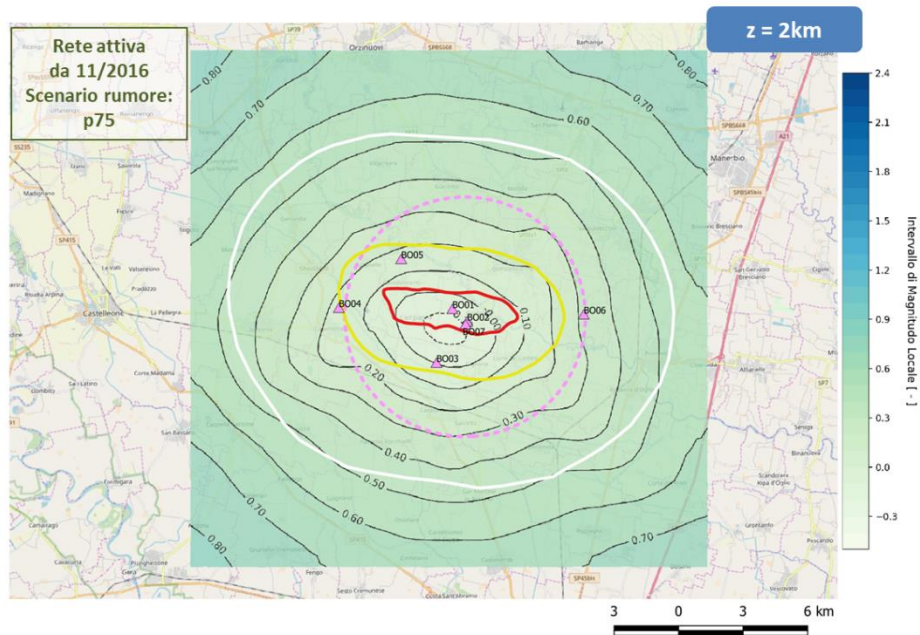
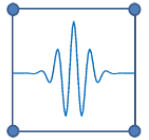


Figura 4.25 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 75esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 2km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

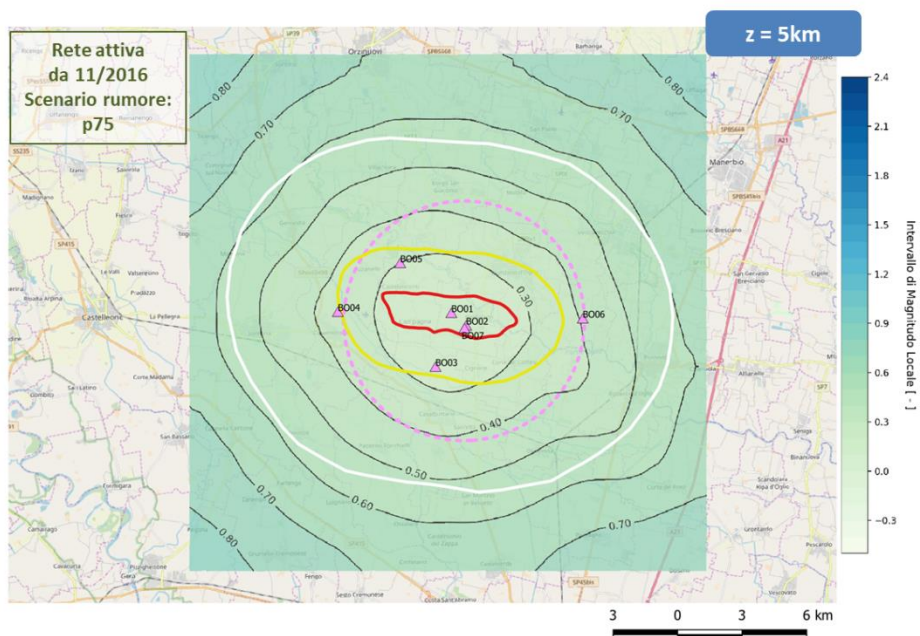


Figura 4.26 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 75esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 5km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

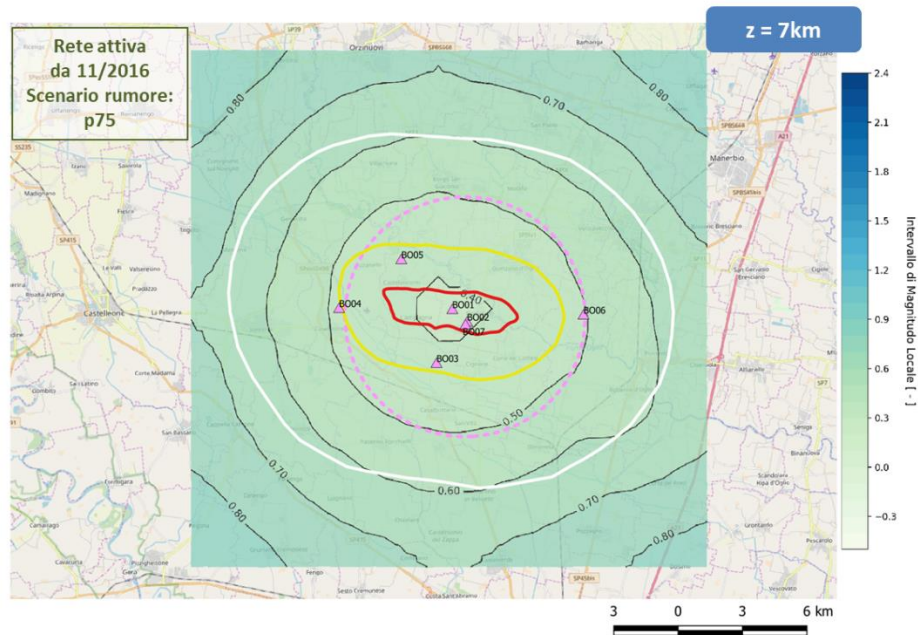
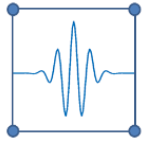


Figura 4.27 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 75esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 7km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

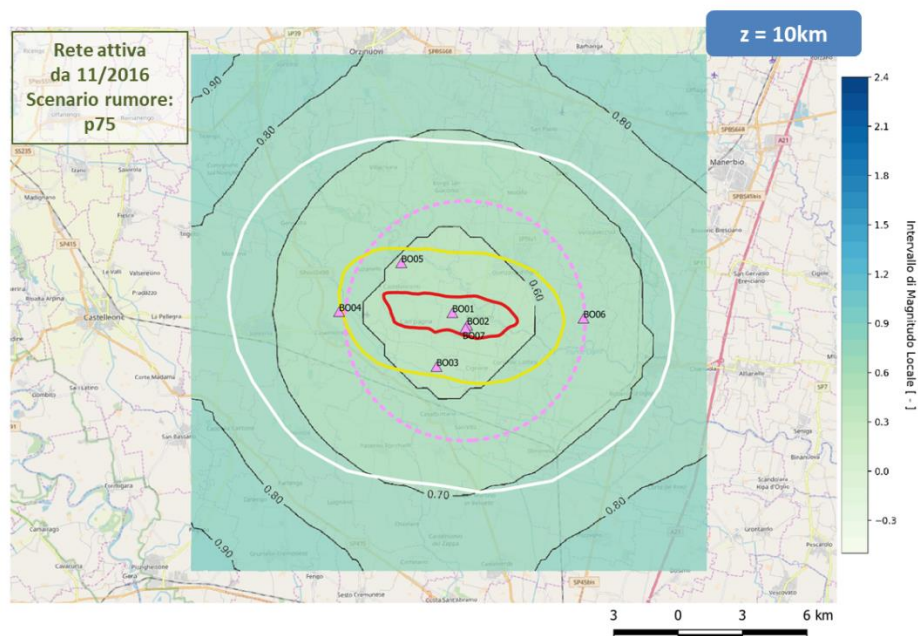


Figura 4.28 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 75esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 10km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

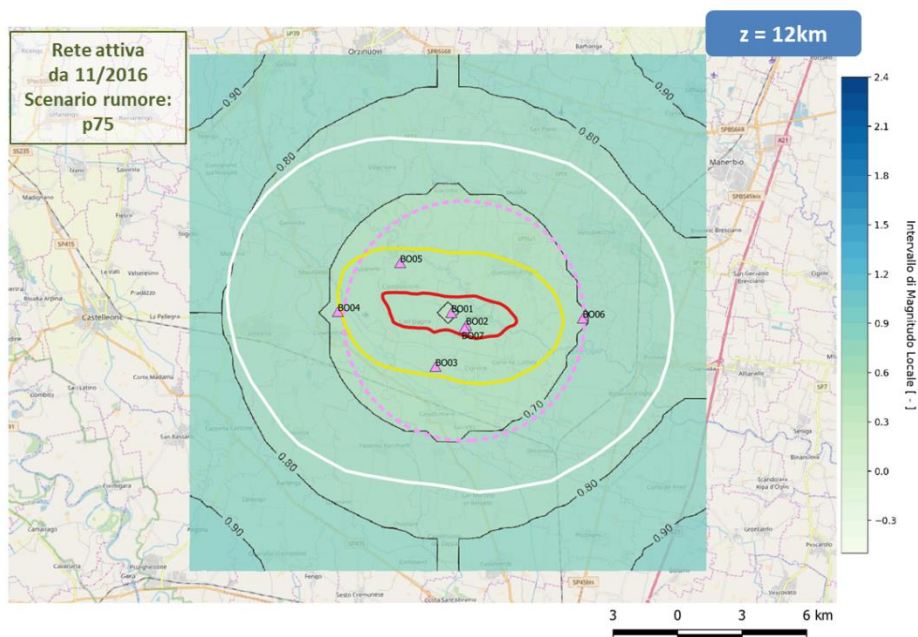
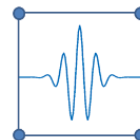


Figura 4.29 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 75esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 12km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

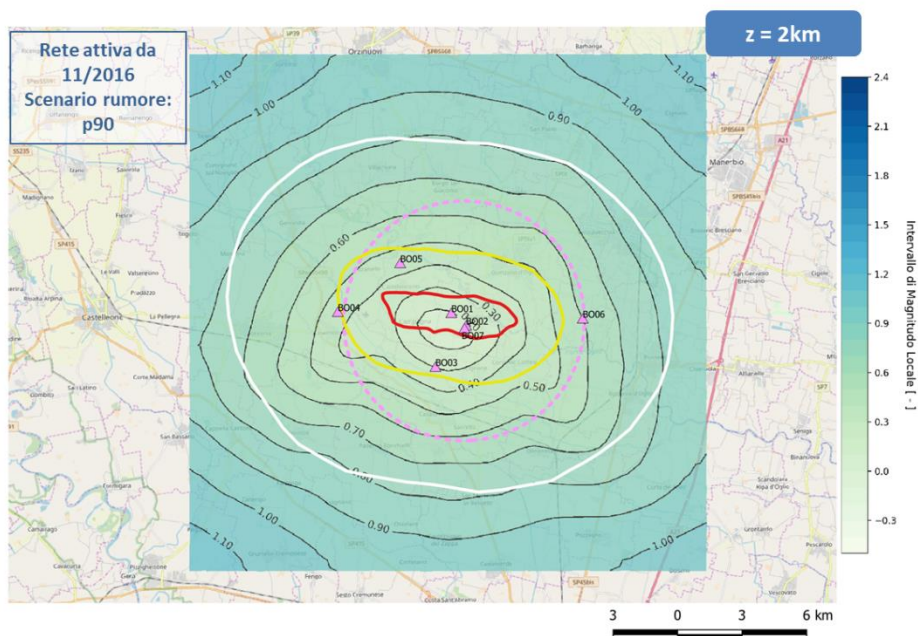


Figura 4.30 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 2km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

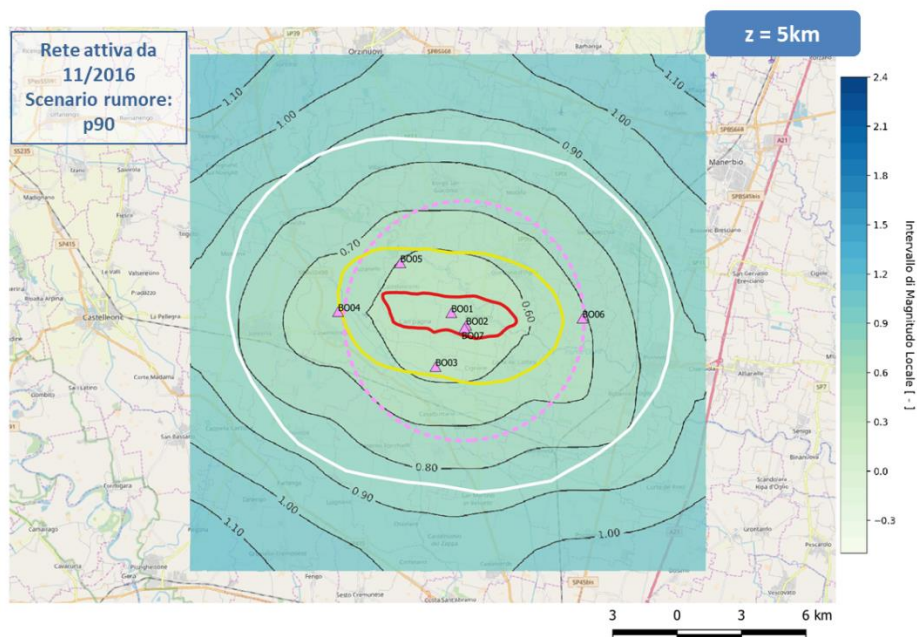
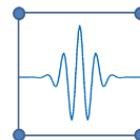


Figura 4.31 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 5 km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

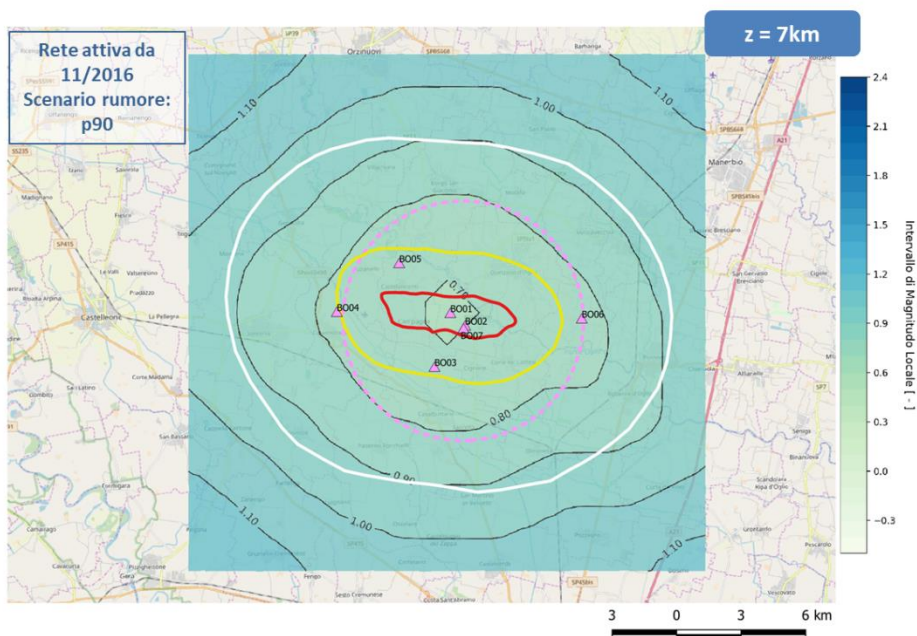


Figura 4.32 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 7 km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

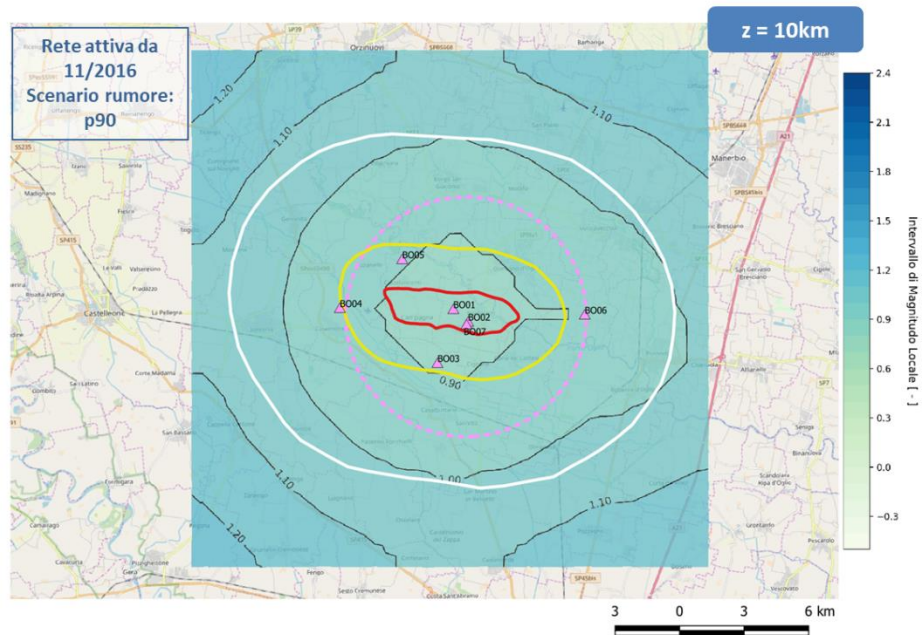
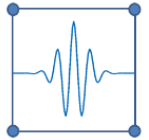


Figura 4.33 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 10km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.

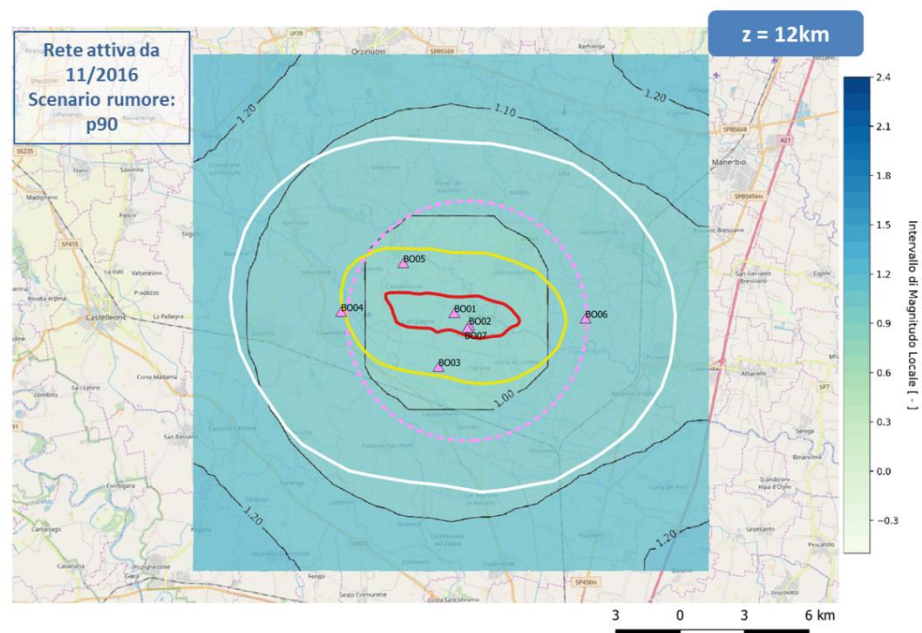
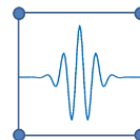


Figura 4.34 Risultati per la modellistica a scala locale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 12km. L'evento è localizzabile se rilevato da 4 stazioni.



4.4. Modello regionale

Nella sezione precedente sono state stimate le soglie di magnitudo minima utile per la localizzazione degli eventi alla scala locale da parte della rete di Bordolano, ovvero a pochi chilometri di distanza da pozzi, distanza alla quale nessuna rete regionale (INGV, OGS, PAT, etc) ha rilevato eventi sismici. Si è quindi provveduto ad effettuare una serie di simulazioni a più larga scala, considerando un dominio di calcolo di lato pari a 60 km e centrato sulla concessione di Bordolano. Nelle figure seguenti viene indicata la distanza di 30 km dal centro del giacimento di Bordolano con una linea tratteggiata di colore rosa. Il dominio di calcolo all'interno del quale sono state eseguite le simulazioni si estende fino ad una profondità di 30 km. Sono stati utilizzati gli stessi parametri geofisici usati nell'analisi locale, con l'eccezione della velocità delle onde S alla sorgente, in accordo con la velocità media degli strati più profondi dei precedenti desunta dai modelli regionali (Molinari et al., 2015; Berbellini et al., 2017).

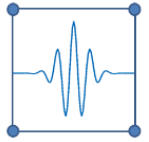
Va sottolineato che i risultati di tale modellazione non sono del tutto rappresentativi delle performance della rete nelle zone immediatamente circostanti il giacimento (a cui si applica invece la modellazione locale riportata in Sez. 4.3) in quanto le velocità sismiche delle onde S utilizzate rappresentano esclusivamente le condizioni regionali per ipocentri a profondità maggiore di 7-8 km (profondità degli eventi identificati dalla rete INGV ed indicati dal Dott. Priolo nella sua relazione), poiché circa a questa profondità si ha una significativa variazione della velocità delle onde S (Molinari et al., 2015; Berbellini et al., 2017).

Per facilitare il confronto, tutte le mappe nel seguito sono prodotte con la stessa scala cromatica, che però è diversa da quella utilizzata in precedenza per il modello locale. Inoltre, per il motivo appena illustrato, sono mostrate solo le magnitudo maggiori di 1.0, per l'area estesa fino a 10 km dal giacimento si deve far riferimento alle immagini riportate nella Sez. 4.3 delle analisi locali.

4.4.1. Risultati per la rete di Bordolano del periodo 2013 - 11/2016

Le immagini da 4.35 a 4.44 mostrano i risultati della previsione modellistica regionale finalizzata a stimare la soglia di localizzazione attesa per la rete di Bordolano nella configurazione iniziale (2013-11/2016) con 4 stazioni, il cui obiettivo era di misurare i livelli di rumore in-situ (periodo di bianco), prima dell'inizio delle attività di stoccaggio del gas. In particolare, le figure da 4.35 a 4.39 mostrano le soglie di localizzazione attese per eventi a diversa profondità (da 10 a 30km) nello scenario con i livelli di rumore pari al 50esimo percentile delle PSD misurate (p50: condizioni di rumore ambientale medio), mentre le figure da 4.40 a 4.44 riportano mappe analoghe ma con livelli di rumore pari al 90esimo percentile (p90: condizioni di alto rumore ambientale).

Osservando le immagini si può valutare che la rete fosse in grado, nei momenti di rumore medio (p50, indicativamente valido per i periodi notturni), a distanze epicentrali comprese tra 15 e 30km, di registrare eventi di ML 1.3 - 1.6 per ipocentri tra 10km e 15km di profondità, ed eventi di ML maggiore di 1.6 per profondità maggiori. Nello scenario con livelli di rumore più elevati (P90, periodi diurni: Fig. 4.40 - 4.44), le simulazioni suggeriscono che la rete fosse in grado di identificare eventi di ML 2.4-2.8 per ipocentri a 15-30km di distanza e profondità indicativa di 10km, e ML maggiori di 2.7 per eventi più profondi alle stesse distanze.



In generale si può concludere che la rete, a scala regionale, abbia avuto durante il periodo di registrazione del bianco (baseline del rumore ambientale e della sismicità naturale ante operam) delle performance perfettamente in linea con quelli che erano stati i criteri di progettazione. La rete aveva una buona capacità di detezione e localizzazione degli eventi locali, mentre alla scala regionale data la natura della rete solo gli eventi sismici di maggiore intensità avevano una buona probabilità di essere identificati e localizzati.

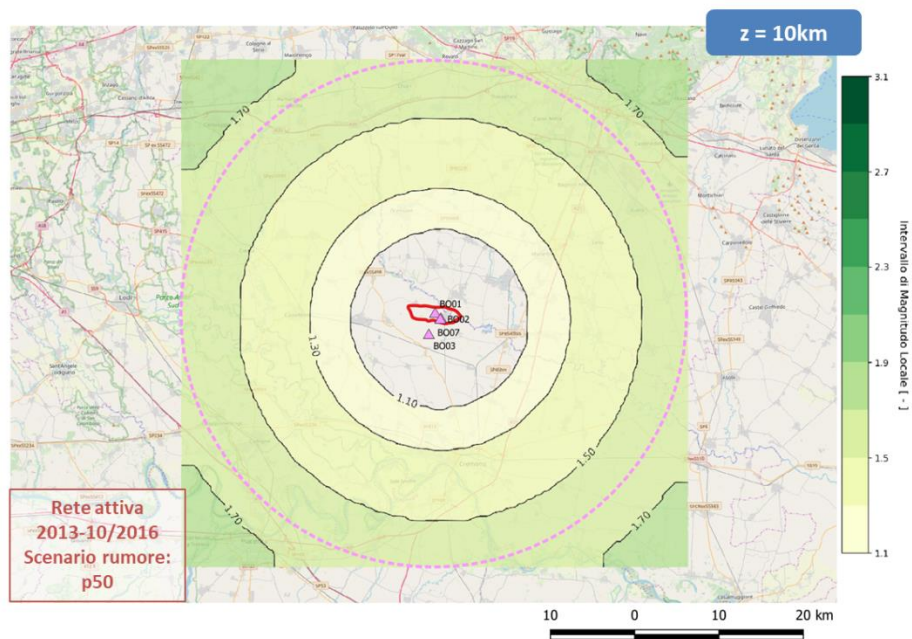


Figura 4.35 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 10km.

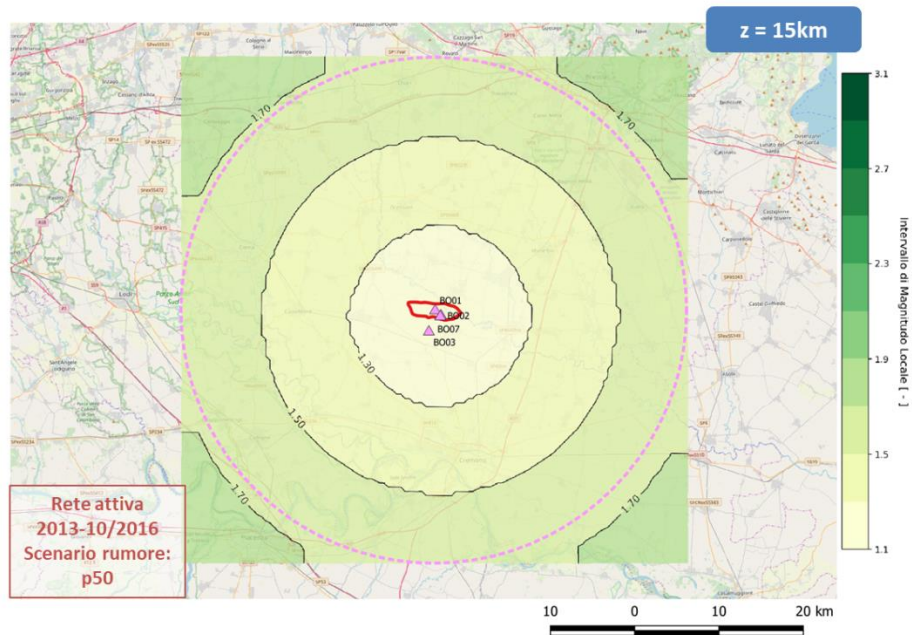
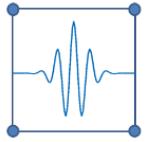


Figura 4.36 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 15km.

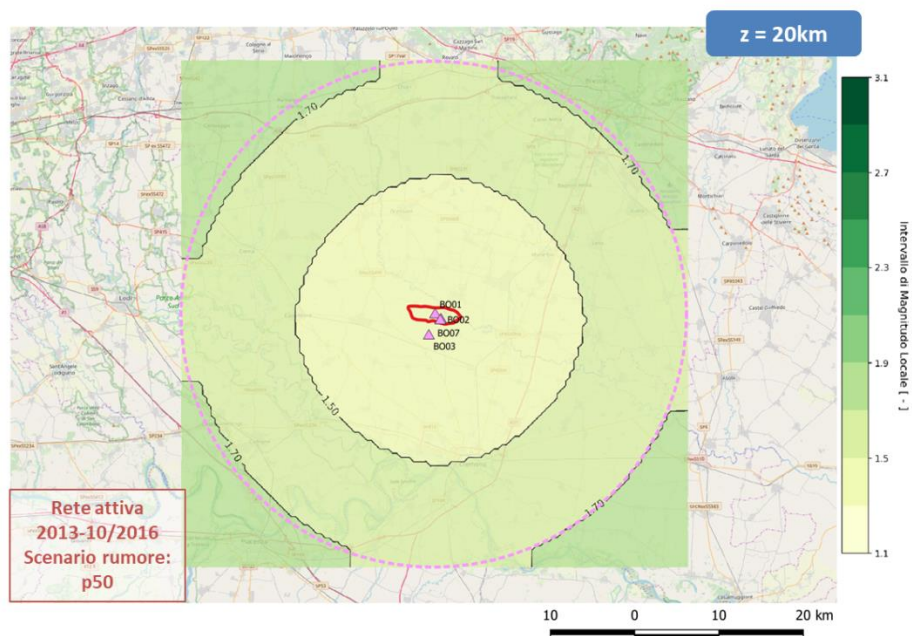


Figura 4.37 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 20km.

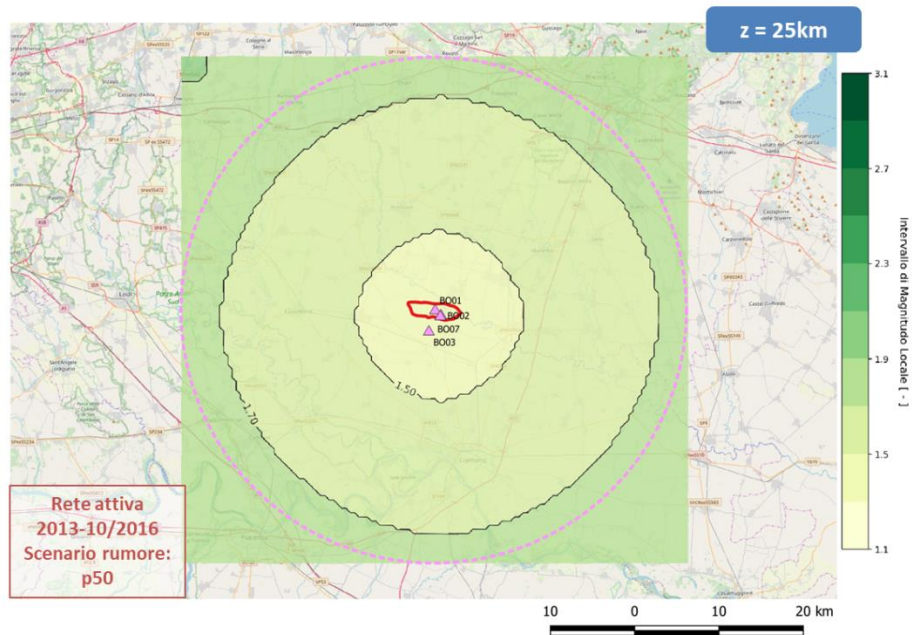
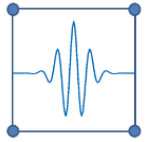


Figura 4.38 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 25km.

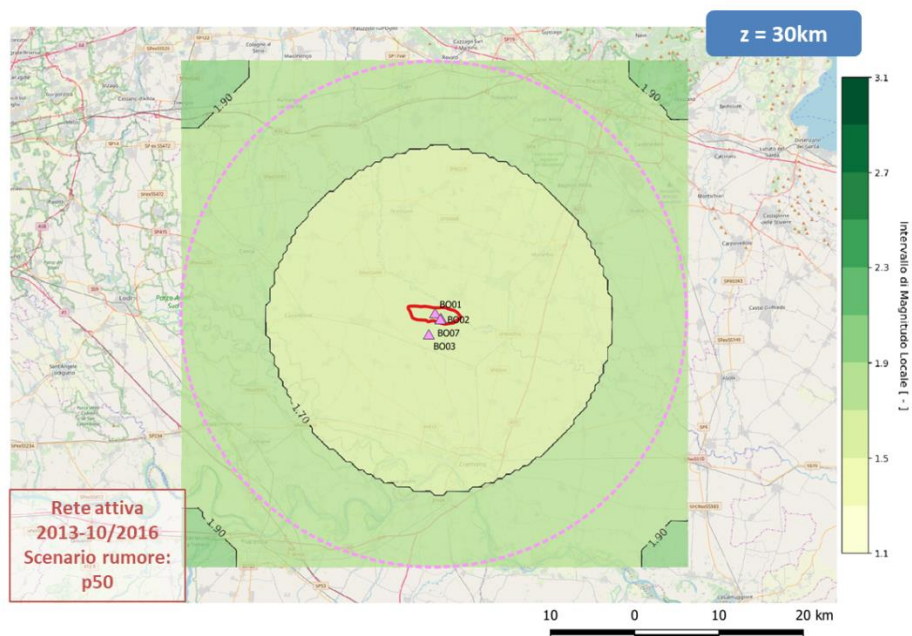


Figura 4.39 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 30km.

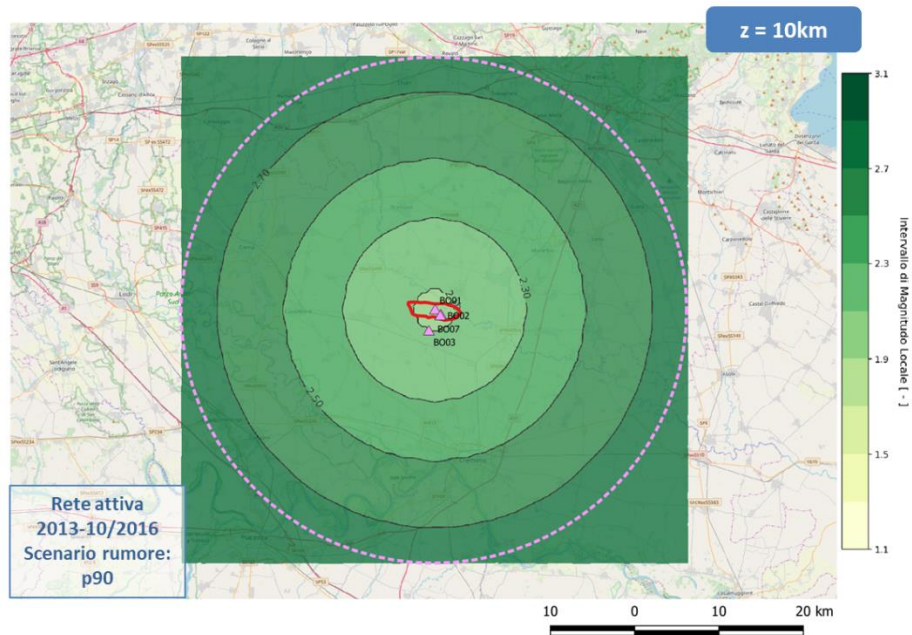
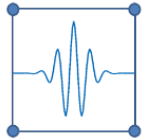


Figura 4.40 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 10km.

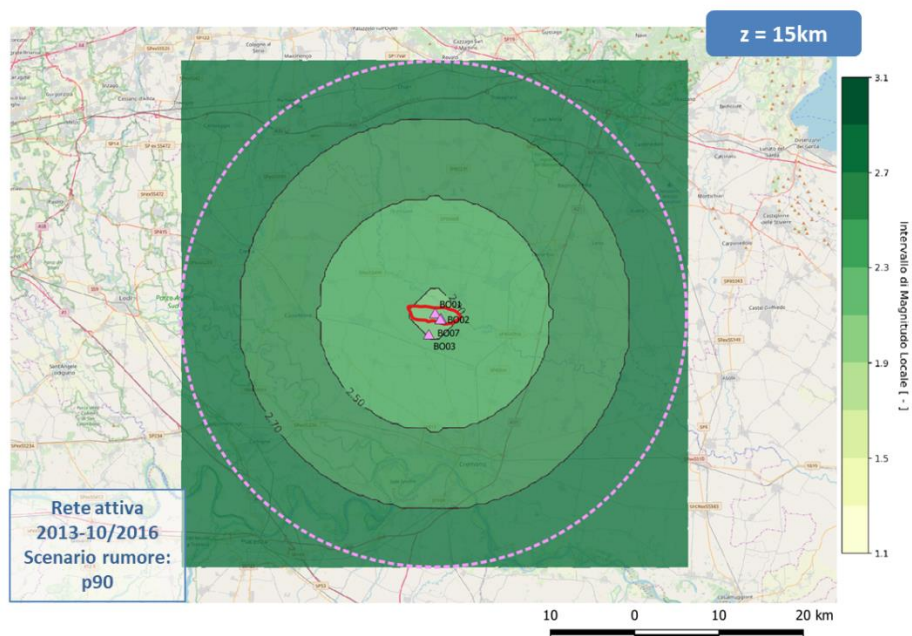


Figura 4.41 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 15km.

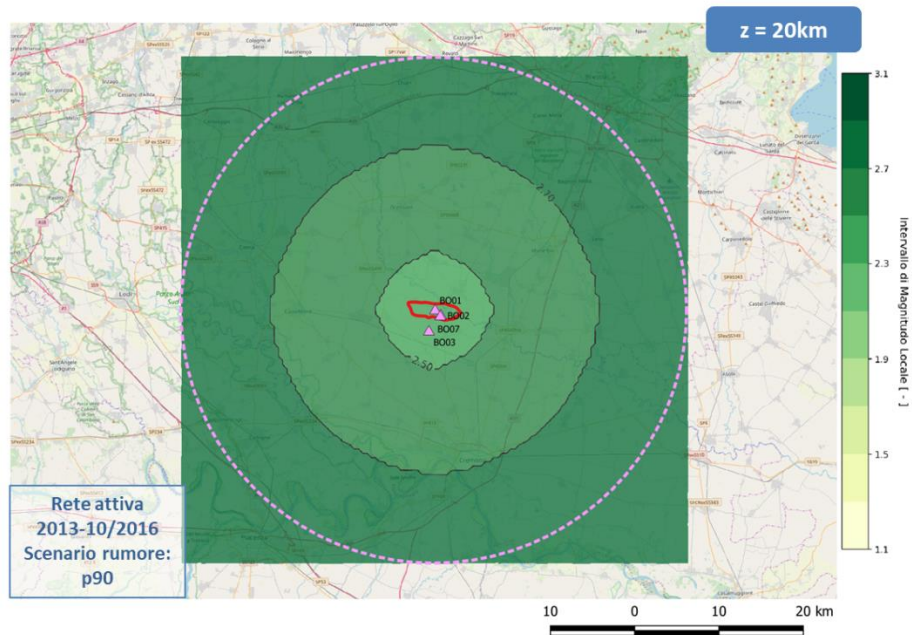
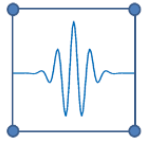


Figura 4.42 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 20km.

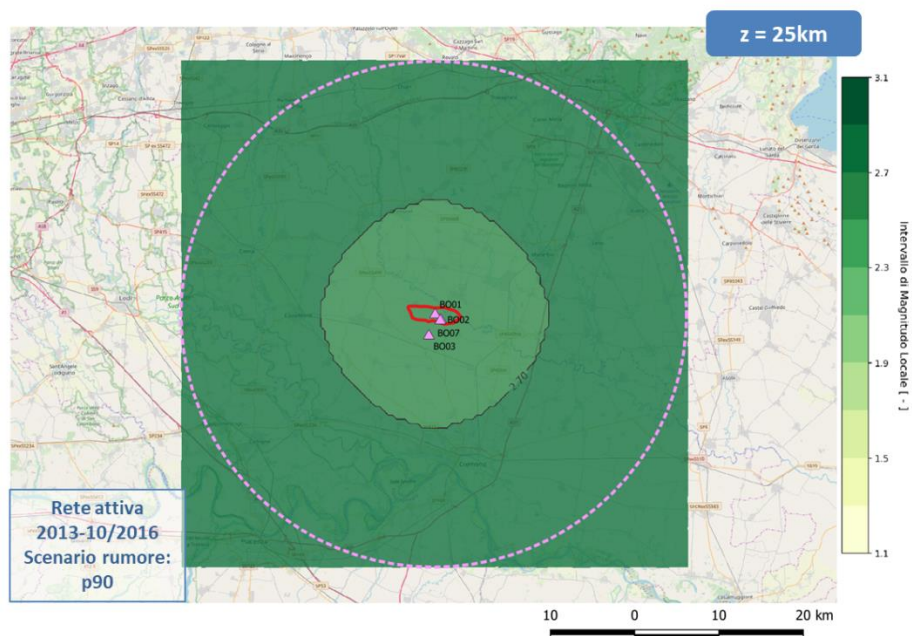


Figura 4.43 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 25km.

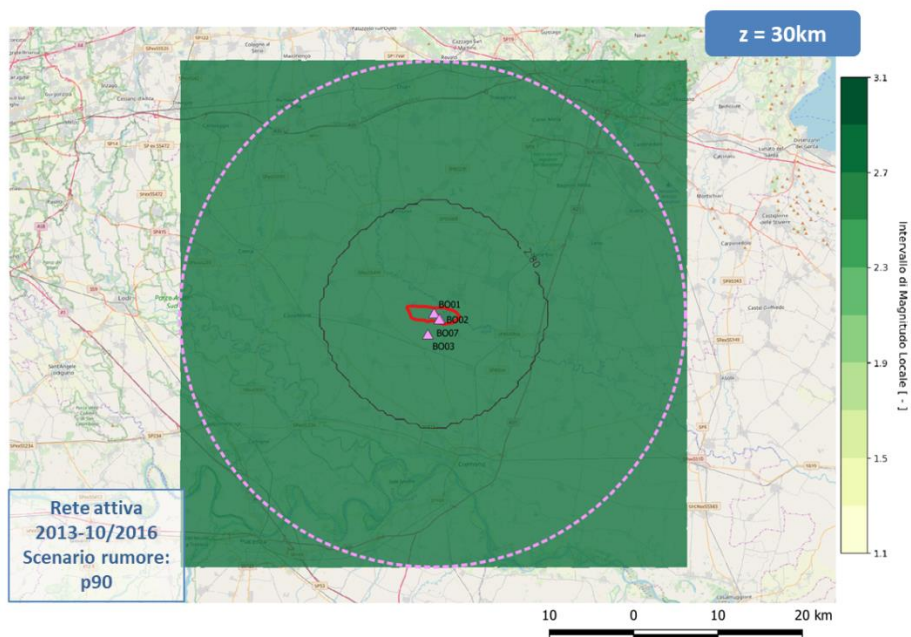
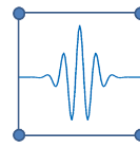


Figura 4.44 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2015. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 30km.

4.4.2. Risultati per la configurazione attuale

A partire da Dicembre 2016 la rete di monitoraggio del campo di Bordolano era composta da 7 stazioni (configurazione di progetto), con conseguente significativo miglioramento delle performance della rete. Allo stesso tempo, il completamento delle attività di costruzione della centrale di stoccaggio ha causato un abbassamento dei livelli di rumore massimi. Tutto questo si traduce in un miglioramento della capacità di detezione della rete anche alla scala regionale. Le figure da 4.45 a 4.54 illustrano i risultati delle simulazioni nelle condizioni di configurazione della rete e rumore ambientale del 2018.

Nello scenario in cui viene utilizzato un livello di rumore pari al 50esimo percentile (p50), le soglie di detezione sono pari a ML 1.1 – 1.4 per distanze superiori ai 10 km e profondità focale di 10km e superiori a ML 1.3 per eventi a maggior profondità. Nello scenario più rumoroso invece (p90: 90esimo percentile) i corrispondenti valori si attestano a intensità superiori a ML 1.6 per eventi a 10km e ML 1.9 per eventi a profondità maggiore.

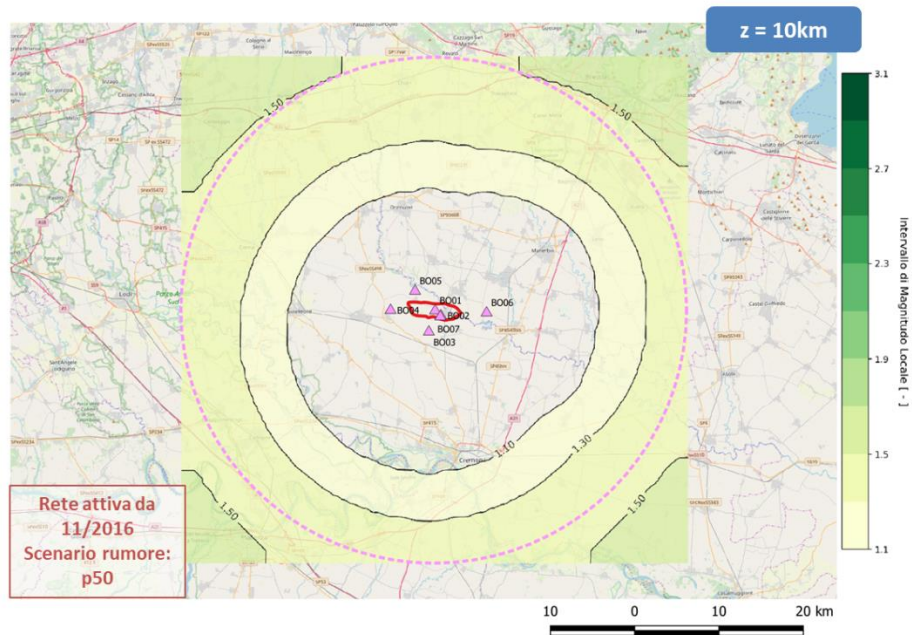
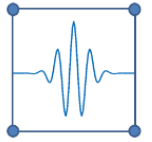


Figura 4.45 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondit  di 10km.

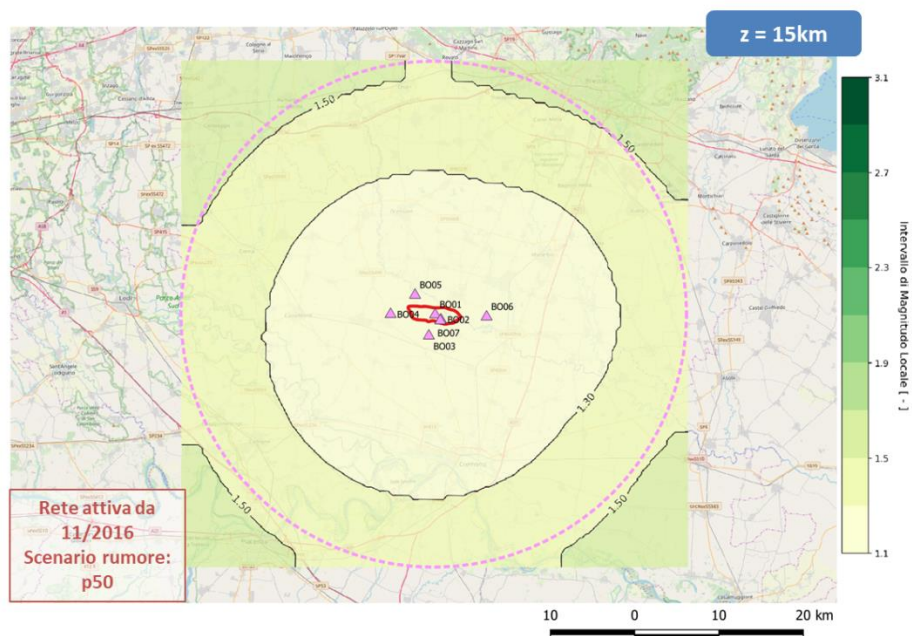


Figura 4.46 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondit  di 15km.

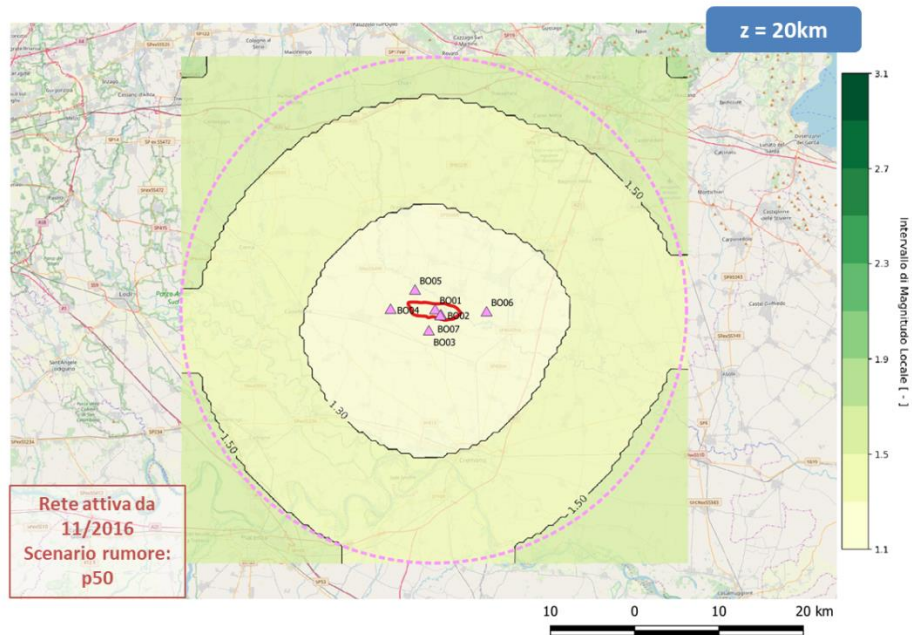
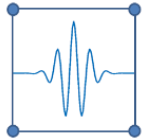


Fig.4.47 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 20km.

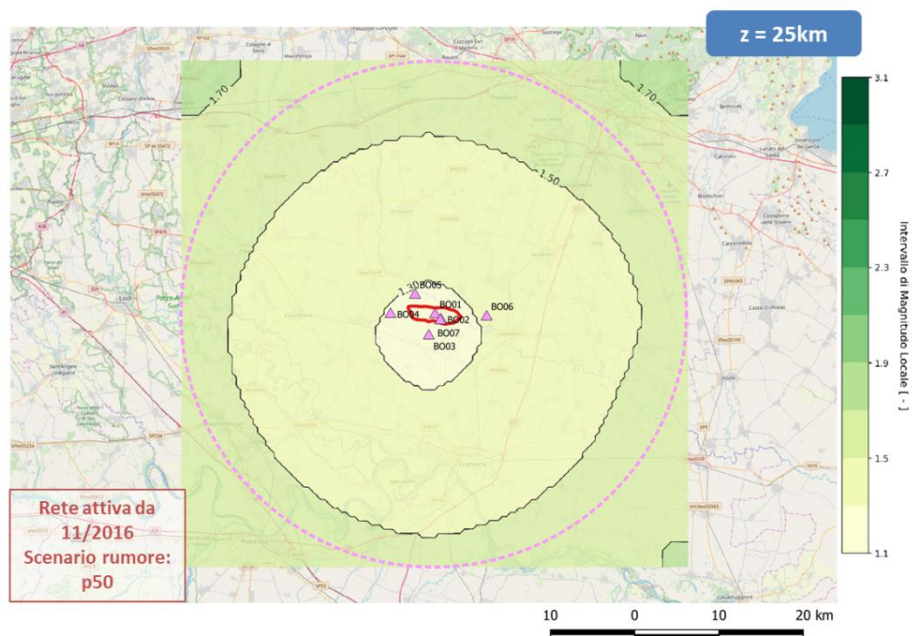


Figura 4.48 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 25km.

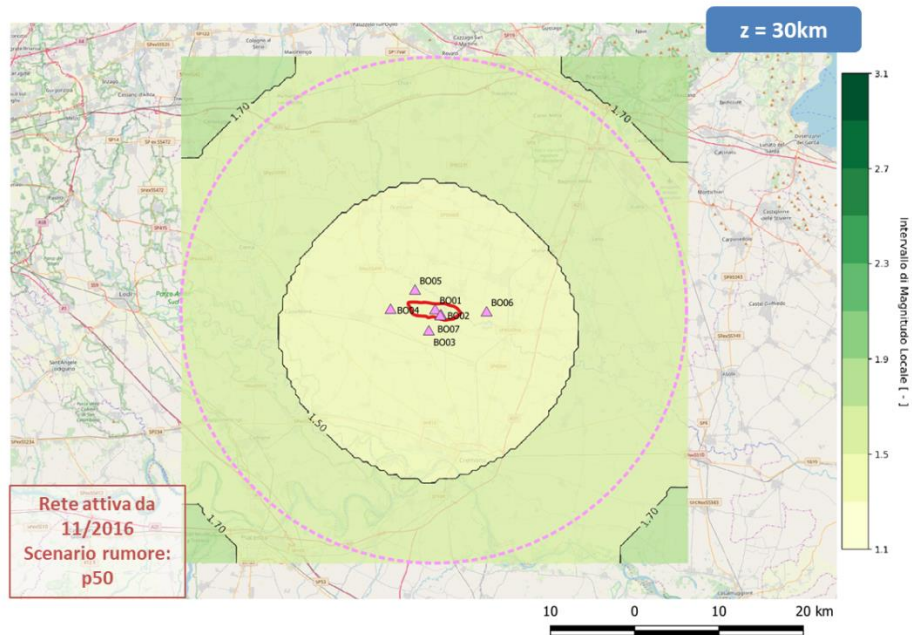
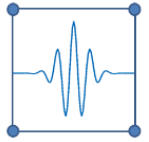


Figura 4.49 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 30km.

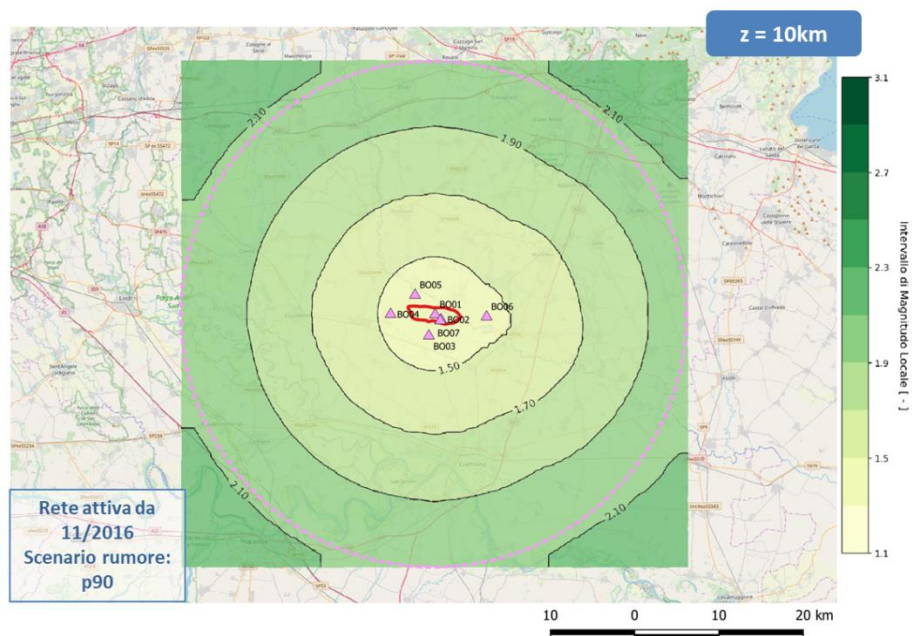


Figura 4.50 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 10km.

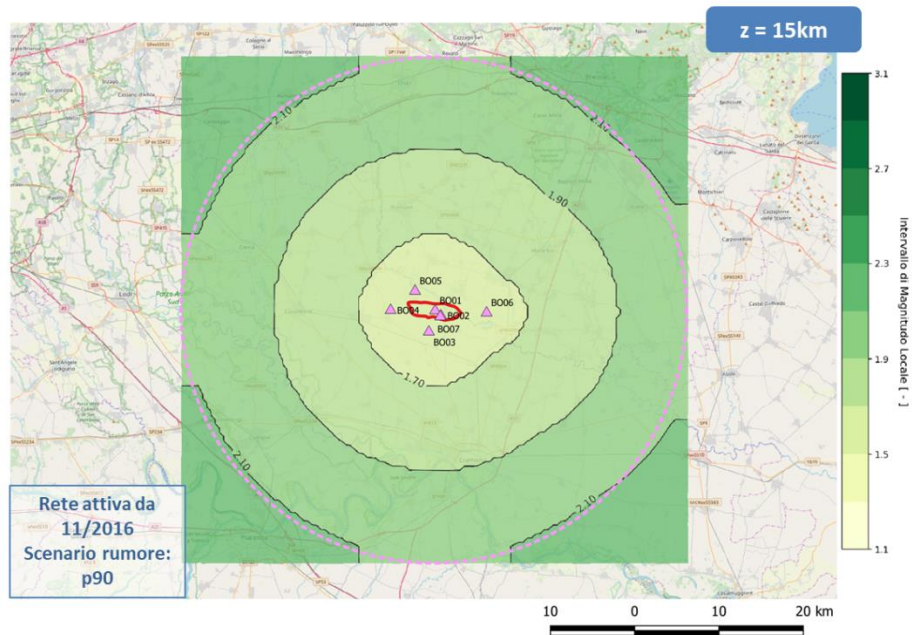
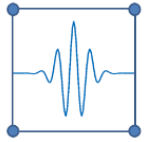


Figura 4.51 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 15km.

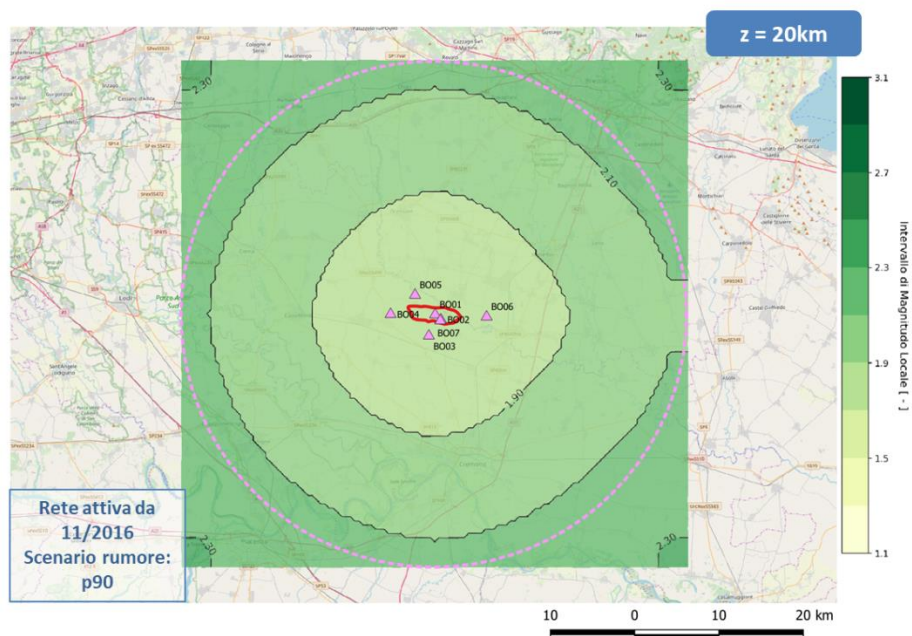


Figura 4.52 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 20km.

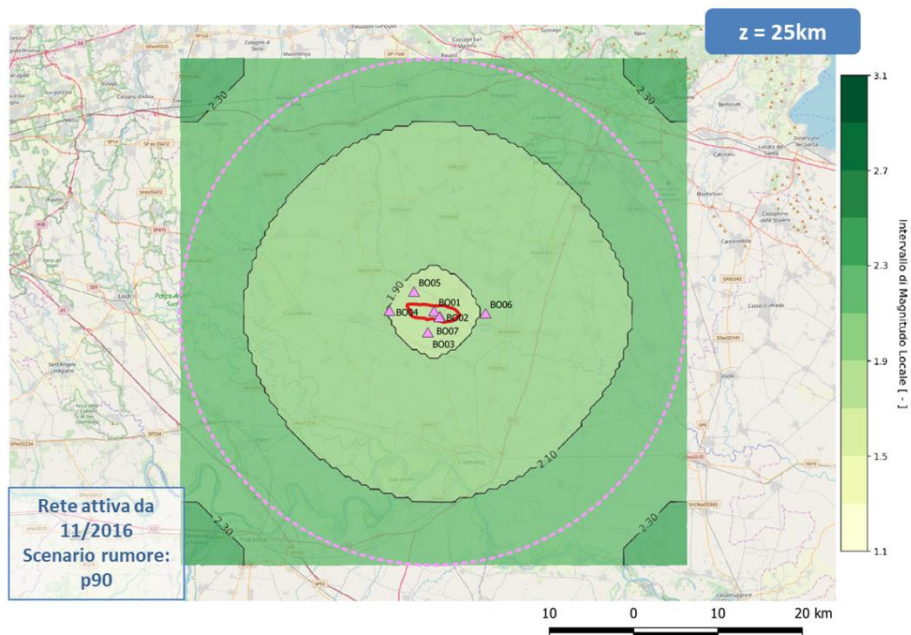
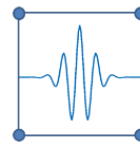


Figura 4.53 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondit  di 25km.

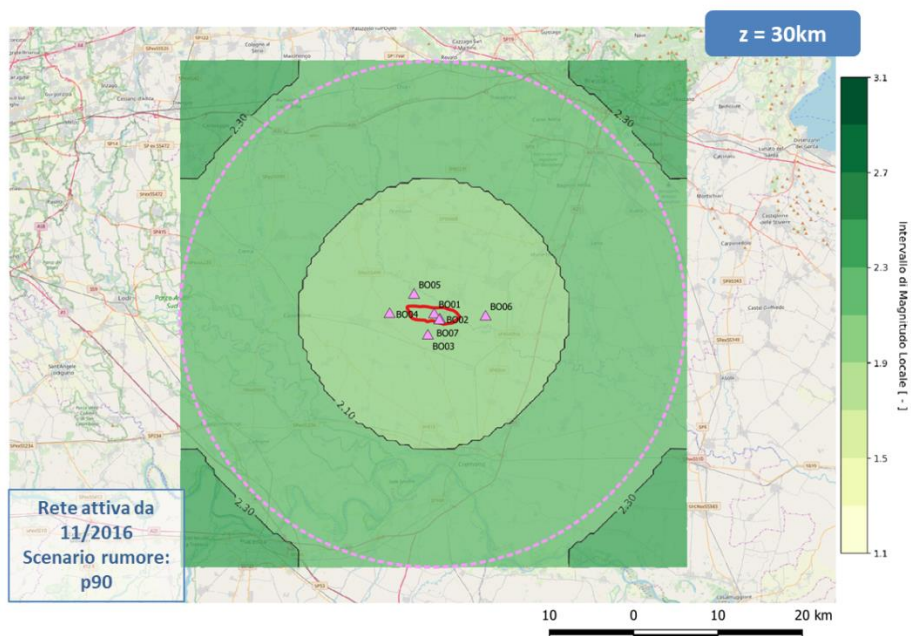
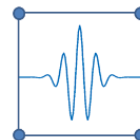


Figura 4.54 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondit  di 30km.



Sulle mappe seguenti sono infine riportati gli eventi sismici riconosciuti da INGV nel periodo 2017-2018, confrontati con le soglie di rumore previste dalla simulazione (Fig. 4.55 – 4.56). Come chiarito in precedenza, a causa della scarsa copertura da parte della rete OGS fino a tutto il 2016, la stima dei parametri focali degli eventi con questa rete (posizione dell'ipocentro e magnitudo) ha un grado di incertezza molto elevato, tale da rendere i risultati non affidabili. Al contrario, la rete INGV ha una buona copertura dell'area, e dunque le localizzazioni degli eventi sono ragionevolmente accurate. Si ricorda anche che la zona della concessione di Bordolano è tutt'ora esterna all'area che lo stesso sito del monitoraggio in tempo reale di OGS dichiara di monitorare, mentre l'area è sicuramente di pertinenza per la rete INGV.

Gli eventi sono classificati sulla base dell'intensità (valore di magnitudo locale), e ciascuna classe ha un colore diverso e dimensione dell'indicatore crescente. Gli eventi riconosciuti anche da STOGIT sono indicati attraverso il relativo ID posto a lato del marker sulla mappa. Questo consente un'analisi per confrontare le soglie di localizzazione calcolate con quello che la rete è stata effettivamente in grado di identificare, e dunque fornisce una valutazione, dell'affidabilità delle stime effettuate.

Durante il lasso temporale coperto da queste simulazioni, la rete INGV ha registrato nella zona 2 eventi, entrambi nelle ore notturne registrati anche dalla rete Stogit, ed aventi magnitudo locale di circa 2.5 (Fig. 4.55). Durante le ore diurne, la rete INGV ha registrato in totale 1 evento, poco intenso a profondità pari a 25.8 km e con distanza epicentrale leggermente superiore ai 30km. Le simulazioni (Fig. 4.56) indicano che la soglia di localizzazione era troppo elevata perché la rete Stogit potesse identificare questo debole sisma.

Tabella 4.3 Eventi identificati da INGV nel raggio di 30km dal giacimento di Bordolano durante le ore diurne nel periodo novembre 2016 – dicembre 2018, e riportati nel report a firma del Dott. Priolo. Gli eventi sono ordinati per profondità crescenti. La colonna "STOGIT" indica il numero o di evento, partendo dal più lontano nel tempo, individuato dalla rete STOGIT. Lo stesso ID è riportato nelle mappe e serve a identificare gli eventi che sono stati localizzati dalla rete locale.

Event id	Date	Lat	Lon	Depth (km)	ML	ID STOGIT
17306201	2017-10-11 17:37:54	45.1172	10.2728	25.8	2	\

Tabella 4.4 Eventi identificati da INGV nel raggio di 30km dal giacimento di Bordolano durante le ore notturne nel periodo novembre 2016 – dicembre 2018, e riportati nel report a firma del Dott. Priolo. Gli eventi sono ordinati per profondità crescenti. La colonna "STOGIT" indica il numero di evento, partendo dal più lontano nel tempo, individuato dalla rete STOGIT. Lo stesso ID è riportato nelle mappe e serve a identificare gli eventi che sono stati localizzati dalla rete locale.

Event id	Date	Lat	Lon	Depth (km)	ML	ID STOGIT
21205591	2018-12-09 20:27:21	45.5125	9.9053	9.9	2.6	1
21206011	2018-12-09 23:18:50	45.4993	9.8937	10.5	2.5	2

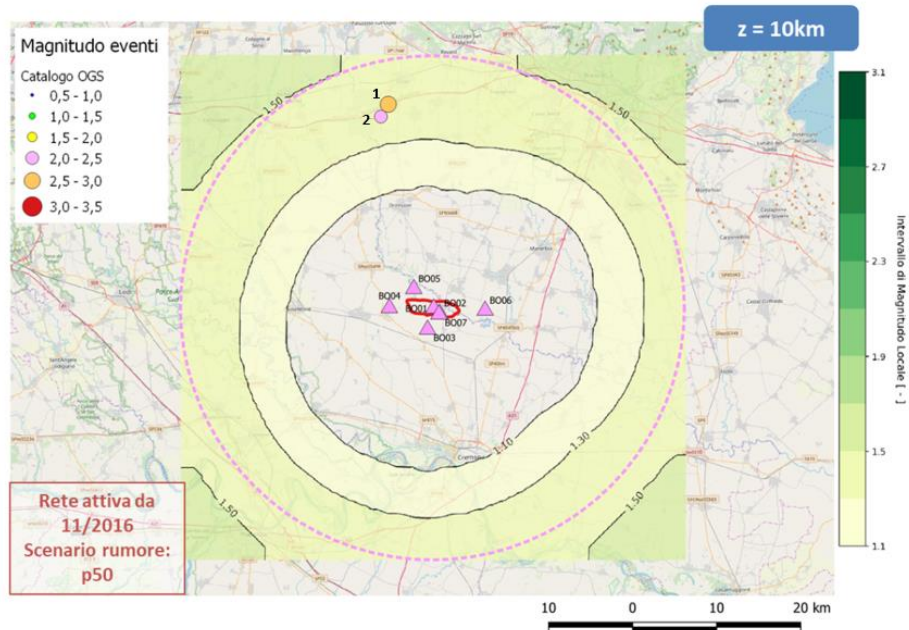
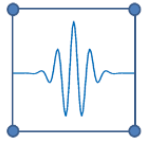


Figura 4.55 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 50esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 10km. Sono inoltre riportati gli eventi identificati da INGV in questo range di profondità durante le ore notturne.

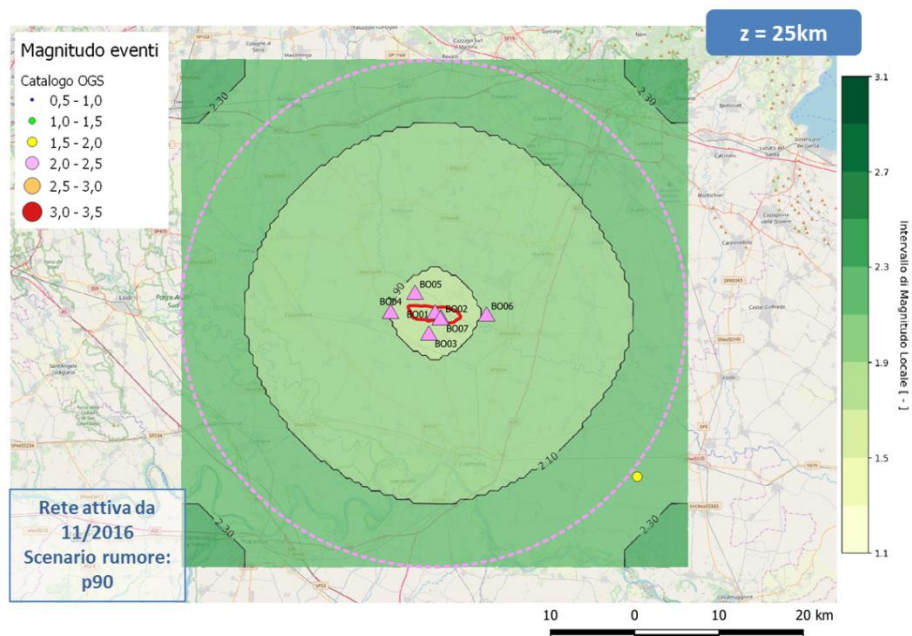
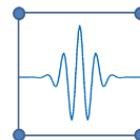


Figura 4.56 Risultati per la modellistica a scala regionale utilizzando il 90esimo percentile relativo ai livelli di rumore registrati nel 2018. Mappa di localizzazione per eventi ad una profondità di 25km. È inoltre riportato l'evento identificato da INGV in questo range di profondità durante le ore diurne.



5. Conclusioni

L'analisi della sensitività della rete STOGIT di Bordolano alla scala locale, ovvero entro i 12km di distanza dal campo, condotta con una metodologia standard ampiamente utilizzata in letteratura, ha mostrato che:

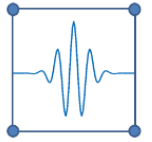
1. La rete STOGIT nel periodo di "bianco" 2013-11/2016, ovvero prima della messa in funzione del campo di stoccaggio aveva caratteristiche tali da garantire il rispetto delle prescrizioni imposte dal decreto ministeriale DVA-2014-0018804 del 16.05.2014. La rete STOGIT era cioè in grado di localizzare eventi di magnitudo locale (ML) 0.9 o inferiore in corrispondenza del giacimento e migliorava significativamente (anche di 1 unità di ML) la magnitudo di completezza della rete nazionale nel raggio di 5km dal fondo pozzo;
2. La rete operativa a partire da dicembre 2016, in concomitanza con l'avvio delle operazioni di stoccaggio, è in grado a sua volta di garantire il rispetto delle prescrizioni, con performance anche superiori a quelle del periodo precedente. Per completezza, sono state confrontate le performance della rete con gli ILG-MISE (2014), ed è stata riscontrata la perfetta rispondenza ai requisiti in termini di soglie di localizzazione.

Per quanto riguarda le reti di monitoraggio gestite da INGV ed OGS si è osservato che:

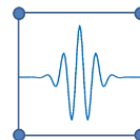
3. La rete regionale gestita da INGV ha una copertura dell'area di Bordolano da buona ad ottima, e tale è rimasta per l'intero periodo 2013 – 2018 oggetto delle valutazioni effettuate dal Dott. Priolo nella relazione prodotta per il Comune di Verolavecchia;
4. Nello stesso periodo, la rete OGS, a partire da una configurazione del tutto inadeguata nel 2013, ha avuto un graduale sviluppo e potrebbe aver migliorato la propria copertura sull'area. Tuttavia, come evidenziato dallo stesso sito internet OGS relativo ai monitoraggi in tempo reale, la zona di Bordolano è esterna alla zona di interesse per OGS.
5. In conseguenza dei due punti precedenti, il confronto tra i cataloghi INGV ed OGS effettuato nell'analisi del Dott. Priolo appare poco proficuo, in quanto è ipotizzabile che prima del gennaio 2017 gli eventi localizzati da OGS avessero una scarsissima accuratezza: gli eventi potevano essere identificati ma la posizione dell'ipocentro e la magnitudo, essendo la sorgente esterna e distante dalla rete OGS, erano inaffidabili.
6. In ogni caso, il riferimento per un eventuale confronto deve essere il catalogo INGV, che per statuto e per normativa è l'ente preposto al monitoraggio sismico del territorio nazionale e quindi anche della parte centrale della Pianura Padana, dove si trova la concessione di Bordolano. Per questo motivo INGV gestisce ed ha gestito in passato una rete che garantisce una buona accuratezza nell'identificazione dei parametri focali nella zona di studio.

È stata successivamente condotta un'analisi della sensitività della rete STOGIT di Bordolano a livello regionale (a distanza di 10-30 km dal campo), ovvero all'esterno del poligono definito dalle sue stazioni, per valutare le performance della rete a questa scala. Si osserva innanzitutto che la distanza di 30km dal campo, scelta arbitrariamente dal Dott. Priolo per le proprie considerazioni, da un punto di vista tecnico-scientifico non ha a nostro avviso alcuna giustificazione.

La rete di monitoraggio microsismico di STOGIT è stata progettata con l'obiettivo di monitorare fenomeni locali e dunque le sue performance evidentemente non possono essere confrontate con quelle di una rete

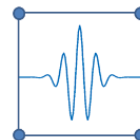


di tipo regionale quale quella INGV. Le simulazioni condotte, che hanno interessato distanze fino a 30 km dal campo, hanno mostrato che gli eventi registrati da INGV nella zona di studio sono stati registrati anche dalla rete STOGIT a 7 stazioni compatibilmente con il grado di magnitudo e la distanza considerata. I risultati della modellazione sono quindi coerenti con quanto effettivamente la rete è stata in grado di registrare. Questo indica che la rete STOGIT ha funzionato correttamente rispetto ai criteri di progettazione, sia nel periodo di bianco, ante-operam, che durante la fase di monitoraggio vero e proprio.



6. Bibliografia

- Anderson J.G., Hough S. (1984). A model for the shape of Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies, *Bull. seism. Soc. Am.*, 74, 1969-1994.
- Beyreuther, M., R. Barsch, L. Krischer, T. Megies, Y. Behr and J. Wassermann (2010) ObsPy: A Python Toolbox for Seismology *SRL*, 81(3), 530-533 DOI: 10.1785/gssrl.81.3.530
- Berbellini, A., A. Morelli and A.M.G. Ferreira (2017) Crustal structure of northern Italy from the ellipticity of Rayleigh waves, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 265, 1-14, doi: 10.1016/j.pepi.2016.12.005.
- Bondár, I., Stephen C. Myers, E. Robert Engdahl, Eric A. Bergman, (2004) Epicentre accuracy based on seismic network criteria, *Geophysical Journal International*, Volume 156, Issue 3, Pages 483–496, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02070.x>
- Brune, J. N. (1970): Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes., *J. Geophysical Res.*, 75, 4997-5009.
- Brune, J. N. (1971): Correction, *J. Geophysical Res.*, 76, 5002.
- Carannante, S., D’Alema, E., Lovati, S., Massa, M., Augliera, P., Franceschina, Gianlorenzo, G. (2017): Feasibility study for the microseismic monitoring of the natural gas reservoir of “Sant’Alberto” (Po Plain, Italy). *Annals of Geophysics*, 60, 2.
- D’Alessandro, A., Luzio, D., D’Anna, G., Mangano G. (2010): Valutazione della performance di localizzazione della RSNC-INGV tramite simulazione numerica. *Quaderni di Geofisica*, 83, 31 pp.
- D’Alessandro, A., Luzio, D., D’Anna, G., and Mangano, G (2011) Seismic Network Evaluation through Simulation: An Application to the Italian National Seismic Network, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 101, 1213–1232, doi:10.1785/0120100066
- Hanks T.C., Kanamori H. (1979). A moment magnitude scale, *J. Geophysical Res.*, 84, 2348-2350.
- INGV 2015a Studio di fattibilità per la realizzazione di una rete di monitoraggio microsismico e individuazione di eventuali faglie attive adiacenti o prossime al giacimento di San Pietro in Casale (BO), 51 pp. Istruttoria di VIA per la messa in produzione del pozzo Santa Maddalena 1 dir della concessione “Sant’Alberto”.
- INGV 2015b. Studio di fattibilità per la realizzazione della rete di monitoraggio microsismico del giacimento di Sant’Andrea (TV), 46 pp., Concessione di coltivazione CASA TONETTO: messa in produzione del pozzo Sant’Andrea 1 dir ST
- INGV 2019: *Concessione di stoccaggio di gas naturale “Minerbio stoccaggio” (BO) Struttura Preposta al Monitoraggio, Relazione Finale, Luglio, INGV 2019).*
- Kraft, T., A. Mignan and D. Giardini (2013) Optimization of a large-scale microseismic monitoring network in northern Switzerland, *Geophysical Journal International*, Volume 195, Issue 1, 1 October 2013, Pages 474–490, <https://doi.org/10.1093/gji/ggt225>.
- Krischer, L., T. Megies, R. Barsch, M. Beyreuther, T. Lecocq, C. Caudron, J. Wassermann (2015) ObsPy: a bridge for seismology into the scientific Python ecosystem *Computational Science & Discovery*, 8(1), 014003 DOI: 10.1088/1749-4699/8/1/014003
- Lay, T. and T. C. Wallace (1995). *Modern global seismology*, International Geophysics Series, 58, Academic Press, San Diego (USA), 521 pp.
- Megies, T., M. Beyreuther, R. Barsch, L. Krischer, J. Wassermann (2011) ObsPy – What can it do for data centers and observatories? *Annals Of Geophysics*, 54(1), 47-58 DOI: 10.4401/ag-4838



- ILG-MiSE-DGS-UNMIG (2014). Ministero dello Sviluppo Economico – Direzione Generale per le Risorse Minerarie ed Energetiche - Gruppo di lavoro CIRM, Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell’ambito delle attività antropiche, Roma, 24/11/2014.
- Molinari, I., A. Argnani, A. Morelli, P. Basini (2015) Development and testing of a 3D seismic velocity model of the Po Plain sedimentary basin, Italy, Bull. Seismol. Soc. Am., 105 (2a), doi: 10.1785/0120140204;
- Morasca, P., Massa, M., Laprocina, E. et al. (2010) Improved 2-D attenuation analysis for Northern Italy using a merged dataset from selected regional seismic networks J Seismol 14: 727. DOI: 10.1007/s10950-010-9194-7
- Peterson, J. (1993). Observation and modeling of seismic background noise, U.S.G.S. Tech. Rept., 93- 322, 1-95
- Schorlemmer, D., F. Mele, and W. Marzocchi (2010) A completeness analysis of the National Seismic Network of Italy, J. Geophys. Res, Vol. 115, B04308, doi:10.1029/2008JB006097
- Stabile T. A., G. Iannaccone, A. Zollo, A. Lomax, M. F. Ferulano, M. L. V. Vetri, L. P. Barzaghi, A comprehensive approach for evaluating network performance in surface and borehole seismic monitoring, *Geophysical Journal International*, Volume 192, Issue 2, 1 February 2013, Pages 793–806, <https://doi.org/10.1093/gji/ggs049>
- Steck, L.K., Velasco, A.A., Cogbill, A.H. & Patton, H.J., 2001. Improving regional seismic event location in China, Pure appl. Geophys., 158, 211–240.
- Valtonen, O., Uski, M., Korja, A., Tiira, T., & Kortström, J. (2013). Optimal configuration of a micro-earthquake network. *Advances in Geosciences*, 34, 33-36. <https://doi.org/10.5194/adgeo-34-33-2013>
- Zeiler, C. & Velasco, A.A., 2009. Seismogram picking error from analyst review (SPEAR): single analyst and institution analysis, Bull. seism. Soc. Am., 99(5), 2759–2770.

CAMPO DI STOCCAGGIO GAS BORDOLANO

Impianto di Compressione e Trattamento Gas



APPROFONDIMENTO RISCHIO SISMICO E VALUTAZIONE POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE



(rif. Prescrizioni della delibera della Giunta provinciale di Cremona del 19/03/2013)

saipem spa

Il Progettista
Dott. ing. Francesco BARUCCA Iscritto all'Ordine
degli Ingegneri di Ancona al n. 1044
Tel. 0721-1682471 - Fax 0721-1682338
C.F. e P. IVA 00825790157

Saipem S.p.A.
Michele PELLEGRINI
Dottore in Scienze Geologiche iscritto
all'Ordine dei Geologi delle Marche al n. 455
Tel. 0721.1682601 - Fax 0721.1682984
C.F. e P. IVA 00825790157


EX-CO	Numero Rev.	Data	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato	Approvato Committente
0		15-07-13	Emissione per Enti	Baldelli	Pellegrini	Baldelli	
Nome e logo Committente				Identificativo Committente			
				Commissa N.			
Nome e logo Progettista			Campo di Stoccaggio Gas Bordolano (CR)	Identificativo Progettista			
				00-CI-E-10052			
Nome e logo Fornitore				Commissa N. 022051			
Titolo Documento APPROFONDIMENTO RISCHIO SISMICO E VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE				Codice Fornitore		n.a.	
				Ordine N		n.a.	
				Scala	Foglio di Fogli		
n.a.		1 / 26					
Sostituisce il N.				Sostituito dal N.			
Area Impianto		Unità di Impianto		n.a.		/	

 	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 2 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3	INDAGINI E DATI DISPONIBILI	5
4	APPROFONDIMENTO DELL'INDAGINE.....	7
4.1	Indagini eseguite.....	7
4.2	Stratigrafia.....	7
4.3	Risultati della prova down-hole – classificazione della categoria di sottosuolo	10
5	ANALISI SISMICA DI SITO DI 2° LIVELLO.....	12
6	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	17
6.1	Metodologia utilizzata	18
6.2	Calcolo della suscettibilità di liquefazione.....	21
7	CONCLUSIONI.....	25

ALLEGATO: indagine geognostica integrativa per esecuzione di una prova down-hole a 60 di profondità. Bordolano (CR)

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 3 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

1 PREMESSA

La presente relazione riporta le risultanze delle indagini e delle elaborazioni eseguite per rispondere alle prescrizioni della delibera del 19/03/2013 della Giunta della Provincia di Cremona.

In particolare le prescrizioni impongono, tra l'altro, di:


- Svolgere un approfondimento specifico e dettagliato relativamente al rischio sismico, condotto ai sensi della d.g.r. n. IX/2616 con le analisi sismiche di 2° livello;
- Eseguire la valutazione del Potenziale di Liquefazione.

Il comune di Bordolano (CR), nel cui territorio ricade la centrale STOGIT in progetto, è classificato in zona sismica 4 ed ha eseguito, nell'ambito dell'adozione Piano di Governo del Territorio (PGT), le analisi di pericolosità sismica di 1° livello previste dalla d.g.r. 30/11/2011 n. IX/2616.

Le analisi di approfondimento di 1° livello hanno portato il tecnico incaricato dall'Amministrazione Comunale a redigere la Carta della pericolosità sismica locale. Dall'analisi di tale carta risulta che la zona di imposta della centrale STOGIT ricade nella perimetrazione Z4a – *aree di fondovalle con presenza di depositi fluvio-glaciali sabbioso limosi*.

Per queste zone la d.g.r. 30/11/2011 n. IX/2616 prevede che per gli edifici strategici, quali quello in progetto, come anche riportato all'Art. 15 delle Norme Geologiche di Piano del PGT di Bordolano, siano eseguiti gli studi di approfondimento di 2° livello per la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di Amplificazione (Fa).

Qui di seguito si descrivono le indagini eseguite e i risultati ottenuti sia per rispondere alle prescrizioni della Provincia di Cremona sia per ottemperare alle sopraggiunte norme imposte dalla d.g.r. 30/11/2011 n. IX/2616 e delle Norme Geologiche di Piano del PGT.

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 4 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	


2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Per la redazione del presente lavoro ci si è basati sulle risultanze delle precedenti indagini e quanto disponibile per il sito. In particolare:

- [1] SAIPEM: campo di stoccaggio gas di Bordolano – relazione geologica; 12/11/2010. STOGIT.
- [2] SAIPEM: campo di stoccaggio gas di Bordolano – relazione geotecnica; 13/11/2010. STOGIT.
- [3] COMUNE DI BORDOLANO – Piano di Governo del Territorio: Componente geologica idrogeologica e sismica. Zona sismica 4. Settembre 2012 – Relazione geologica di Piano; settembre 2012. Geol. BASSI Giovanni.

Si è inoltre tenuto conto di:

- [4] DM 14/01/2008 – Norme tecniche per le costruzioni.
- [5] REGIONE LOMBARDIA. d.g.r. 30/11/2011 n. IX/2616 “aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio” – B.U. Regione Lombardia, Serie Ordinaria n. 3 – 19/01/2012.
- [6] Comune di Bordolano: Piano di Governo del Territorio Comunale (PGT). Approvato con Delibera Consiglio Comunale n. 28 del 13/11/2012.
- [7] Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Settembre 2008. Dipartimento della Protezione Civile.

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 5 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

3 INDAGINI E DATI DISPONIBILI

L'area di sedime della centrale SOTIG di Bordolano è già stato oggetto di un'indagine geognostica di dettaglio.

Le risultanze di questa indagine e delle relative elaborazioni sono riportate nella Relazione Geologica [1] e nella Relazione Geotecnica [2].

Qui si ricorda che in quella fase progettuale (a partire dal 2006) sono stati realizzati:

- N. 7 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino a 20 m di profondità
- N. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 30 m appositamente strumentato per la realizzazione di una prova down-hole per la determinazione delle cosiddette V_{s30}
- Durante la campagna geognostica sono state eseguite prove penetrometriche in foro (SPT) e prelevati campioni indisturbati di terreno che sono stati sottoposti a prove di laboratorio geotecnico che sono consistite in:
 - o Prove di caratterizzazione volumetrica (peso di volume; contenuto d'acqua)
 - o Analisi granulometriche
 - o Prove di consolidazione edometrica
 - o Prove triassiali consolidata drenate
- N. 8 prove penetrometriche statiche (CPT) con punta meccanica fino alla profondità di 15 m
- N. 1 prova down-hole per una profondità di 30 m con distanza intergeofonale di 1 m per la determinazione dell'andamento delle velocità delle onde di taglio (V_s) e di compressione (V_p).


Dalle indagini eseguite è risultato che la stratigrafia è composta essenzialmente, almeno fino alle profondità investigate, da un'alternanza di sabbie limose con un contenuto in fine variabile.

In particolare la stratigrafia è stata ricondotta al seguente schema:

litotipo A limo con sabbia fine, a volte argilloso, per uno spessore di circa 1,00 m, a partire da piano campagna;

litotipo B₁ sabbia media limosa/debolmente limosa, da sciolta a mediamente addensata, avente in genere spessore di 2,50÷3,00 m (da - 1,00 a - 3,50÷4,00 m da p.c.);

litotipo B₂ sabbia media limosa/debolmente limosa, addensata. Lo spessore è dell'ordine dei 7 m (da - 3,50÷4,00 a - 10,00÷11,00 m da p.c.);

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 6 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	


litotipo C limo debolmente sabbioso/argilloso, avente spessore in genere non superiore ai 2 m (fino alla profondità massima di - 14,00 m da p.c.);

litotipo D sabbia media limosa/debolmente limosa, da mediamente addensata ad addensata. Lo spessore in genere è compreso tra 6 e 7 m e si rinviene fino a fondo foro.

Dalla prova down-hole è stato possibile calcolare la velocità delle onde di taglio nei primi 30 m che ha dato un valore di $V_{s30} = 250$ m/sec. Sulla base di questo risultato è stato assunta, coerentemente con con il DM 14/01/2008, la **categoria di suolo C** – *depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzate da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m /sec ($15 < NSPT < 50$; $70 < Cu < 250$ kPa).*

Le verifiche geotecniche agli S.L.U. della fondazione sono state eseguite utilizzando quella categoria di terreno mentre per la categoria topografica si è fatto riferimento alla categoria **T1**: *superfici pianeggianti*.

Su questi presupposti si sono effettuate anche le verifiche alla liquefazione che hanno dato esito negativo: terreni non liquefacibili (riportate nella Relazione geologica [1]).

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 7 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

4 APPROFONDIMENTO DELL'INDAGINE

4.1 Indagini eseguite

Per meglio caratterizzare la risposta sismica locale e per integrare i dati già disponibili, in questa fase si è eseguito un sondaggio profondo 60 m. Scopo del sondaggio, oltre che di individuare la stratigrafia fino a maggiori profondità rispetto a quanto investigato, è stato quello di consentire la realizzazione di una prova down-hole profonda per meglio individuare la tendenza della propagazione delle onde di taglio nel sottosuolo.

Il sondaggio, a carotaggio continuo, è stato eseguito alla fine di giugno 2013.

Il foro è stato strumentato con un tubo in PVC e l'intercapedine esterna (tubo-foro) è stata cementata con boiaccia cementizia. Dopo circa 2 settimane, per consentire il consolidamento del cemento, è stata eseguita la prova down-hole. La prova è stata eseguita da fondo foro (-60 m dal p.c.) con passo 2.0 m per determinare l'andamento con la profondità delle Vs (Velocità delle onde di taglio) e delle Vp (Velocità delle onde di compressione) nonché per ricalcolare e verificare la velocità equivalente delle onde di taglio Vs_{30} (velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità).


In allegato si riporta il report completo delle indagini eseguite, sia del sondaggio che della prova down-hole.

4.2 Stratigrafia

La stratigrafia riscontrata conferma quanto già noto dalle precedenti indagini. Il substrato è caratterizzato dalla presenza di alternanza di sabbie limose con contenuto variabile di fine. A partire dalla profondità di 41 m circa il contenuto in fine diventa sempre più predominante. Si passa dunque dalle sabbie limose a limi sabbiosi e debolmente argillosi fino alla profondità di 47.7 m dove è stato rinvenuto il tetto di un livello argilloso potente poco meno di 2.0 m. Si tratta di argille verdastre debolmente limose, consistenti. A partire da 53 m di profondità, fino a fondo foro (60 m), si riscontrano nuovamente le sabbie limose grigiastre.

Più nel dettaglio si ha:

- Da 0.0 a 1.5 m: suolo limoso e limi sabbiosi marroni.
- Da 1.5 a 4.0 m: sabbia debolmente limosa marrone.
- Da 4.0 m a 29.9 m: sabbia limosa da poco addensata a addensata di colora grigio-marrone.
- Da 29.9 a 32.2: limo sabbioso grigiastro scuro.
- Da 32.2 a 37.8 m: sabbia debolmente limosa grigiastra.
- Da 37.8 a 39.0 m: sabbia con limo di colore grigio-verdastro.
- Da 39.0 a 40.8 m: sabbia grigiastra scura.
- Da 40.8 a 45.8 m: limo grigiastro debolmente sabbioso.
- Da 45.8 a 47.7 m: limo grigiastro debolmente sabbioso.

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 8 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

- Da 47.7 a 49.5 m: argilla verdastra debolmente limosa.
- Da 49.5 a 50.2 m: sabbia fine grigio-verdastra debolmente limosa.
- Da 50.2 a 53.0 m: limo con argilla verdastra debolmente sabbioso.
- Da 53.0 a 60.0 m: sabbia grigia debolmente limosa moderatamente addensata.

La stratigrafia conferma quanto disponibile in letteratura per la zona. Dalla Figura 1 si può osservare come tale presenza di sabbie limose sia predominante nella zona di Bordolano fino almeno alla profondità di 200 m circa, interrotta solo da lenti più argillo-limose poco spesse.

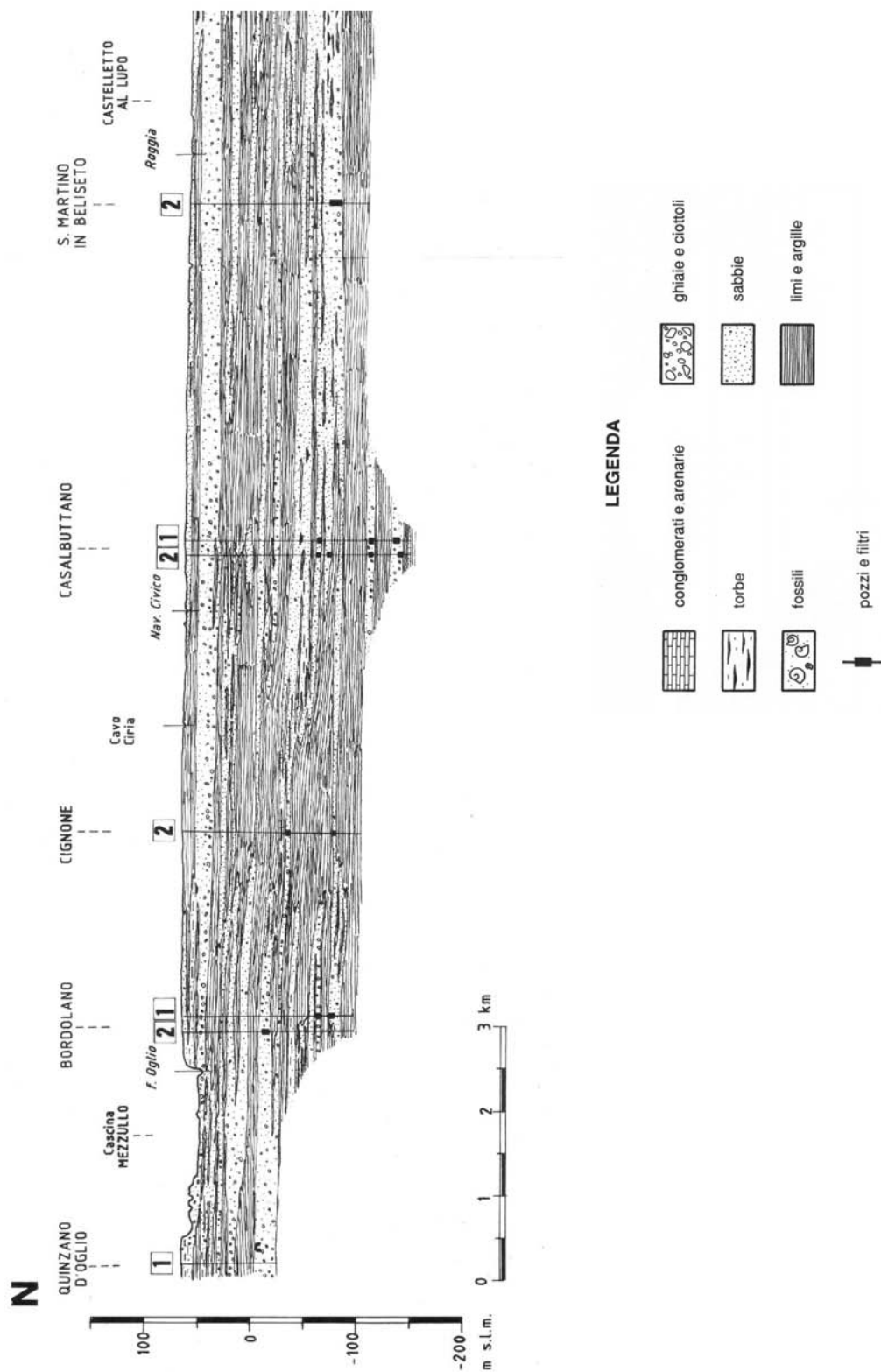



Figura 1 - Sezione idrogeologica N - S dell'area di studio in sponda destra Oglio (dallo "Studio idrogeologico della provincia di Cremona", 1992).

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 10 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

4.3 Risultati della prova down-hole – classificazione della categoria di sottosuolo

I risultati della prova down-hole sono sintetizzati nella Figura 2.

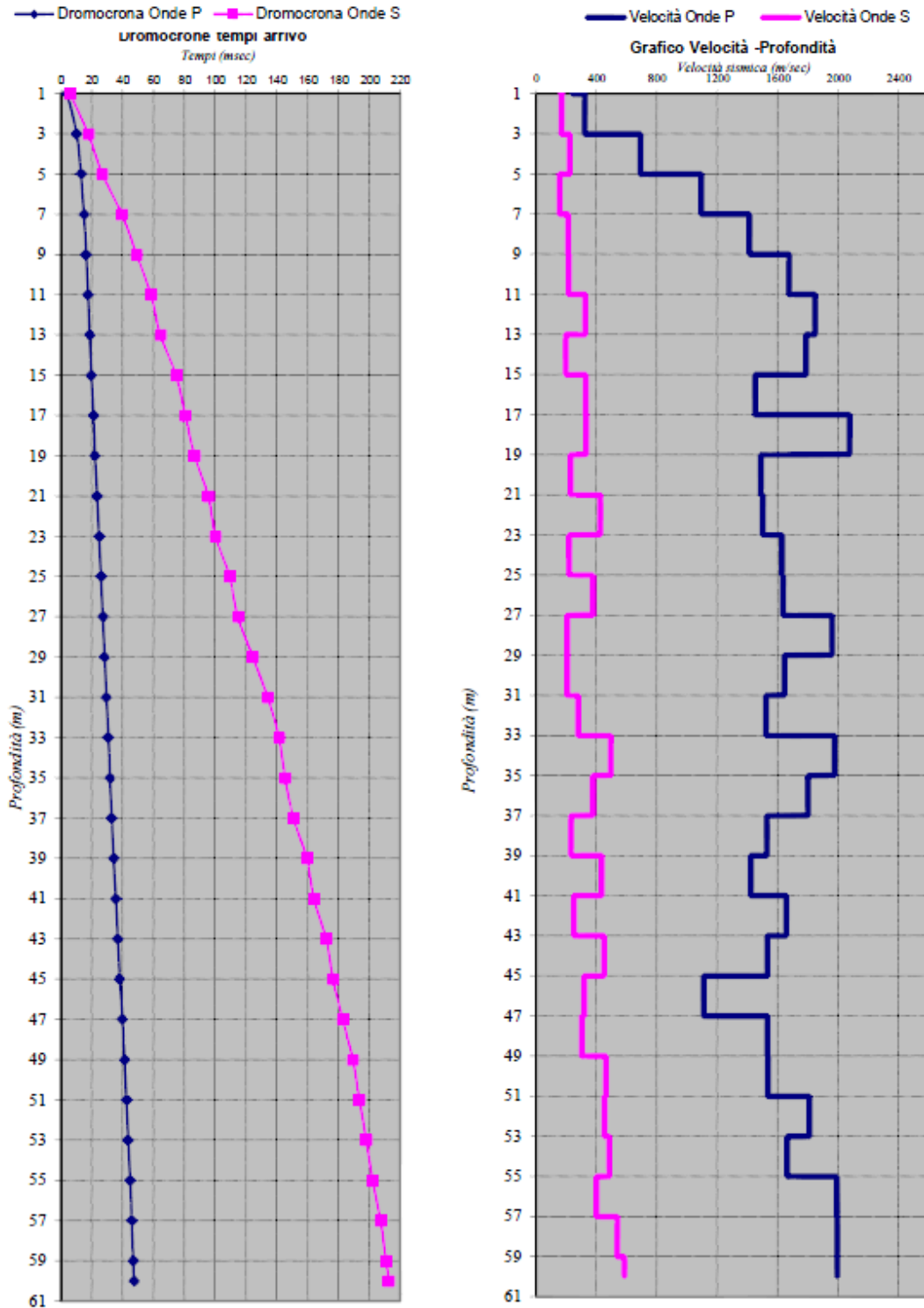



Figura 2 – risultati della prova down-hole a 60 m (dromocrona e graficizzazione delle onde Vp e Vs con la profondità).

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 11 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

La velocità equivalente delle onde di taglio V_{S30} in m/sec è definita dall'espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1;N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Con:


- h_i spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- V_i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
- N numero degli strati compresi nei primi 30 m di profondità.

Dall'elaborazione dei risultati della prova down-hole risulta una velocità equivalente delle onde di taglio dalla profondità di 1 m fino a 31 m (la velocità deve essere calcolata 30 m dal piano di imposta della fondazione) pari a:

$$V_{S30} = \mathbf{224} \text{ m/sec}$$

Tale valore è perfettamente coerente con quello ottenuto dalla prova down-hole eseguita nell'ottobre 2006 che è risultato pari a $V_{S30} = \mathbf{250}$ m/sec.

Entrambi i valori ricadono, in base alla tabella 3.2.II del DM 14/01/2008, perfettamente nella classe della **categoria di sottosuolo C** – *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{U,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 12 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

5 ANALISI SISMICA DI SITO DI 2° LIVELLO

Come ricordato in premessa, il comune di Bordolano ricade in zona sismica 4. Dall'analisi sismica di 1° livello, eseguita a supporto del PGT comunale, è emerso che la zona dove ricade la centrale STOGIT è perimetrata nello scenario di **pericolosità sismica locale Z4a: zone di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.**

Tale scenario qualitativo risulta suscettibile di amplificazioni sismiche (litologiche).

Coerentemente con la d.g.r. 30/11/2011 – n. IX/2616 si è eseguito un'analisi di 2° livello che si applica a tutti gli scenari suscettibili di amplificazione sismica. L'approccio è stato di tipo semiquantitativo ed è stato finalizzato alla stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di amplificazione (Fa).

Per l'analisi si sono utilizzati i dati provenienti dalle seguenti tipologie di indagini aventi, in base alla Tabella 2 dell'Allegato B alla d.g.r. n. IX/2616, i seguenti livelli di attendibilità:

<i>Dati</i>	<i>Attendibilità</i>	<i>Tipologia</i>
Litologici	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (Vs)	Alta	Da prove dirette (sismica in foro)

Tabella 1 – livelli di attendibilità dei risultati ottenuti dall'analisi (da allegato B alla d.g.r. n. IX/2616)

Nonostante la profondità del sondaggio e della relativa prova down-hole non si è raggiunto il bedrock ($V_s \geq 800$ m/sec). Data la stratigrafia della zona che non presenta sostanziali variazioni litologiche con la profondità, si sono elaborati i dati ottenuti con la prova down-hole per determinare il gradiente di Vs con la profondità per raggiungere il valore di 800 m/sec.

Lo strato superficiale è stato individuato in base all'andamento delle Vs avente uno spessore di 12 m e d è caratterizzato da una velocità media di 190 m/sec (da arrotondare a 200 m/sec per ricavare il limite massimo dell'intervallo).

La regressione lineare dei dati di Vs disponibile tra 12 e 60 m (Figura 3) ha consentito di determinare la seguente funzione:

$$V_s = 40 + 4.87 z$$

Da cui si ricava una profondità di 124 m per il raggiungimento della velocità delle onde di taglio pari a 800 m/sec.

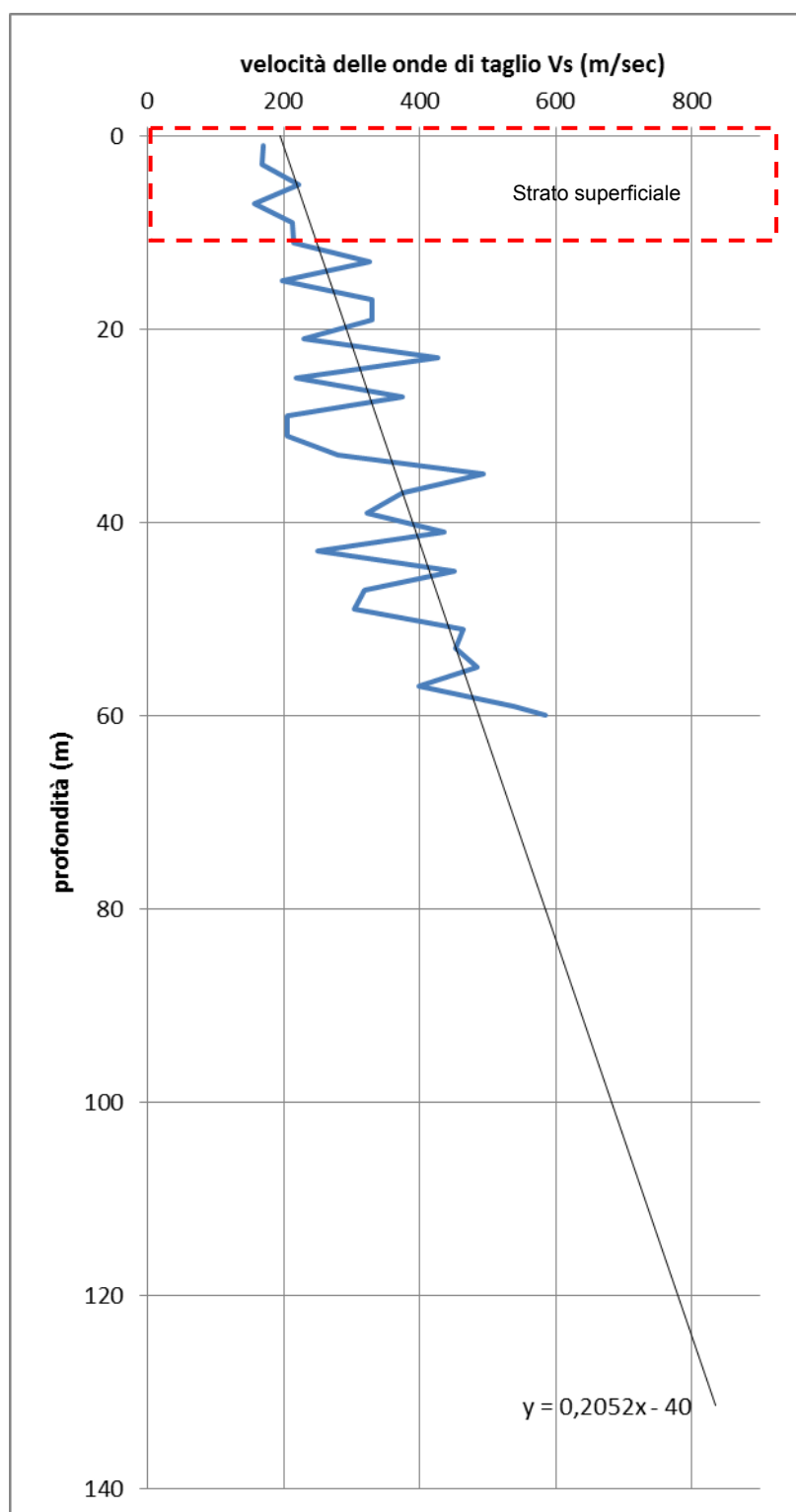


Figura 3 – andamento e gradiente delle Vs con la profondità

In base ai dati granulometrici disponibili, la litologia prevalente è quella delle sabbie per cui si è fatto riferimento alla scheda per la litologia prevalentemente sabbiosa (frazione limosa fino ad un massimo del 70%, senza contenuti in ghiaia e senza clasti con $D_{max} > 20$ cm)(Cfr.: d.g.r. n. IX/2616).

La verifica dell'andamento delle Vs con la profondità ha confermato che la curva individuata ricade nel campo di validità della scheda per litologia sabbiosa (Figura 4).

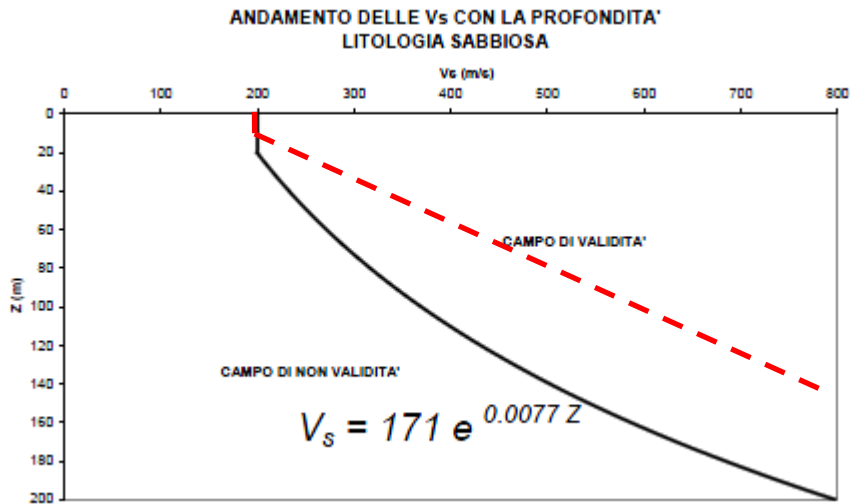


Figura 4 – verifica della validità della scheda per litologia sabbiosa nel caso in esame (in tratteggio rosso la linea di tendenza delle Vs) - (da Allegato B della d.g.r. n. IX/2616 – Scheda Litologia Sabbiosa).

Facendo riferimento alla relativa matrice della scheda di valutazione, in base allo spessore (12 m) e alla velocità delle onde di taglio ($V_s = 200$ m/sec) che caratterizza lo strato superficiale si è individuata la curva 2 (verde) come quella di riferimento.

		Profondità primo strato (m)																							
		1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180		
Velocità primo strato (m/s)	200		2	1-2	2	3	3	3	3	3	3														
	250		2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA									
	300		2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA							
	350		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA						
	400		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
	450		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA		
	500		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	
600		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	
700		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Figura 5 – matrice della scheda di valutazione per le sabbie (da Allegato B della d.g.r. n. IX/2616 – Scheda Litologia Sabbiosa).

Non si è fatto riferimento alla curva 1 (rossa) – che andrebbe utilizzata per le celle bordate di rosso in Figura 5, in quanto non ricade nella condizione che lo strato ha uno spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/sec e poggia su uno strato a velocità maggiore di 500 m/sec.

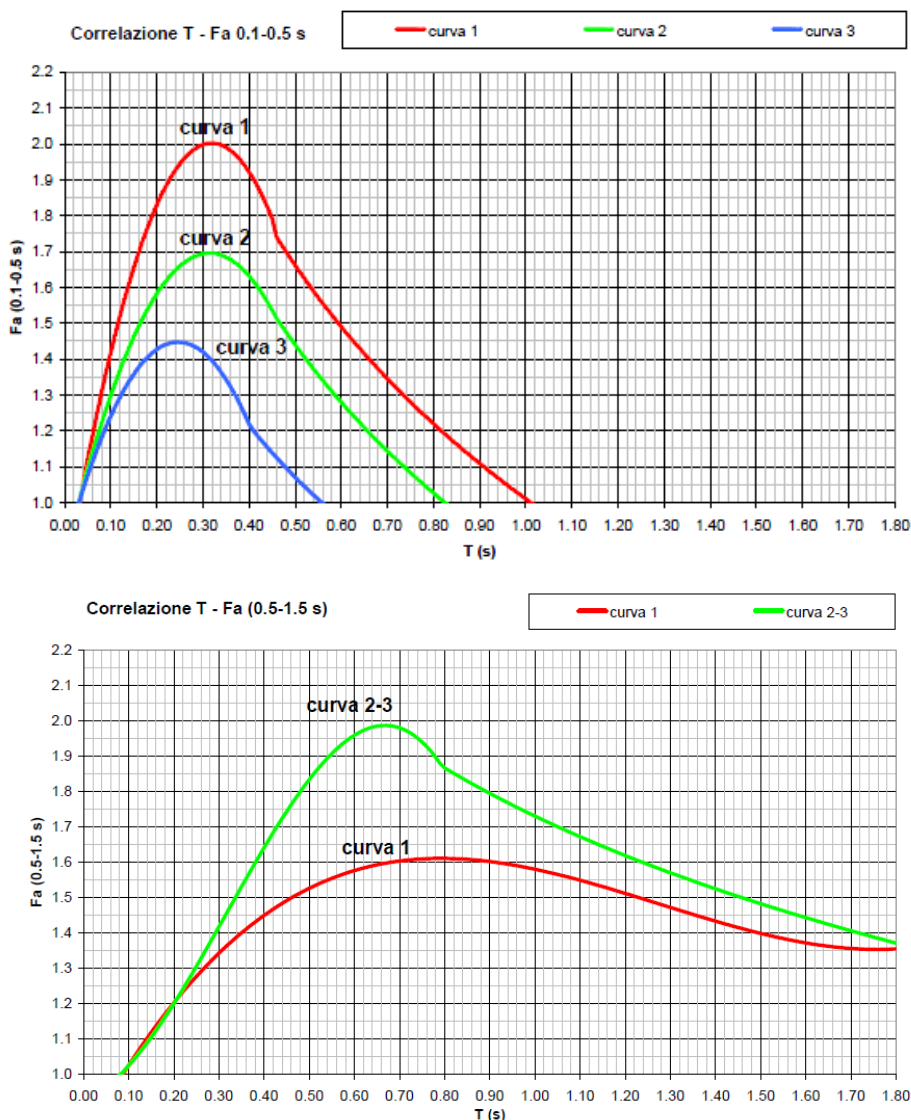



Figura 6 – curve per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0.1-0.5 sec e 0.5-1.5 sec (da Allegato B della d.g.r. n. IX/2616 – Scheda Litologia Sabbiosa). La curva di riferimento è la n. 2 in tratto verde.

Per le curve di riferimento si è fatto riferimento a quelle per l'intervallo 0.1-0.5 sec in quanto le strutture da realizzare presentano periodi caratteristici riferibili a tale intervallo (sono strutture relativamente basse, regolari e rigide). Per completezza si riportano anche quelle per le strutture caratterizzate dall'intervallo 0.5-1.5 sec.

Il periodo proprio del sito T, necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, è stato calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale a 800 m/sec (nel nostro caso 124 m). La relazione adottata per il calcolo del periodo proprio del sito è la seguente:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

Dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo.

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 16 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

A valle del calcolo si ottiene il **periodo del sito** pari a **T = 1.03**.

Per cui, in base sempre alla scheda per la litologia sabbiosa, si ha il seguente fattore di amplificazione sismica:

per periodo proprio delle strutture 0.1 – 0.5 $T > 0.80$ **Fa_{0.1-0.5} = 1.00**
per periodo proprio delle strutture 0.5 – 1.5 $80 \leq T \leq 1.80$ **Fa_{0.5-1.5} = 1.71**

Il valore di amplificazione sismica definiti come i valori soglia dalla Regione Lombardia per il comune di Bordolano per le varie categorie di sottosuolo sono riportati in Tabella 2.


<i>Categoria di sottosuolo</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.1	3.0
0.1 – 0.5	1.4	1.8	2.2	1.9

Tabella 2 – valori soglia di amplificazione sismica definiti dalla Regione Lombardia per il comune di Bordolano.

Dal confronto del valore di Fa calcolato con le schede di valutazione, aumentato di 0.1 per tenere in conto la variabilità del valore ottenuto, risulta che esso è comunque minore del valore soglia.

Per periodo proprio delle strutture 0.1-0.5 $Fa_{\text{calcolato}} (=1.1) < Fa_{\text{soglia}} (=1.8)$
Per periodo proprio delle strutture 0.5-1.5 $Fa_{\text{calcolato}} (=1.81) < Fa_{\text{soglia}} (=2.4)$

Essendo dunque i valori di Fa calcolati per entrambi i periodi di riferimento delle strutture inferiori al valore di soglia corrispondente, la normativa nazionale (DM 14/01/2008) è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi sono da applicare gli spettri previsti dalla normativa così come riportati nella relazione geologica [1] e geotecnica [2], posti alla base delle verifiche geotecniche agli S.L.U. delle strutture in oggetto effettuate in sede di progettazione.

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 17 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

6 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Per caratterizzare la sismicità dell'area si è fatto inoltre riferimento, oltre che alla normativa vigente, ai dati disponibili in letteratura ed in particolare ai lavori svolti dal GNDT del CNR (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti).

Si è presa in considerazione la zonazione sismogenetica del territorio italiano riportata nel rapporto conclusivo – Zonazione sismogenetica ZS9 del gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica dell' Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

L'area oggetto di studio ricade nei pressi dell'area sismogenetica n. 907 che include la parte più bassa delle province di Bergamo e Brescia (Figura 7). Essa è caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio-bassa. In questa zona i terremoti attesi hanno una profondità ipocentrale abbastanza contenuta dell'ordine di 5-8 km.

L'intensità massima risentita nella zona, come risulta dai dati del catalogo del Servizio Sismico Nazionale, non ha superato in epoca storica il valore del VI grado MCS.

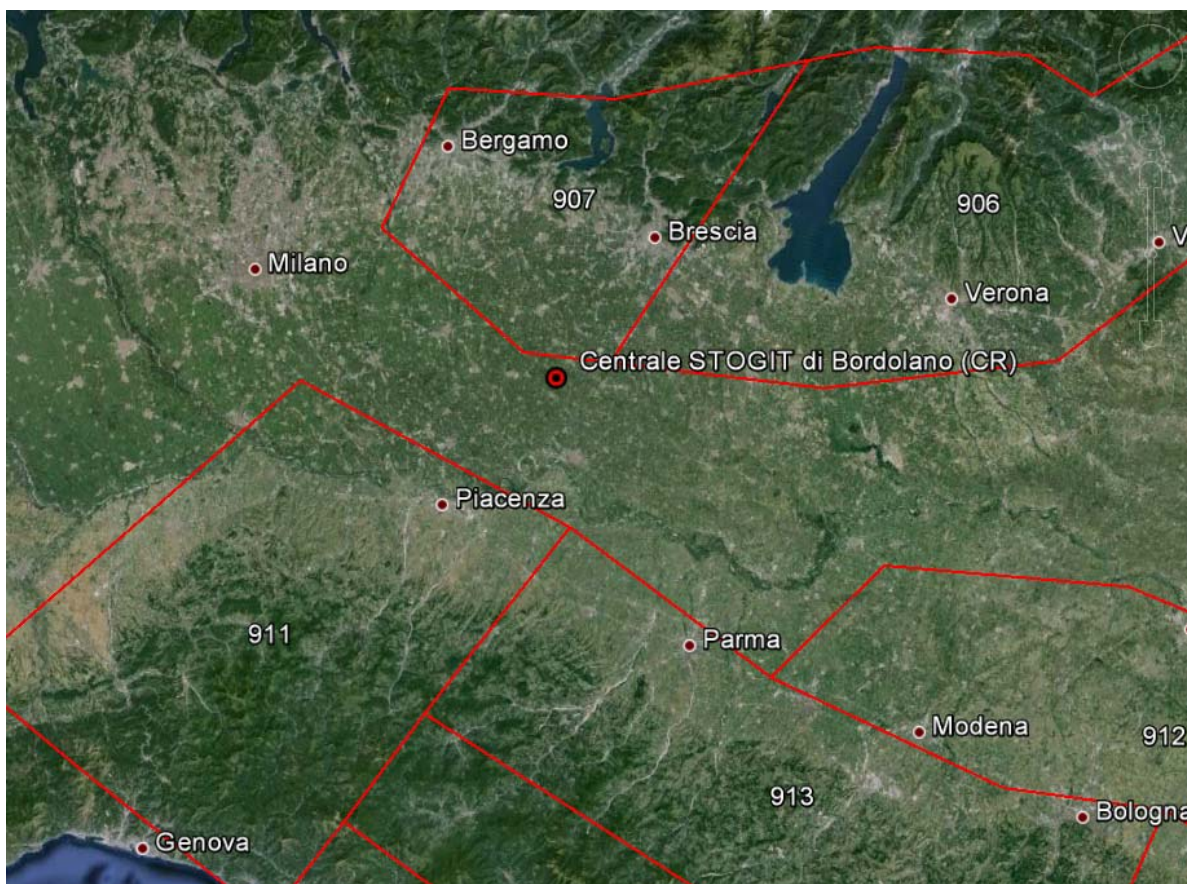



Figura 7 – zone sismogenetiche dell'Italia settentrionale (da: Zonazione sismogenetica ZS9, rapporto conclusivo – INGV. Ridis.)

In base all'*Ordinanza del Presidente dei Ministri n. 3274* del 20 marzo 2003, il comune di Bordolano (CR) risulta classificato in **zona 4**, zona per la quale l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni è

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 18 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

minore di $a_g = 0.05 g$ mentre l'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico è pari a $a_g = 0.05g$.

Per definire la magnitudo massima attesa, essendo fuori dalle zone sismogenetiche si è fatto riferimento alla metodologia riportata nel rapporto "indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" della Protezione Civile [7].

Per il sito in oggetto si è verificato se la relazione seguente fosse soddisfatta o meno:

$$M_s < M_i$$

Dove: $M_s = 1 + 3 \log(R)$ con R = minima distanza tra il sito e la zona sismogenetica e M_i = magnitudo massima attesa della zona sismogenetica prossima.

Nel nostro caso tale relazione non è soddisfatta per cui al sito si applica la **magnitudo massima attesa** della zona 907 che è pari a **M = 6.14**.

Dalle misurazioni eseguite, il massimo livello si è attestato alla profondità di 4.7 m. Cautelativamente, nei calcoli si è assunto un livello piezometrico pari a Z = 4.0 m dal p.c. attuale.


Adottando i parametri ricavati dalle prove in sito e dalle analisi di laboratorio geotecnico si è effettuata la verifica alla liquefazione con il metodo semplificato di Seed e Idriss. Dalle verifiche è risultato sempre un fattore maggiore di $F_s = 1.3$ per cui i terreni sono risultati non liquefacibili come si può osservare dalla Figura 10 – Diagrammi NSPT, q_c , V_s e F_s .

6.1 Metodologia utilizzata

Per la verifica alla liquefazione si è utilizzato il metodo semplificato proposto da Seed e Idriss (1982). I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (*Cyclic Stress Ratio*) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 19 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

Il 'metodo di Seed e Idriss' (1982) è il più noto e utilizzato dei metodi semplificati e richiede solo la conoscenza dei seguenti parametri geotecnici: la granulometria, il numero dei colpi nella prova SPT, la densità relativa, il peso di volume. Per determinare il valore del coefficiente riduttivo **rd** viene utilizzata la formula empirica proposta da Iwasaki et al. (1978):

$$rd = 1 - 0,015z$$

mentre per il fattore correttivo **MSF** si è fatto riferimento alla Tabella 3 dove viene riportato il valore di questo fattore ottenuto ricercatori, Seed H. B. e Idriss I. M (1982).

Magnitudo	Seed H. B. & Idriss I. M. (1982)
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19
7.0	1.08
7.5	1.00
8.0	0.94
8.5	0.89

Tabella 3 – Magnitudo Scaling Factor

Il termine a numeratore della formula per la determinazione di F_s , cioè la resistenza alla liquefazione CRR, viene calcolato in funzione della magnitudo, del numero di colpi, della pressione verticale effettiva, della densità relativa.

Si ottiene un grafico (Figura 8) ottenuto selezionando i casi di terreni in cui si è avuta liquefazione e non liquefazione durante i terremoti.


Si calcola inizialmente il numero dei colpi corretto alla quota desiderata per tenere conto della pressione litostatica mediante la seguente espressione:

$$(N1,60) = C_N Nm$$

dove Nm è il numero medio dei colpi nella prova penetrometrica standard SPT e C_N un coefficiente correttivo che si calcola mediante la seguente espressione:

$$C_N = \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,5}$$

dove σ'_{vo} è la pressione verticale effettiva, Pa la pressione atmosferica espressa nelle stesse unità di σ'_{vo} ed n un'esponente che dipende dalla densità relativa del terreno (Figura 9).

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 20 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

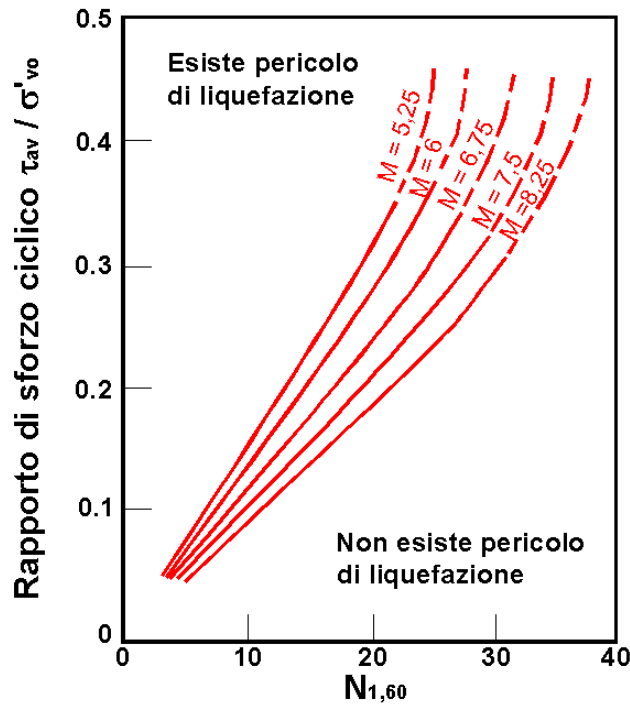


Figura 8 – correlazione tra CSR e N1,60

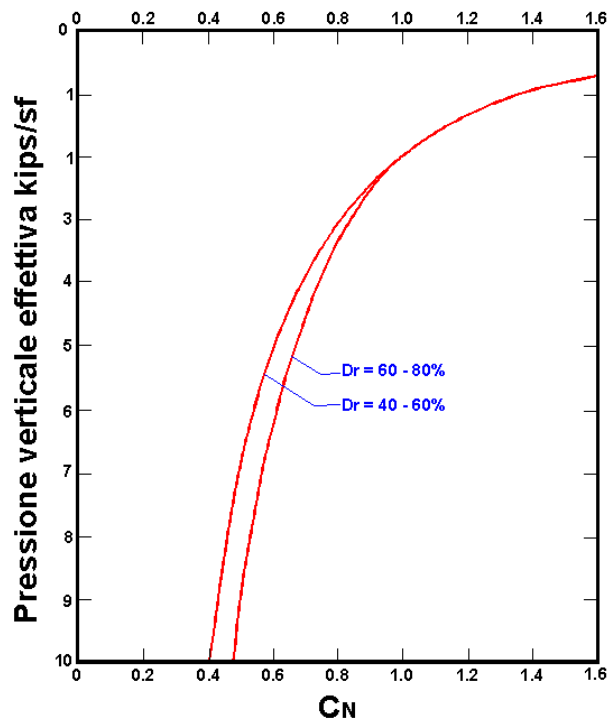



Figura 9 – Coefficiente correttivo CN

E' stato dimostrato che per un terremoto di magnitudo pari a 7,5 CRR è:

$$CRR \approx \frac{N_{1,60}}{90}$$

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 21 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

Se $FS > 1,3$ il deposito non è liquefacibile.

Gli Autori hanno precisato che questa procedura è valida per sabbie con $D_{50} > 0,25$ mm; per sabbie limose e limi suggeriscono di correggere ulteriormente il valore di $N_{1,60}$:



$$(N_{1,60})_{cs} = N_{1,60} + 7,5$$

6.2 Calcolo della suscettibilità di liquefazione

Dati generali

Numero di strati = 6
Profondità della falda = 4 m
Magnitudo del sisma = 6,14
Accelerazione massima al suolo = 0,15



Strato Nr.	Descrizione (-)	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso di volume secco (KN/mc)	Peso di volume saturo (KN/mc)	Nr. colpi medio (Nspt)	D50 dei granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza all'attrito laterale fs (KPa)	Velocità Vs (m/s)
1	Sabbia limosa	0	5	1800	2000	15	0	3000	75	190
2	Sabbia pulita	5	7	1900	2100	25	0	8000	200	200
3	Sabbia pulita	7	9	1900	2100	35	0	11000	200	160
4	Sabbia pulita	9	13	1900	2100	20	0	5000	100	250
5	Sabbia pulita	13	15	1900	2100	25	0	7000	150	300
6	Sabbia pulita	15	20	1900	2100	28	0	8000	150	310

 	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 22 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

Risultati

Correzione per la magnitudo (MSF) = 1,28

Verifica Nr.	Profondità dal p. c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Correzione per la press. litostatica efficace (CN)	Numero dei colpi corretto (N1,60)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato o (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilit à di liquefazione
1	4,20	7600,00	7598,04	0,09	8,89	0,94	0,10	0,07	1,39	NL
2	4,40	8000,00	7996,08	0,09	8,85	0,93	0,10	0,07	1,39	NL
3	4,60	8400,00	8394,12	0,09	8,81	0,93	0,10	0,07	1,38	NL
4	4,80	8800,00	8792,15	0,09	8,78	0,93	0,10	0,07	1,38	NL
5	5,00	9200,00	9190,19	0,08	8,75	0,93	0,10	0,07	1,38	NL
6	5,20	9620,00	9608,23	0,08	9,53	0,92	0,11	0,07	1,51	NL
7	5,40	10040,00	10026,27	0,08	9,48	0,92	0,11	0,07	1,51	NL
8	5,60	10460,00	10444,31	0,08	9,44	0,92	0,10	0,07	1,51	NL
9	5,80	10880,00	10862,35	0,08	9,40	0,91	0,10	0,07	1,50	NL
10	6,00	11300,00	11280,39	0,07	9,36	0,91	0,10	0,07	1,50	NL
11	6,20	11720,00	11698,43	0,07	9,32	0,91	0,10	0,07	1,50	NL
12	6,40	12140,00	12116,46	0,07	9,29	0,90	0,10	0,07	1,50	NL
13	6,60	12560,00	12534,50	0,07	9,25	0,90	0,10	0,07	1,50	NL
14	6,80	12980,00	12952,54	0,07	9,22	0,90	0,10	0,07	1,50	NL
15	7,00	13400,00	13370,58	0,07	9,19	0,90	0,10	0,07	1,50	NL
16	7,20	13820,00	13788,62	0,07	9,83	0,89	0,11	0,07	1,61	NL
17	7,40	14240,00	14206,66	0,07	9,79	0,89	0,11	0,07	1,61	NL
18	7,60	14660,00	14624,70	0,06	9,76	0,89	0,11	0,07	1,61	NL
19	7,80	15080,00	15042,73	0,06	9,72	0,88	0,11	0,07	1,61	NL
20	8,00	15500,00	15460,77	0,06	9,69	0,88	0,11	0,07	1,61	NL
21	8,20	15920,00	15878,81	0,06	9,66	0,88	0,11	0,07	1,61	NL
22	8,40	16340,00	16296,85	0,06	9,63	0,87	0,11	0,07	1,61	NL
23	8,60	16760,00	16714,89	0,06	9,60	0,87	0,11	0,07	1,61	NL
24	8,80	17180,00	17132,93	0,06	9,57	0,87	0,11	0,07	1,61	NL
25	9,00	17600,00	17550,97	0,06	9,54	0,87	0,11	0,07	1,61	NL
26	9,20	18020,00	17969,01	0,06	8,65	0,86	0,10	0,07	1,46	NL
27	9,40	18440,00	18387,04	0,06	8,64	0,86	0,10	0,07	1,47	NL
28	9,60	18860,00	18805,08	0,06	8,62	0,86	0,10	0,07	1,47	NL
29	9,80	19280,00	19223,12	0,06	8,61	0,85	0,10	0,06	1,47	NL
30	10,00	19700,00	19641,16	0,05	8,60	0,85	0,10	0,06	1,48	NL
31	10,20	20120,00	20059,20	0,05	8,58	0,85	0,10	0,06	1,48	NL
32	10,40	20540,00	20477,24	0,05	8,57	0,84	0,10	0,06	1,48	NL
33	10,60	20960,00	20895,28	0,05	8,56	0,84	0,10	0,06	1,48	NL
34	10,80	21380,00	21313,31	0,05	8,55	0,84	0,10	0,06	1,49	NL
35	11,00	21800,00	21731,35	0,05	8,54	0,84	0,09	0,06	1,49	NL
36	11,20	22220,00	22149,39	0,05	8,53	0,83	0,09	0,06	1,49	NL
37	11,40	22640,00	22567,43	0,05	8,52	0,83	0,09	0,06	1,50	NL
38	11,60	23060,00	22985,47	0,05	8,51	0,83	0,09	0,06	1,50	NL
39	11,80	23480,00	23403,51	0,05	8,50	0,82	0,09	0,06	1,51	NL
40	12,00	23900,00	23821,55	0,05	8,49	0,82	0,09	0,06	1,51	NL
41	12,20	24320,00	24239,59	0,05	8,48	0,82	0,09	0,06	1,51	NL
42	12,40	24740,00	24657,63	0,05	8,47	0,81	0,09	0,06	1,52	NL
43	12,60	25160,00	25075,66	0,05	8,46	0,81	0,09	0,06	1,52	NL
44	12,80	25580,00	25493,70	0,05	8,45	0,81	0,09	0,06	1,52	NL
45	13,00	26000,00	25911,74	0,05	8,44	0,81	0,09	0,06	1,53	NL
46	13,20	26420,00	26329,78	0,05	8,67	0,80	0,10	0,06	1,58	NL
47	13,40	26840,00	26747,82	0,05	8,66	0,80	0,10	0,06	1,58	NL
48	13,60	27260,00	27165,86	0,05	8,65	0,80	0,10	0,06	1,58	NL
49	13,80	27680,00	27583,89	0,05	8,64	0,79	0,10	0,06	1,59	NL
50	14,00	28100,00	28001,93	0,05	8,63	0,79	0,10	0,06	1,59	NL
51	14,20	28520,00	28419,97	0,04	8,62	0,79	0,10	0,06	1,60	NL
52	14,40	28940,00	28838,01	0,04	8,61	0,78	0,10	0,06	1,60	NL
53	14,60	29360,00	29256,05	0,04	8,60	0,78	0,10	0,06	1,61	NL
54	14,80	29780,00	29674,09	0,04	8,59	0,78	0,10	0,06	1,61	NL
55	15,00	30200,00	30092,13	0,04	8,58	0,78	0,10	0,06	1,61	NL
56	15,20	30620,00	30510,17	0,04	8,70	0,77	0,10	0,06	1,64	NL
57	15,40	31040,00	30928,21	0,04	8,70	0,77	0,10	0,06	1,65	NL
58	15,60	31460,00	31346,24	0,04	8,69	0,77	0,10	0,06	1,65	NL
59	15,80	31880,00	31764,28	0,04	8,68	0,76	0,10	0,06	1,66	NL
60	16,00	32300,00	32182,32	0,04	8,67	0,76	0,10	0,06	1,66	NL
61	16,20	32720,00	32600,36	0,04	8,66	0,76	0,10	0,06	1,67	NL
62	16,40	33140,00	33018,40	0,04	8,65	0,75	0,10	0,06	1,67	NL

 	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 23 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

63	16,60	33560,00	33436,44	0,04	8,65	0,75	0,10	0,06	1,68	NL
64	16,80	33980,00	33854,48	0,04	8,64	0,75	0,10	0,06	1,68	NL
65	17,00	34400,00	34272,51	0,04	8,63	0,75	0,10	0,06	1,69	NL
66	17,20	34820,00	34690,55	0,04	8,62	0,74	0,10	0,06	1,69	NL
67	17,40	35240,00	35108,59	0,04	8,61	0,74	0,10	0,06	1,70	NL
68	17,60	35660,00	35526,63	0,04	8,61	0,74	0,10	0,06	1,70	NL
69	17,80	36080,00	35944,67	0,04	8,60	0,73	0,10	0,06	1,71	NL
70	18,00	36500,00	36362,71	0,04	8,59	0,73	0,10	0,06	1,71	NL
71	18,20	36920,00	36780,75	0,04	8,59	0,73	0,10	0,06	1,72	NL
72	18,40	37340,00	37198,79	0,04	8,58	0,72	0,10	0,06	1,73	NL
73	18,60	37760,00	37616,82	0,04	8,57	0,72	0,10	0,05	1,73	NL
74	18,80	38180,00	38034,86	0,04	8,57	0,72	0,10	0,05	1,74	NL
75	19,00	38600,00	38452,90	0,04	8,56	0,72	0,10	0,05	1,74	NL
76	19,20	39020,00	38870,94	0,04	8,55	0,71	0,10	0,05	1,75	NL
77	19,40	39440,00	39288,98	0,04	8,55	0,71	0,10	0,05	1,76	NL
78	19,60	39860,00	39707,02	0,04	8,54	0,71	0,09	0,05	1,76	NL
79	19,80	40280,00	40125,05	0,04	8,54	0,70	0,09	0,05	1,77	NL
80	20,00	40700,00	40543,09	0,04	8,53	0,70	0,09	0,05	1,78	NL

NL = Terreno non liquefacibile

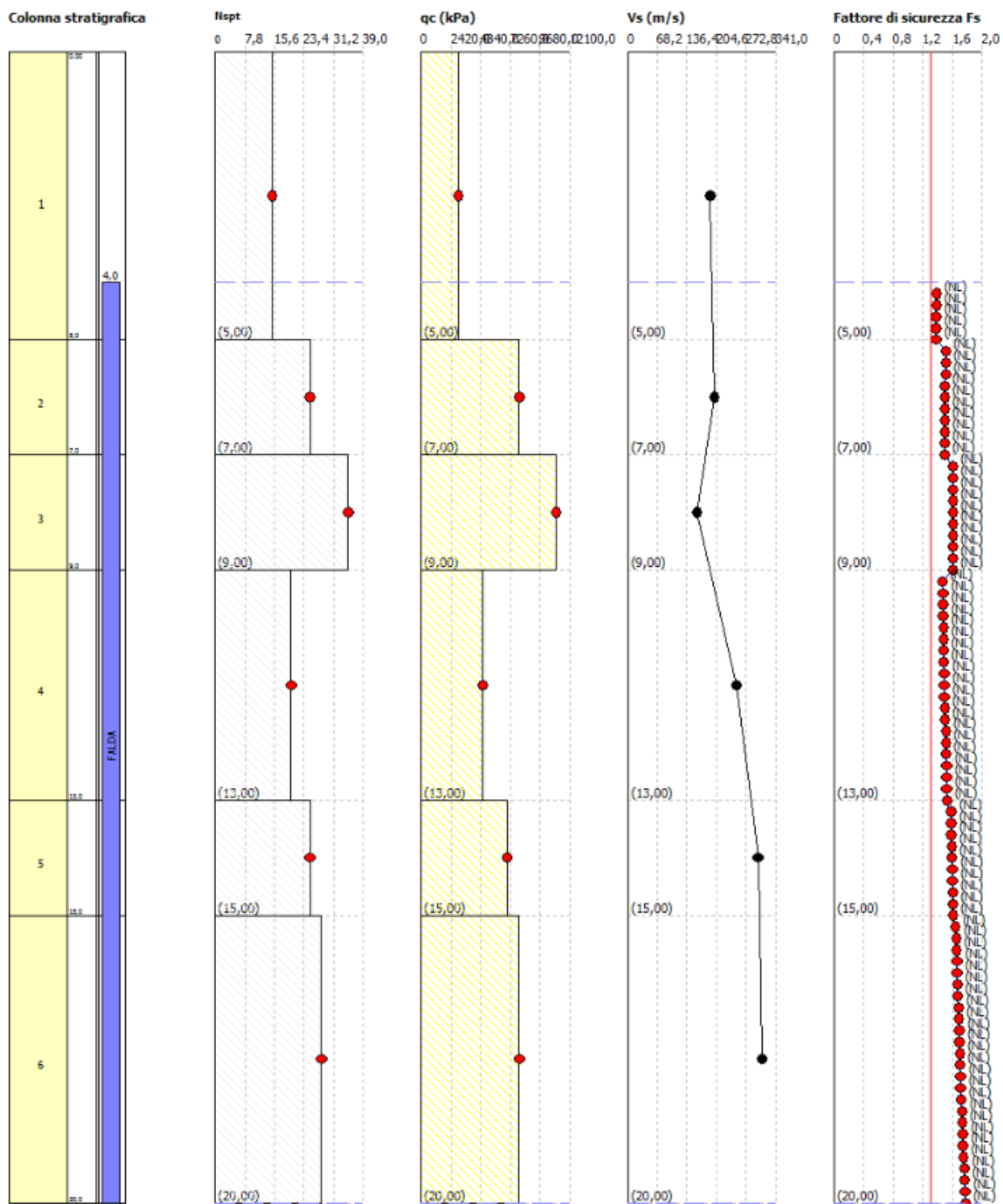



Figura 10 – Diagrammi N_{SPT}, q_c, V_s e F_s

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 25 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

7 CONCLUSIONI

Il presente lavoro è stato prodotto per ottemperare alle richieste di integrazione riportate nella delibera del 19/03/2013 della Giunta della Provincia di Cremona. A tal fine si è eseguito un approfondimento specifico e dettagliato relativamente al rischio sismico, condotto ai sensi della d.g.r. n. IX/2616 con le analisi sismiche di 2° livello.


Il lavoro ha comportato, ad integrazione delle indagini disponibili per il sito, l'esecuzione di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo profondo 60 m in corrispondenza del quale è stata effettuata una prova down-hole per tutta la profondità con passo 2 m.

Le analisi di secondo livello effettuate per le valutazioni degli effetti sismici di sito hanno confermato che la normativa vigente (D.M. 14/01/2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni) è sufficiente a valutare gli effetti di amplificazione sismica dovuti all'assetto litostratigrafico. Infatti il Fattore di amplificazione F_a calcolato per il sito è minore del corrispettivo valore soglia calcolato dalla Regione Lombardia per il comune di Bordolano. Pertanto rimane confermata la categoria di sottosuolo C e le verifiche geotecniche agli S.L.U. effettuati in fase progettuale e non sono necessari gli approfondimenti di 3° livello come previsto dalla d.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011.

La valutazione del Potenziale di Liquefazione ha dato esito negativo: i terreni in reazione alla massima magnitudo attesa non sono liquefacibili. Come valore della massima magnitudo attesa si è considerato $M = 6.14$, relativo alla zona sismogenetica più prossima al sito d'interesse (zona 906) nonostante il sito sia esterno a qualsiasi zona sismogenetica. L'attribuzione della massima magnitudo attesa è stata eseguita aderendo agli "indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" proposti dalla Protezione Civile.

Le verifiche alla liquefazione, eseguite con il metodo di Seed e Idriss, hanno dato fattori di sicurezza sempre maggiori di 1.3, per cui i terreni risultano non liquefacibili.

I risultati delle analisi di approfondimento confermano la piena fattibilità geologica e geotecnica degli interventi in progetto che risultano compatibili con quella che è la massima sismicità attesa per la zona di cui si è già tenuto conto nelle elaborazioni progettuali che hanno seguito quanto imposto dal D.M 14/01/2008.

	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista 00-CI-E-10052	Indice Rev.		Foglio di Fogli 26 / 26
			Stato di Validità	N. Rev	
			EX-CO	0	

Allegato

Bordolano (CR)

Indagine geognostica integrativa per esecuzione di una prova down-hole a 60 m di profondità.

SAIPEM S.P.A.

**Via Toniolo, 1
61032 Fano (PU)**

**Bordolano (CR) – Indagine geognostica integrativa per esecuzione di una prova down-hole a
60 m. di profondità (commessa 022051)**

**OdL: 30722677
Convenzione: 5000020021**

Giugno – Luglio 2013

BEDUSCHI GEOTECNICA di Beduschi G. e C. S.r.l.

**Via Centro Isola, 1d
26046 San Daniele Po (Cr)
Tel. : 0372 65223
Fax : 0372 65223
e-mail : info@beduschigeotecnica.it**

***Sondaggi geognostici e prove penetrometriche*
Part. IVA N. 00256020348
R.E.A Cremona n.173629
Attestazione SOA 4505/41/01 del 16/08/2010
Certificazione ISO9001 n. IT235670 del 26/06/2010**


BEDUSCHI GEOTECNICA SRL
di Beduschi Giovanni e C.
Via Centro Isola, 1/D - 26046 S. Daniele Po (CR)
Tel. e Fax 0372 65223
C.F. e P. IVA: 00256020348

INDICE

1 – PREMESSA

2 – ATTREZZATURA IMPIEGATA PER I SONDAGGI GEOGNOSTICI

DOCUMENTAZIONE PROVE ESEGUITE:

legenda stratigrafica

S 1 Bordolano

Documentazione fotografica

3 – PROVA DOWN-HOLE

Premessa

Caratteristiche attrezzatura

Metodologia sismica Down-Hole

Dati conclusivi della prova sismica Down-Hole

Valutazione del suolo di fondazione (azione sismica di progetto- V_{s30})

Allegati

Fig. 1: Ubicazione area di intervento

Esecuzione prova Down-Hole

Fig. 2: Piazzamento DH_1

Tempi arrivi DH_1

Fig. 3: Tempi arrivo onde P

Fig. 4: Tempi arrivo onde Sx

Fig. 5: Tempi di arrivo onde Sy

Tavola 1_A Scheda elaborazione prova Down-Hole DH_1

Tavola 1_B Scheda parametri prova Down-Hole DH_1

1 – PREMESSA

L'indagine si sviluppa attraverso:

- l'esecuzione di n.1 perforazione a carotaggio continuo, di profondità m. 60, allestita per l'esecuzione della prova sismica Down-Hole, descrizione e restituzione in forma grafica delle stratigrafie;
- esecuzione prova Down-Hole;

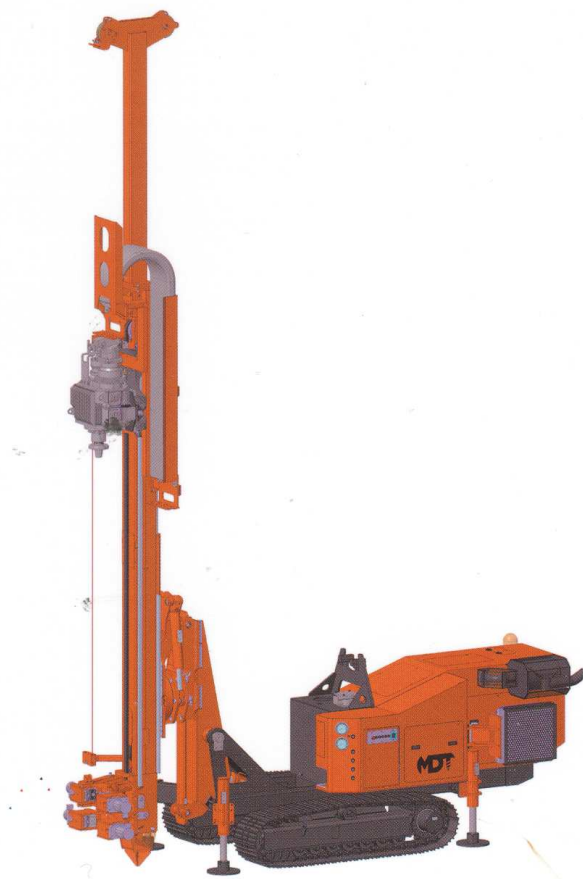
I lavori di campagna sono stati eseguiti tra il mese di Giugno e Luglio 2013.

2 – ATTREZZATURA IMPIEGATA PER IL SONDAGGIO GEOGNOSTICO

Per l'esecuzione delle indagini è stata impiegata la sonda cingolata M.D.T. V80 dotata delle seguenti caratteristiche:

M.D.T. V80:

- Perforatrice montata su carro cingolato ad azionamento oleodinamico;
- Sistema di perforazione: rotazione a circolazione diretta, distruzione di nucleo con spurgo ad acqua, fango, aria;
- Torre: struttura tipo scatolato;
- Capacità max di tiro e spinta: 40 KN;
- Coppia di rotazione massima: 10000 Nm;
- Velocità di rotazione: 627 Rpm



MDT V80

DOCUMENTAZIONE PROVE ESEGUITE

LEGENDA STRATIGRAFIA

Ø mm	R r	A s	Pz m	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	PreL % 0 - 100	SPT S.P.T.	RQD % 0 - 100	prof m	DESCRIZIONE	
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

- 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 2) Rivestimento
- 3) Profondità dell'acqua (rinvenimento e stabilizzazione)
- 4) Piezometri
- 5) Scala metrica con limiti delle battute (>)
- 6) Simbolo litologico
- 7) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)
- 8) Resistenza alla punta (kg/cm²)
- 9) Vane test (kg/cm²)
- 10) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 11) Prova S.P.T.
- 12) Valore di N_{spt}
- 13) Percentuale R.Q.D. (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 14) Profondità della base dello strato (m)
- 15) Descrizione della litologia dello strato



She = Shelby
Den = Denison
Ost = Osterberg
Maz = Mazier
Crp = Craps
nk3 = NK3
Ind = Indisturbato
Dis = Disturbato
SDi = Semi disturbato
SPT = SPT

Committente: SAIPEM	Sondaggio: S.1
Riferimento: BORDOLANO (CR) AREA STOGIT	Data: 19.20.21/06/2013
Coordinate: N 45°17,011' E 9°58,398'	Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

SCALA 1:100 **STRATIGRAFIA** Pagina 1/4

Pz m	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	SPL		RQD %		DESCRIZIONE
					Prof % 0-100	S.P.L.	N	0-100	
									SUOLO LIMOSO MARRONE.
1.5									LIMO MARRONE SABBIOSO.
2.0									SABBIA MARRONE, MEDIA, DEBOLMENTE LIMOSA, POCO ADDENSATA.
4.0									SABBIA GRIGIO-MARRONE, GRANULOMETRIA MEDIA-FINE, POCO ADDENSATA.
5.0									SABBIA, ADDENSATA DA m 9.00 A m 20.00 DI COLORE GRIGIO, PULITA, MEDIA.
6.0									LIVELLO DEBOLMENTE LIMOSO DA m 22.5 A m 24.00
7.0									
8.0									
9.0									
10.0									
11.0									
12.0									
13.0									
14.0									
15.0									
16.0									
17.0									
18.0									
19.0									
20.0									

Committente: SAIPEM	Sondaggio: S.1
Riferimento: BORDOLANO (CR) AREA STOGIT	Data: 19-20-21/06/2013
Coordinate: N 45°17,011' E 9°58,398'	Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

SCALA 1:100

STRATIGRAFIA

Pagina 2/4

Altezza (m)	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Precl. % 0-100	SPT	RCU % 0-100	Int. m	DESCRIZIONE
21.00	SABBIA GRIGIO-MARRONE, GRANULOMETRIA MEDIA-FINE, POCO ADDENSATA.								
22.00	SABBIA ADDENSATA DA m 9.00 A m 20.00 DI COLORE GRIGIO, PULITA, MEDIA.								
22.50	LIVELLO DEBOLMENTE LIMOSO DA m 22.5 A m 24.00								
29.60	LIMO GRIGIO SCURO CONSISTENTE CON PUNTI NERI.	3.5							
30.00	SABBIOSO FINE DA m 30.00 E DI COLORE GRIGIO-VERDE CHIARO MENO CONSISTENTE.	2							
32.20	SABBIA GRIGIA MEDIA, DA m 35 A m 38 DEBOLMENTE LIMOSA.								
37.20	SABBIA CON LIMO DI COLORE GRIGIO-VERDE, DA m 38.40 LIMO GRIGIO-VERDE MODERATAMENTE CONSISTENTE.	1.5							
39.00	SABBIA GRIGIO SCURO, MEDIA, PULITA,	1.9							

Committente: SAIPEM	Sondaggio: S.1
Riferimento: BORDOLANO (CR) AREA STOGIT	Data: 19-20-21/06/2013
Coordinate: N 45°17,011' E 9°58,398'	Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

SCALA 1 : 100

STRATIGRAFIA

Pagina 3/4

q	R	A	Pz	metri	LITOLOGIA	Campioni	R ²	VT	Pal. %	SPT	2011 %	scf	DESCRIZIONE
mm	g	g	g	sec					0-100	5.97	N 0-100	g	
													SABBIA GRIGIO SCURO, MEDIA, PULITA.
				41				0.1				40.8	LIMO NERASTRO DEBOLMENTE ARGILLOSO MOLLE, PASSANTE A SABBIA GRIGIA DEBOLMENTE LIMOSA
				42									
				43									
				44									
				45									
				46								45.8	LIMO GRIGIO DEBOLMENTE SABBIOSO POCO CONSISTENTE.
				47									
				48				3.5	1.7			41.7	ARGILLA VERDE OLIVA, CONSISTENTE CON PUNTI NERI E CALCINELLI, PRESENTI MACULATURE MARRONI SCURO, DEBOLMENTE LIMOSA DA m 48.30.
				49				4	1.8				
				49.5				3	1.5				
				50				3.5				46.5	SABBIA FINE GRIGIO-VERDE DEBOLMENTE LIMOSA, POCO ADDENSATA.
				51				2	0.5			50.2	LIMO CON ARGILLA VERDE OLIVA, PRESENTE LIVELLO SCURO DA m 50.80 A m 51.00, CONSISTENTE. DEBOLMENTE SABBIOSO DA m 51.20 A m 51.60 E DA m 52.30 A 53.00 m.
				52				2.5					
				53				2.7					
				54				0.6				53.0	SABBIA GRIGIA MEDIA, MODERATAMENTE ADDENSATA, DEBOLMENTE LIMOSA DA m 53.00 A 60.00 m E DI COLORE PIU' SCURO.
				55									
				56									
				57									
				58									
				59									
101				60								60.0	

Beduschi Geotecnica
 di Beduschi Giovanni e C S.r.l.
 Via Centro Isola 1/d
 36046 San Daniele Po (CR)

Committente: SAIPEM	Sondaggio: S.1
Riferimento: BORDOLANO (CR) AREA STOGIT	Data: 19-20-21/06/2013
Coordinate: N 45°17,011' E 9°58,398'	Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

SCALA 1 : 100 **STRATIGRAFIA** Pagina 4/4

POSA E CEMENTAZIONE TUBO IN PVC DIAMETRO 80 mm PER PROVA DOWN HOLE A m 60.00.

Rilievo del livello dell'acqua nel corso della perforazione

Giorno	20/06/13	21/06/13							
Ora	matina	matina							
Livello dell'acqua (m)	3,50	14,70							
Prof. perforazione(m)	24,00	42,00							
Prof. rivestimento(m)	24,00	42,00							

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



S 1. da m. 0 a m. 5



S 1. da m. 5 a m. 10



S 1. da m. 10 a m. 15



S 1. da m. 15 a m. 20



S 1. da m. 20 a m. 25



S 1. da m. 25 a m. 30



S 1. da m. 30 a m. 35



S 1. da m. 35 a m. 40



S 1. da m. 40 a m. 45



S 1. da m. 45 a m. 50



S 1. da m. 50 a m. 55



S 1. da m. 55 a m. 60



Sonda S 1 Bordolano



Tubo e protezione

3 – PROVA DOWN-HOLE

PREMESSA

In merito ad un intervento presso l'area Centrale di Bordolano (CR), è stata effettuata una prova sismica tipo Down-Hole, all'interno di un foro di sondaggio in precedenza eseguito.

Lo scopo delle indagini è di valutare le velocità sismiche alle varie profondità dei terreni attraversati.

Il sondaggio meccanico eseguito a rotazione continua con prelievo del materiale, è stato attrezzato con tubi in PVC da 3 metri, avente spessore > 3 mm e diametro esterno pari a 80 mm, sono stati avvitati insieme. L'intercapedine foro-tubatura, al fine di ottenere dati sismici di elevata qualità, è stata completamente cementata sino al p.c., con immissione da fondo foro di miscela cemento - bentonite in pressione.

In particolare la prova sismica è stata eseguita con le seguenti caratteristiche:

Down-Hole	Sondaggio	Profondità m	Interdistanza letture m
DH_1	S1	60	2

CARATTERISTICHE ATTREZZATURE

L'indagine Down-Hole è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16S24P, utilizzando un sistema d'energizzazione come sotto descritto:

Energizzazione: mazza con massa di 10 kgf e piattina di battuta (Vp); trave di battuta opportunamente contrastata al suolo tramite autocarro (Vs).
Ricezione: Geofono da foro tridimensionale, frequenza pari a 14 Hz con diametro da 70 mm e dispositivo di bloccaggio pneumatico.

Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-*processore:* Pentium 200 MMx Intel,
-*Trattamento dati:* Floating Point 32-Bit,
-*Ambiente operativo:* Windows 3.11,
-*Canali:* 24
-*Display:* VGA colori LCD_TFT 10,4"
-*Supporto memorizz.:* Hard Disk 2,1 Gb
-*Risoluzione acquisizione:* 6/24 bit
-*Sonde ambiente interne:* temperatura, umidità relativa
-*Formato dati:* Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),
-*Durata acquisizioni:* Rifrazione, 32÷2048 ms Riflessione, 32÷16384 ms,
-*Tempi campionamento:* da 16 µs a 2 ms
-*Filtri digitali:* Passa alto (25÷400 Hz) Passa Basso (100÷250 Hz)
Notch (50÷180 Hz)
-*Attivazione filtri:* in acquisizione o manualmente
-*Trigger:* inibizione impulsi dovuti a rimbalzi

Importanti funzioni dello strumento sono:

- *possibilità di sommatoria, con/senza previsualizzazione totale/parziale;*
- *marker fisso o dinamico*
- *Auto Gain Control*
- *Delay Time*
- *Pre e post trigger*
- *Noise monitor*
- *Trace size automatica o manuale per ogni canale*

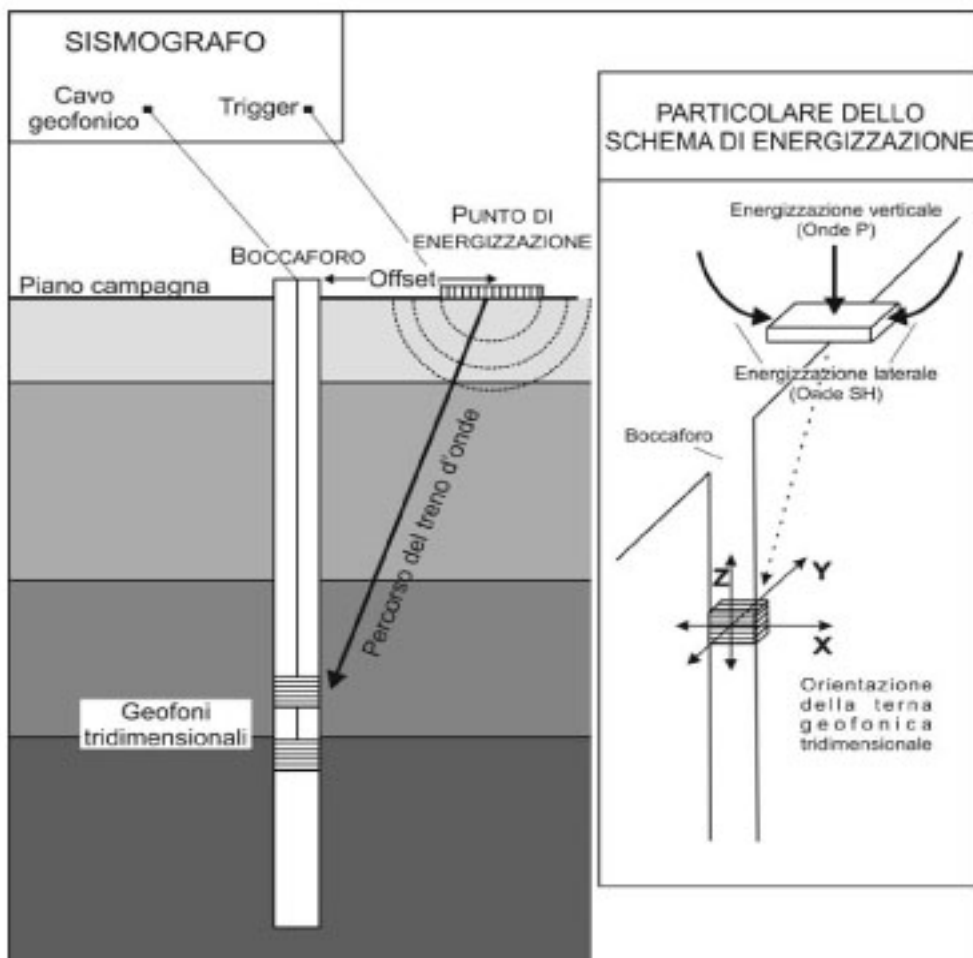
Successivamente, dopo aver computerizzato i dati con un programma specifico (Sismopc), è possibile rivedere i segnali e quindi eventualmente filtrarli od amplificarli per una più corretta acquisizione dei tempi d'arrivo. La velocità di propagazione delle perturbazioni, indotte energizzando il suolo con i sistemi suddetti, dipende dalle caratteristiche meccaniche di un determinato litotipo ed in particolare dai moduli elastici di: Young, Poisson, d'incompressibilità, di rigidità e dalla densità. Il metodo sismico a rifrazione in foro, fornisce risultati correlabili a modelli sismostratigrafici, che presentano una precisione accurata, tanto più le condizioni di esecuzione della prova in foro, si avvicinano alle seguenti:

- Il volume di terreno interessato sia stratificato orizzontalmente e che all'interno di ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare sufficientemente elastico, omogeneo ed isotropo.
- Utilizzo di tubature ad alta impedenza alle vibrazioni, (alluminio o PVC).
- Perfetta cementazione dell'intercapedine foro-tubatura di rivestimento, all'interno della quale viene ancorato il geofono tridimensionale.

METODOLOGIA SISMICA DOWN-HOLE

La prova sismica Down-Hole, è eseguita con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette, che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità, energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo).

Nel primo caso sono generate prevalentemente onde di compressione (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z). Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde SH) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y).



(schema semplificato di un'indagine Down-hole)

Il sistema di ricezione, costituito da un geofono tridimensionale da foro ad ancoraggio pneumatico, viene calato nel foro, sino alla profondità massima di investigazione e progressivamente sollevato dell'interdistanza propria di ciascuna indagine (nel caso in esame 2 m).

Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle di compressione e quindi raggiungeranno il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda di compressione è già transitato.

Questo passaggio purtroppo costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale o di taglio.

Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda di compressione e l'energia dell'onda trasversale (di taglio) a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto.

La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni, riduce sensibilmente la componente di compressione presente nel segnale.

La misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche deve essere realizzata con precisione e con un dettaglio non superiore al decimo di millisecondo.

L'analisi interpretativa dei dati, prevede un sismogramma per le forme d'onda relative al geofono verticale (asse z) e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali (assi x e y).

Poiché i geofoni orizzontali sono due (e posizionati tra loro a 90°) e il sismogramma uno solo, è necessario che le forme d'onda vengano fra loro composte secondo un certo angolo ϑ (diverso da 90°) che viene opportunamente modificato dal programma di interpretazione per cercare il piano di oscillazione principale dell'onda di taglio.

La progressiva modifica dell'angolo di composizione tra x e y, accompagnata dalla grafica in tempo reale della forma d'onda composta, consente di individuare quel valore dell'angolo ϑ per il quale è minima l'energia dell'onda di compressione e massima quella dell'onda trasversale.

Questo valore dell'angolo di composizione, diverso per ciascuna profondità, viene utilizzato per la creazione del sismogramma riguardante le onde di taglio.

DATI CONCLUSIVI DELLA PROVA SISMICA DOWN HOLE

In queste particolari indagini, le acquisizioni sono state eseguite utilizzando una catena con geofono tridimensionale da foro, ad ancoraggio pneumatico, azionabile dalla superficie, sensibile sia alle onde di compressione sia a quelle di taglio, con spaziature delle singole misure di 1 m.

Va ricordato che nella sismica in foro, non sempre gli spessori di strati con velocità sismica omogenea, coincidono con quelli delle stratificazioni rilevate nella perforazione, poiché si possono individuare orizzonti contraddistinti da caratteristiche elastiche mediamente costanti che potrebbero essere comuni a litotipi simili.

Per contro la metodologia di prova down-hole, come d'altronde altre tecniche di rilevazione sismica in foro, presenta in rapporto alle prospezioni sismiche di superficie di rifrazione, il vantaggio non indifferente di consentire la rilevazione delle velocità sismiche, senza che queste ultime debbano necessariamente aumentare con la profondità.

Ciò consente di valutare eventuali inversioni di velocità, all'interno anche di un omogeneo strato o pacchi di strati ad analogo grado di consistenza incontrati durante la perforazione ed evidenziare quindi "fasce di debolezza" presenti a differenti profondità, lungo la stessa verticale di prova.

I punti di scoppio (o di energizzazione) delle onde di compressione (onde P) e la trave di battuta per l'energizzazione polarizzata delle onde di taglio (onde S), orientata perpendicolarmente al raggio del foro sono stati ubicati come indicato in tabella e riportato nella scheda.

Down-Hole	Distanza energizzazione onde P m	Distanza energizzazione onde S m
DH_1	3,30	3,30

In base a quanto sopra, sono quindi state calcolate le rispettive velocità di trasmissione delle onde Vp e Vs.

I dati delle singole misure effettuate, sono opportunamente tabulati in funzione della profondità, per ogni singola verticale d'indagine e diagrammati come sotto indicato:

- *profondità/dromocrona tempi d'arrivo (onde P e onde SH),*
- *profondità/velocità di pseudo-intervallo (onde P e onde SH),*

Quest'ultimo diagramma comparativo, evidenzia le differenti velocità (onde P e onde S) in funzione della profondità di prospezione.

Si può quindi operare, con raffronto diretto, la comparazione tra andamento delle velocità sismiche e la colonna stratigrafica semplificata, del sondaggio geognostico del punto di prova (cfr. schede allegata: Prova sismica in foro Down Hole).

Nella scheda elaborazione sono riportate:

- Profondità
- Tempi di arrivo delle onde P
- Tempi di arrivo delle onde S (media)
- Velocità delle onde P
- Velocità delle onde S
- Stratigrafia sintetica del sondaggio
- Diagramma Tempi/profondità onde S e P
- Diagramma Velocità/profondità onde S e P

Nella scheda parametri sono inoltre riportati anche:

- Coefficiente di Poisson dinamico

- Modulo di elasticità dinamico
- Modulo di taglio dinamico
- Modulo di compressibilità dinamico

I parametri dinamici sono stati calcolati mediante le seguenti formule:

$$\nu = \frac{0.5(V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad K = \gamma[V_p^2 - 4/3V_s^2] \quad G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$E = V_s^2 \cdot \gamma[(3V_p^2 - 4V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)]$$

tempi misurati s1				Vs media (sec)
m	Vp (sec)	Vsx (sec)	Vsy (sec)	(Vsx+Vsy)/2
1	0.0141	0.021	0.0196	0.0203
3	0.0153	0.0254	0.0276	0.0265
5	0.0158	0.0285	0.0359	0.0322
7	0.0166	0.0407	0.047	0.04385
9	0.0175	0.0515	0.0531	0.0523
11	0.0184	0.061	0.061	0.061
13	0.0193	0.0674	0.0658	0.0666
15	0.0203	0.0769	0.076	0.07645
17	0.0216	0.0806	0.0839	0.08225
19	0.0225	0.0864	0.0898	0.0881
21	0.0238	0.0964	0.097	0.0967
23	0.0251	0.1024	0.1001	0.10125
25	0.0263	0.1115	0.1092	0.11035
27	0.0275	0.116	0.1152	0.1156
29	0.0285	0.1226	0.128	0.1253
31	0.0297	0.1329	0.137	0.13495
33	0.031	0.1388	0.1453	0.14205
35	0.032	0.1426	0.1495	0.14605
37	0.0331	0.1506	0.1521	0.15135
39	0.0344	0.158	0.1619	0.15995
41	0.0358	0.1649	0.1641	0.1645
43	0.037	0.1703	0.1747	0.1725
45	0.0383	0.1769	0.1769	0.1769
47	0.0401	0.18	0.1863	0.18315
49	0.0414	0.1882	0.1912	0.1897
51	0.0427	0.192	0.196	0.194
53	0.0438	0.1995	0.1973	0.1984
55	0.045	0.2025	0.2025	0.2025
57	0.046	0.2086	0.2064	0.2075
59	0.047	0.2131	0.2093	0.2112
60	0.0475	0.2149	0.2109	0.2129

VALUTAZIONE DEL SUOLO DI FONDAZIONE (AZIONE SISMICA DI PROGETTO-V_{S30})

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto sono stati esaminati i dati ottenuti dalla prospezione Down - Hole, che permettono di caratterizzare il sottosuolo basandosi sulla misura diretta dei valori della velocità media delle onde di taglio V_s.

Da tale analisi si sono ottenuti i relativi valori di velocità delle onde V_s, per i vari strati individuati

La determinazione è stata effettuata come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni"*.

Si ricorda che la nuova normativa definisce l'azione sismica di progetto, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale fino ad oggi sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. *Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche*). La classificazione del suolo (*tabella 1*) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove V_{si} e h_i sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello stato i-esimo.

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30 (m/sec)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V _{s 30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s 30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero N _{spt} > di 50 nei terreni a grana grossa e c _u >250 kPa nei terreni a grana fina)	360-800 (N _{spt} >50) (Cu>250 KPa)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s 30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < N _{spt} < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < c _u <250 kPa nei terreni a grana fina)	180-360 (15<N _{spt} <50) 70<Cu<250 KPa)
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s 30} inferiori a 180 m/s (ovvero N _{spt} < 15 nei terreni a grana grossa e c _u <70 kPa nei terreni a grana fina)	<180 (N _{spt} <15) (Cu<70KPa)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con V _{s 30} > 800 m/s)	
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V _{s 30} inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < C _{u30} < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza oppure che includono almeno 3	<100 (10<Cu<20 Kpa)

	m di torba o di argille altamente organiche.	
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	

Tabella1: classificazione del tipo di suolo secondo le “Nuove norme tecniche per le costruzioni” D.M. 14/01/2008 Tabelle 3.2.II (categorie di suolo) e 3.2.III (categorie di suolo aggiuntive) mod.

In base a quanto sopra la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-3-2003 e art. 3.2.1 DM 14-9-05), ai vari strati sismostratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità V_s direttamente misurate, consentendo di ottenere la V_{s30} , cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall’espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove

h_i = spessore dello strato i -esimo

V_{s_i} = velocità onde S nello stato i -esimo

N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti una velocità V_{s30} di:

velocità calcolata da -1 a -31 m da p.c.

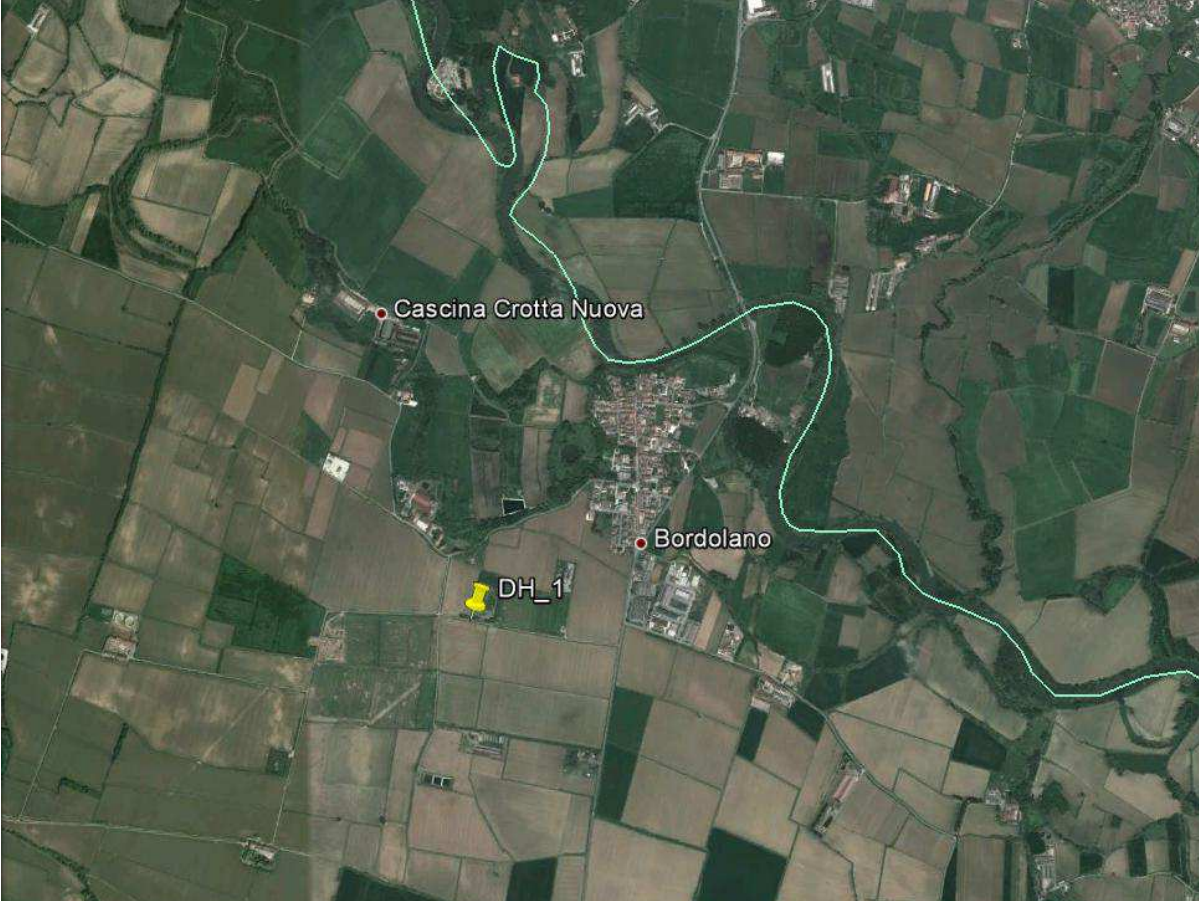
$V_{s30} = \mathbf{224}$ m/sec

Che corrisponde in tutti e due i casi ad una Categoria del suolo di fondazione di tipo **C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s)

Si ricorda che in base all’art 322 del DM 14 gennaio 2008 la velocità delle V_s 30 va calcolata dal piano di posa delle fondazioni.

ALLEGATI

Fig. 1: Ubicazione area di intervento



Esecuzione prova Down-Hole

Fig. 2: Piazzamento DH_1



Tempi arrivi DH_1

Fig. 3: Tempi di arrivo onde P

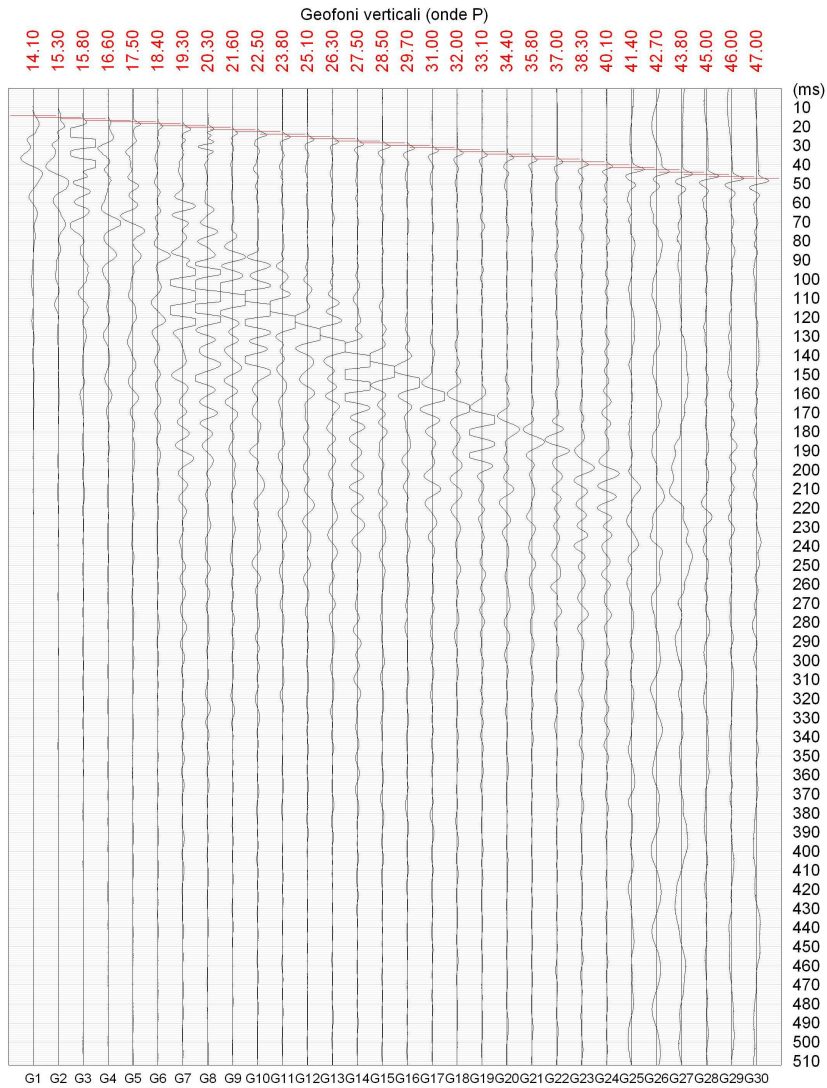


Fig. 4: Tempi di arrivo onde Sx

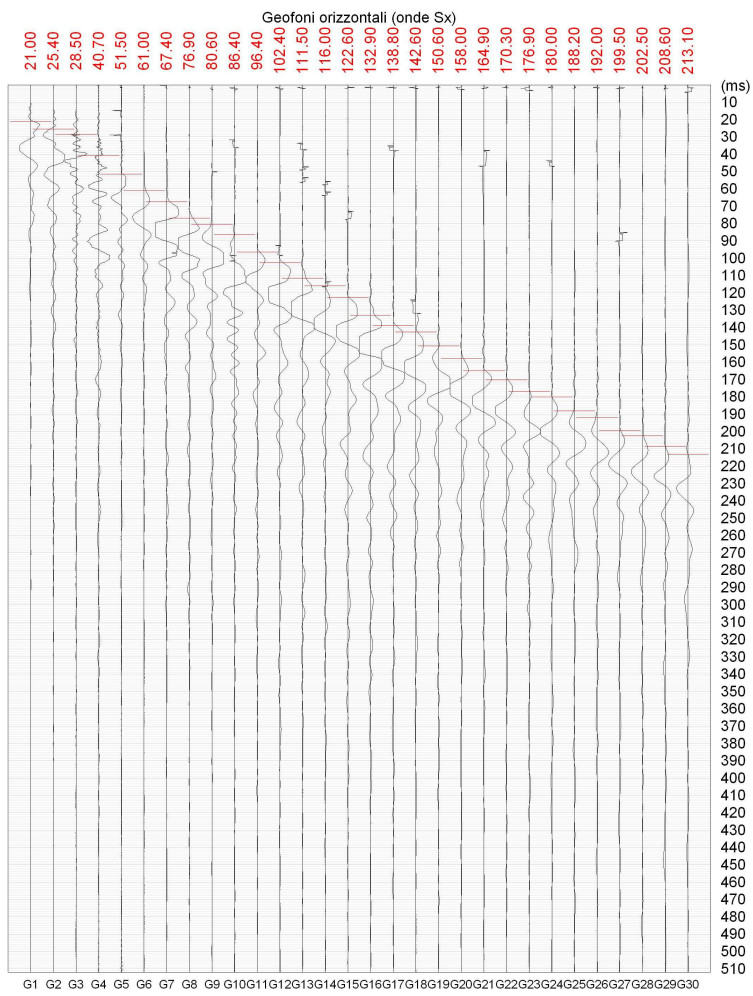
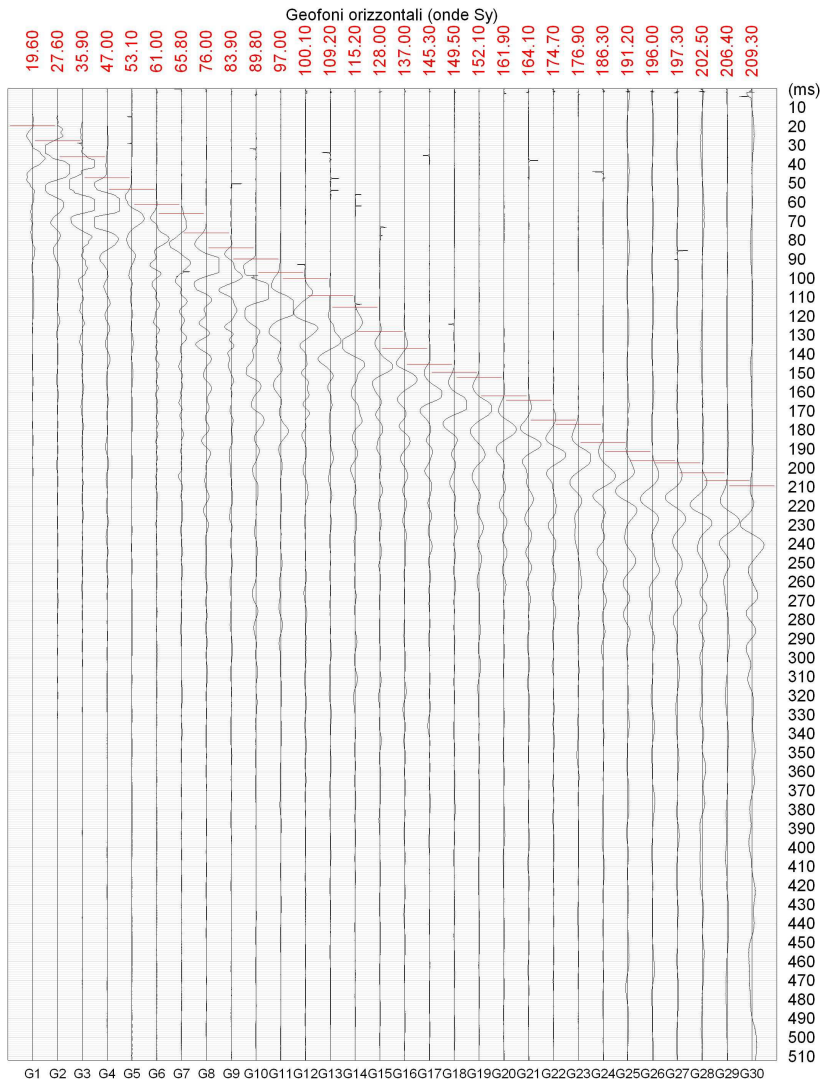
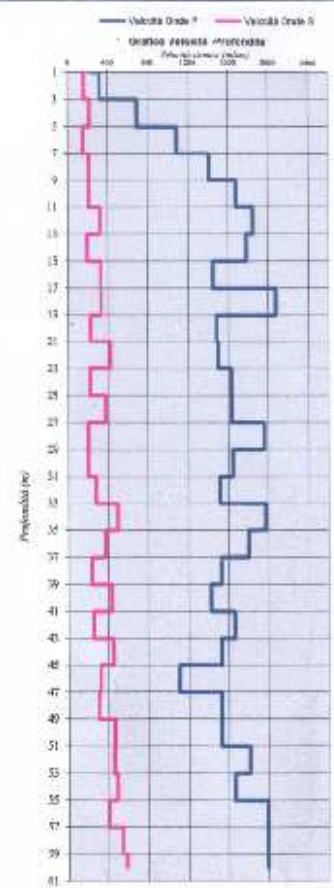
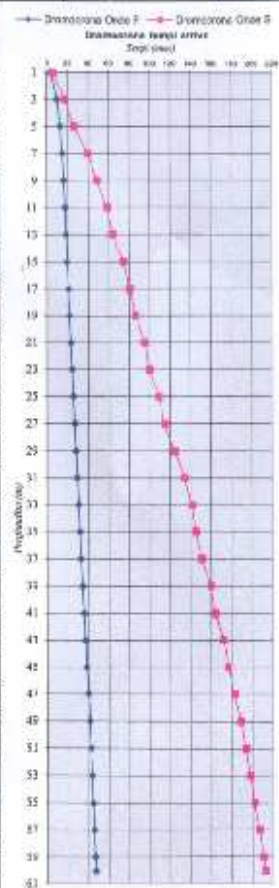


Fig. 5: Tempi di arrivo onde Sy



www.geoandsoft.com

BEDUCCHI GEOTECNICA SRL Via Centro Italia, 1/d 28084 San Daniele Po (CR) tel. 0351.914924/924314				LAVORO: Area Centrale di Bardolano				PROVA SISMICA IN FORO DOWN-HOLE				COMMITTENTE: STOGIT									
Sondaggio S1				Tavola 1_A																	
Strumentazione: VASI 16824P geofono da foro riciclato onale				Località: Bardolano (CR)				offset: m = 3,3		onda P		onda S		Faglia: 14,5		Data: 04/07/2013		Velocità calcolata da T e d in m/s		V _{max} = 224 m/sec	
Prof. m	T _e (onda P) msec	T _e (onda S) msec	d m	Amplitudine (msec)		Velocità Sismica		Stratigrafia simb. S16	IVs	Direzionale Onde P		Direzionale Onde S		Velocità Onde P		Velocità Onde S					
				onda P	onda S	onda P	onda S			onda P	onda S	onda P	onda S								
				msec	msec	m/sec	m/sec			Temp (msec)	Temp (msec)	Temp (msec)	Temp (msec)	Temp (msec)	Temp (msec)	Temp (msec)					
0.0																					
1.00	15.10	20.30	3.45	4.059	5.887	245	170														
2.00	15.20	20.50	4.40	10.282	17.624	322	168														
3.00	15.80	22.20	5.99	15.587	26.874	391	221														
4.00	15.80	43.85	7.76	16.045	36.662	394	156														
5.00	17.50	22.30	9.29	16.487	45.101	1413	212														
6.00	18.40	41.00	11.48	17.624	58.427	1578	214														
7.00	19.20	35.52	13.41	18.707	64.252	1347	327														
8.00	23.20	78.45	18.38	19.828	74.664	1787	195														
9.00	21.00	32.25	17.52	21.209	85.742	1451	329														
10.00	22.50	35.10	19.28	22.788	88.001	2075	330														
11.00	35.80	24.70	21.28	23.371	88.533	1488	329														
12.00	33.10	101.20	23.24	24.848	700.324	1488	420														
13.00	25.20	116.20	25.22	26.074	730.451	1528	218														
14.00	27.50	118.80	27.22	27.287	716.745	1535	374														
15.00	28.50	128.20	28.18	28.377	736.487	1360	205														
16.00	22.70	134.56	21.18	28.532	736.797	1545	206														
17.00	31.00	142.08	22.18	29.246	741.345	1523	280														
18.00	22.00	148.00	22.18	29.886	746.422	1375	483														
19.00	22.10	151.20	27.12	29.996	750.732	1501	374														
20.00	24.40	158.56	22.14	34.278	759.330	1528	232														
21.00	23.80	164.50	41.12	35.628	763.970	1421	436														
22.00	27.00	172.50	43.12	35.850	771.284	1657	249														
23.00	32.20	178.50	45.12	38.197	776.420	1532	451														
24.00	40.10	143.18	47.12	45.000	782.700	1109	319														
25.00	41.80	164.70	49.11	47.208	789.271	1533	304														
26.00	42.70	194.00	51.11	42.811	795.900	1033	463														
27.00	45.80	188.40	53.10	43.711	788.017	1811	452														
28.00	45.00	202.50	55.10	44.812	793.126	1681	495														
29.00	46.00	207.50	57.10	45.623	807.169	1992	399														
30.00	47.00	211.20	59.08	46.527	845.076	1983	528														
31.00	47.50	212.80	62.08	47.434	819.679	1993	526														





**petroleum
engineering
group**

A graphic element consisting of three horizontal red bars stacked vertically, with a black vertical bar extending downwards from the center of the top bar.

CONTRATTO DI RICERCA TRA IL
POLITECNICO DI TORINO – DIATI e STOGIT – Unità GIAC

CAMPO DI BORDOLANO

**Rapporto tra campo di
stoccaggio e sorgenti
sismogenetiche**

Gennaio 2020

Sulla base dei risultati degli studi del progetto di ricerca DISS (Database of Individual sismogenic sources, INGV), il sito di Bordolano non risulta interessato da sorgenti sismogenetiche, come evidenziato nella figura 1 (in blu la proiezione in superficie della posizione originale del contatto gas-acqua originale e in arancione la proiezione in superficie delle faglie sismogenetiche composite).

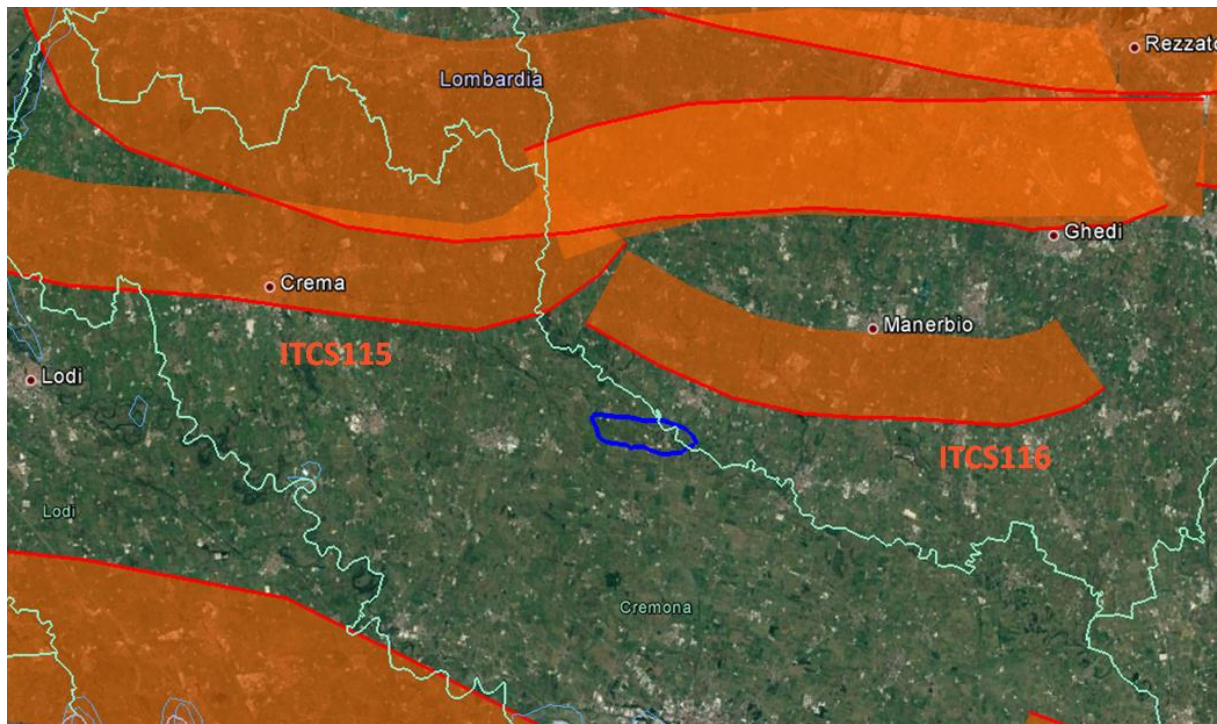


Fig 1. Proiezione in superficie del giacimento di Bordolano e sorgenti sismogenetiche presenti nel database DISS-INGV.

La Sorgente Sismogenica Composita ITCS116 citata, la più prossima all'area del giacimento di Bordolano, si trova a una distanza in pianta di circa 3 km a nord del giacimento, distanza ancor maggiore se si considera la profondità. Le ultime versioni dello studio DISS 3.2.0 (2015) e 3.2.1 (Aprile 2018), evidenziano una maggiore distanza tra l'area del giacimento e la proiezione in superficie della sorgente rispetto a quanto era stato definito dalle precedenti versioni, in cui le sorgenti erano comunque ubicate a debita distanza dai limiti del giacimento.

A tal riguardo si precisa che, secondo quanto definito da INGV, "le Sorgenti Sismogenetiche Composite ("Composite Seismogenic Sources" - CSS), sono identificate dall'involuppo di lineamenti tettonici non sempre ben definiti singolarmente; pertanto la loro caratterizzazione sismotettonica, soprattutto in termini di magnitudo attesa, presenta ampi margini di incertezza. La loro istituzione è stata concepita soprattutto al fine di integrare le informazioni sulle potenziali sorgenti di terremoti in relazione a valutazioni in termini probabilistici del rischio sismico e allo studio di processi geodinamici a scala regionale".

Nel database DISS, la sorgente composita ITCS116 rappresenta quindi un insieme di lineamenti tettonici appartenenti al fronte più esterno dell'arco sudalpino sepolto sotto i sedimenti della Pianura Padana e descritti in letteratura da diversi autori (e.g. Fantoni et al., 2004; Livio et al., 2009). Tale

sorgente composita corrisponde, nell'area di interesse a nord del giacimento, alla faglia denominata CCT (Capriano del Colle Thrust), un sovrascorrimento profondo a vergenza alpina descritto da Livio et al. (2009, 2014) mostrato nella sezione sismica NE-SO riportata nella fig. 2 e, in termini di distanza secondo le interpretazioni più recenti, risulta coerente con i modelli strutturali già definiti a partire dal 2004 (esempio Fantoni e al., 2004). Data la vicinanza tra il giacimento e la sezione sismica, quest'ultima può essere considerata rappresentativa per un confronto diretto tra la posizione del giacimento e la posizione della faglia denominata CCT: essa appare estendersi fino a una profondità minima di circa 3500 m, quindi si trova in una posizione ben più profonda del giacimento.

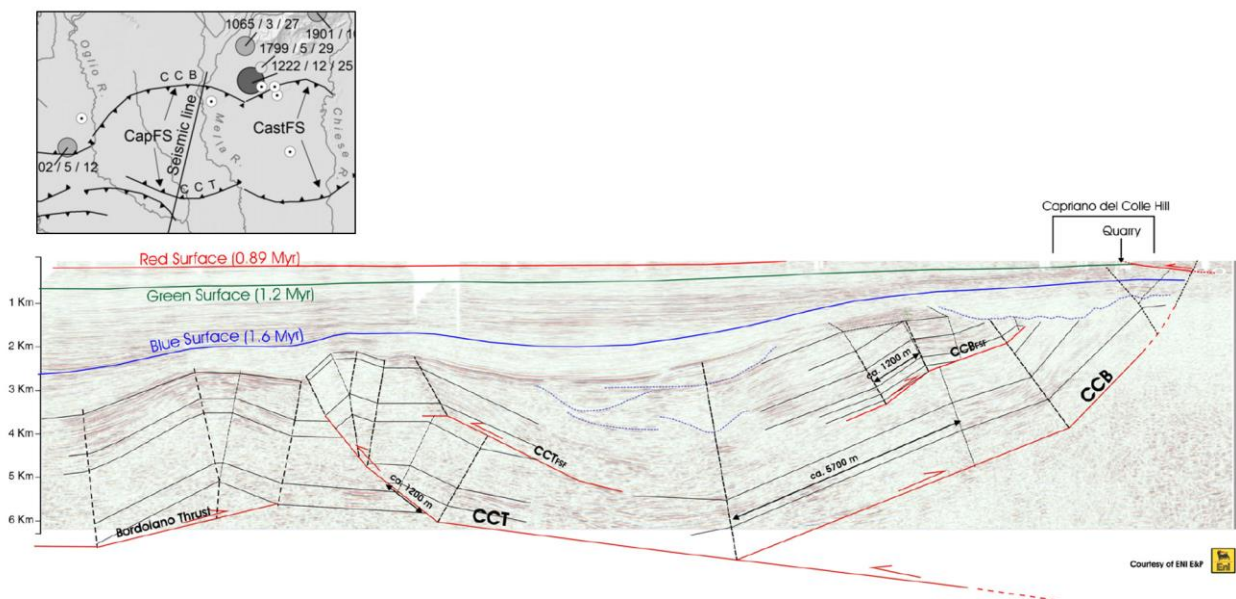


Fig. 2 Sezione sismica (direzione NNE-SSO) interpretata in prossimità del giacimento di Bordolano, (figura mod. da Livio et al., 2009).

Bibliografia

DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Fantoni, R., Bersezio, R., & Forcella, F. (2004). Alpine structure and deformation chronology at the Southern Alps-Po plain border in Lombardy. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 123(3), 463–477.

Livio, F.A., Michetti, A.M., Sileo, G., Zerboni, A., Trombino, L., Cremaschi, M., Mueller, K., Vittori, E., Carcano, C., Rogledi, S., (2009). Active fault-related folding in the epicentral area of the December 25, 1222 (lo=IX MCS) Brescia earthquake (Northern Italy): seismotectonic implications. *Tectonophysics* 476 (1), 320–335.

Livio F.A., Berlusconi A., Zerboni A., Trombino L., Sileo G., Michetti A.M., Rodnight H and c. Spotl (2014). Progressive offset and surface deformation along a seismogenic blind thrust in the Po Plain foredeep (Southern Alps, Northern Italy). *J.Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 7701-7721. Doi: 10.1002/2014JB011112



PROCEDURA DI RIAPERTURA DEL PROCEDIMENTO VIA (ID_VIP:4864)

CONCESSIONE BORDOLANO STOCCAGGIO

RISPOSTE STOGIT AD OSSERVAZIONI SIG. CORRADI

Premessa

Preliminarmente si rileva che le osservazioni presentate non provengono dai Comuni di Azzanello e Verolavecchia, gli unici soggetti titolati a presentare osservazioni nell'ambito dell'odierno procedimento in quanto titolari di posizione giuridico soggettiva sostanziale differenziata e qualificata – nel predetto procedimento – che è stata riconosciuta con parere n. 1901 del 27 giugno 2019 del Consiglio di Stato, recepito con decreto del Presidente della Repubblica del 16 settembre 2019, e con nota MATTM prot. U. 0028389 del 29 ottobre 2019 con cui è stato *riaperto* il procedimento di VIA.

Si rileva altresì che il contenuto delle osservazioni è per la gran parte riferito a fatti e argomentazioni riguardanti un periodo di tempo successivo al 2009, che è il momento in cui si era svolta la consultazione con le relative partecipazioni dei soggetti interessati e a cui deve farsi riferimento in virtù degli effetti conformativi sanciti dal citato parere del Consiglio di Stato.

Fatto salvo quanto sopra rappresentato, che di per sé comporta la qualifica delle osservazioni del sig. Corradi come pervenute da soggetto non titolato alla presentazione, Stogit, in un'ottica di fattiva collaborazione, trasparenza e correttezza del proprio operato procederà di seguito a controdedurre a tali osservazioni che, come si potrà evincere, sono infondate nonché, anche e comunque, per la gran parte superate, datate e parziali rispetto all'attualità.

Punto A: verifica delle specifiche di progetto del sistema di monitoraggio

OSSERVAZIONE

Si ritiene pertanto che tutta la raccolta dei dati relativi al periodo citato non goda delle necessarie garanzie richieste nelle prescrizioni.

RISPOSTA

Decreto DVA-DEC-0001633 del 12.11.2009

A8) Dovrà essere predisposta a carico del Proponente una rete di monitoraggio dei potenziali disturbi microsismici prodotti dall'esercizio dell'impianto; le stazioni, la strumentazione e il programma di misure dovranno essere concordati con ARPA Lombardia.



Decreto DVA-2014-0014583 del 16.05.2014

- 1) *Il progetto della rete di monitoraggio microsismico di cui alla premessa dovrà essere reso coerente alle indicazioni di seguito esposte; qualora dovessero presentarsi delle difficoltà e/o difformità rispetto alle stesse nella realizzazione della predetta rete dovrà essere data tempestiva informazione al Ministero dello Sviluppo Economico ed al Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare.*

A spese del Proponente:

- a) *dovrà essere predisposta una rete di monitoraggio microsismico (secondo le indicazioni progettuali presentate dal proponente stesso), condivisa dalle strutture competenti indicate dalla o dalle regioni interessate, in grado di determinare la massima accelerazione del suolo provocata da un terremoto riconducibile alle attività di stoccaggio, ed in grado di ubicare i sismi fino a Magnitudo paria a 0.9; a tale rete dovrà essere associato un sistema di riconoscimento ed ubicazione degli eventi, anche tramite le «forme d'onda», tale da consentire una valutazione in tempo sufficientemente breve della microsismicità significativa;*

Come da prescrizioni sopra riportate dei Decreti VIA 2009 e 2014, il programma di monitoraggio è stato concordato con ARPA Lombardia e con lettera prot. N. 254 del 02.03.2015 è stato approvato il piano di monitoraggio aggiornato ad ottobre 2014, a seguito dell'emissione del provvedimento prot. DVA-2014-0014583 del 16.05.2014 che ha modificato il provvedimento di esclusione dalla procedura di VIA n. DVA-2013-0018804 del 08.08.2013 (e nello specifico la prescrizione n. 1 sopra riportata).

La scrivente ha provveduto a trasmettere i risultati relativi ai monitoraggi microsismici effettuati fino al 2015 ad ARPA Lombardia e da tale data in avanti al MATTM ed in copia conoscenza ad ARPA Lombardia e Comune di Bordolano. In occasione della prima trasmissione al MATTM è stata fornita tutta la documentazione già trasmessa ad ARPA Lombardia negli anni precedenti.

In data 22.02.2019 il MATTM ha rilasciato con Provvedimento Direttoriale prot. n. 00000054 la verifica di ottemperanza alle prescrizioni microsismiche A.8) del Decreto VIA – DM 0001633 del 12.11.2009 e 1) del DVA-2014-0014583 del 16.05.2014.

Punto B: validazione dei dati sismici raccolti

OSSERVAZIONE

Pare necessario quindi il coinvolgimento di un ente sismico specializzato in grado di valutare non solo il progetto (Vedi punto A), ma in correlazione con esso, i dati forniti in un certo periodo dagli strumenti e quelli di funzionamento dell'impianto.

RISPOSTA

Stogit dispone del modello geologico-strutturale del sottosuolo dell'area di interesse sulla base del quale è stato progettato il sistema di monitoraggio microsismico del campo di Bordolano.

Ad oggi non è stato rilevato alcun evento microsismico riconducibile all'attività di stoccaggio e solo in caso di effettiva registrazione e localizzazione di un evento sismico in prossimità del giacimento si procederà con un'analisi di correlazione con i dati di funzionamento dell'impianto. Si fa inoltre presente che Stogit ogni anno invia agli enti ministeriali e, per conoscenza, ad ARPA Lombardia i risultati dei monitoraggi in ottemperanza alle prescrizioni ministeriali.



Gestione della sicurezza sismica

OSSERVAZIONE

Non risulta che tale monitoraggio sia condotto secondo i criteri di terzietà suggeriti.

RISPOSTA

Il sistema di monitoraggio microsismico Stogit garantisce attualmente il monitoraggio in coerenza con i tempi prescritti.

Si precisa che gli "Indirizzi e Linee Guida per i monitoraggi" (di seguito ILG) attualmente non hanno valenza prescrittiva per i campi di stoccaggio come Bordolano e la loro applicazione non è quindi vincolante.

Ciò premesso gli ILG prevedono che siano condotte delle sperimentazioni su campi pilota (uno di stoccaggio, uno di produzione primaria e uno geotermico). Stogit si è resa volontariamente disponibile in accordo con il Ministero dello Sviluppo Economico e la Regione Emilia-Romagna a sperimentare gli ILG su un proprio campo di stoccaggio (Minerbio) per oltre due anni. I risultati della sperimentazione saranno utilizzati per un aggiornamento e un adeguamento degli ILG stessi i quali pertanto si devono considerare non definitivi.

INGV, avente il ruolo di SPM (struttura preposta al monitoraggio), ha accertato che:

- non è stato registrato alcun evento microsismico riconducibile all'attività di stoccaggio;
- *".. il numero e il posizionamento delle stazioni sismiche consentono infatti, sulla base delle simulazioni effettuate e delle registrazioni ottenute nel corso del progetto, di raggiungere pienamente gli obiettivi prefissati.."*

I criteri utilizzati per la progettazione e la realizzazione della rete microsismica di Bordolano sono analoghi a quelli utilizzati per la rete di Minerbio.

Completezza della rete microsismica

OSSERVAZIONE

Dalla comparazione dei due documenti risultano **NON** rilevati dalla rete Stogit, nella stessa area, circa 30 eventi. Per tale motivo si ritiene che il livello di *completezza* del sistema Stogit di rilevamento **NON** sia sufficientemente performante, per ragioni che avrebbero dovuto essere indagate dall'Ente preposto a suo tempo alla verifica del progetto (ARPA?).

RISPOSTA

Come si evince dal testo delle prescrizioni sopra riportate, fino all'emissione del Decreto VIA 2014 sopra citato era richiesto di realizzare un monitoraggio microsismico e di concordarlo con ARPA Lombardia (con prescrizione A8 del Decreto DVA-DEC-0001633 del 12.11.2009), senza specifiche precisazioni in merito alle caratteristiche della rete. Solo dal 2014, con la prescrizione n. 1 del Decreto DVA-2014-0014583 (sopra riportata per comodità di lettura), sono stati introdotti i seguenti parametri che la rete deve essere in grado di soddisfare:



- Soglia di localizzazione con magnitudo minima 0.9 in tutta la proiezione in superficie del limite del giacimento;
- Registrare sismi in un raggio di 5 km dai fondo-pozzo, ovvero 5 km arealmente e fino a circa 7 km in profondità (considerando la profondità media di circa 1,7 km del giacimento) senza limite di magnitudo.

Di seguito il testo completo della prescrizione nella parte afferente al monitoraggio microsismico:

d) la rete microsismica dovrà coprire un'area tale comprendere almeno tutta la proiezione in superficie del giacimento e le stazioni di misura dovranno essere in grado di registrare sismi in un raggio di almeno di 5 km dai «fondo-pozzo». Qualora la microsismicità riconducibile alle attività di esercizio dello stoccaggio eguagli o superi la Magnitudo locale di 3.0, dovranno essere adottati dal soggetto gestore responsabile tutti gli accorgimenti opportuni atti a riportare la Magnitudo Locale massima dei sismi inferiori a 2.0; del problema insorto e di tutte le azioni attivate di conseguenza deve essere fornita una reale quanto immediata informazione agli uffici competenti della Regione (o delle regioni) interessata e dello Stato, i quali dovranno essere indicati nel provvedimento di autorizzazione;

Premesso che la rete di monitoraggio microsismico è stata progettata e realizzata in modo da soddisfare le prescrizioni sopracitate, si evidenzia che:

- **la rete è in grado di ubicare sismi con magnitudo 0.9 nell'area definita dalla proiezione in superficie del giacimento ed è in grado di registrare sismi in un'area di 5 km e di 7 km in profondità;** infatti, i risultati delle simulazioni riguardanti la sensitività della rete di monitoraggio di Bordolano indicano che, ad una distanza tra 5 km e 7 km dal centro del giacimento, la magnitudo locale (ML) minima identificabile per eventi a 5 km di profondità è pari a ML 0.8 nello scenario peggiore e maggiormente cautelativo (con alto rumore) e migliora fino a ML 0.3 negli scenari con rumore più contenuto. Questo risultato indica che la rete ha una sensitività ed una capacità di localizzazione ben superiore (ovvero migliore) di quella richiesta dalle prescrizioni vigenti. Gli approfondimenti in merito alla sensitività della rete sono presenti nel documento redatto dalla società Isamgeo, che si trasmette in allegato, e nelle controdeduzioni alle osservazioni del Comune di Verolavecchia;
- la rete è stata oggetto di apposita approvazione da parte di ARPA Lombardia in ottemperanza alla prescrizione A8 del 2009 e n.1 del 2014;
- in tutto il periodo dicembre 2013 – dicembre 2018 la rete Stogit non ha registrato alcun evento sismico nell'area di interesse oggetto della prescrizione ministeriale (*“registrare sismi in un raggio di almeno di 5 km dai fondo pozzo”*), in accordo non solo con la rete nazionale INGV ma anche con la stessa rete OGS e con la rete della Provincia Autonoma di Trento (PAT). Inoltre, non è stato registrato alcun evento microsismico anche nell'area più estesa fino a 12 km, superiore quindi alle estensioni massime dei domini definiti negli “Indirizzi e Linee Guida per i monitoraggi” (ILG) emessi dal MiSE. Anche in questo caso, ulteriori approfondimenti sono presenti nel documento in allegato redatto dalla società Isamgeo;
- il sistema di monitoraggio microsismico di Stogit è concepito per rilevare eventi microsismici nell'ambito del dominio prescritto e, pur potendo rilevare eventi sismici con soglie differenziate in funzione della distanza, non ha la funzione principale di registrare la sismicità naturale a livello nazionale, compito proprio di enti pubblici quali INGV.



Si precisa che la rete, avviata nel dicembre 2013 e costituita inizialmente da 3 stazioni, aveva l'unica funzione di registrare il rumore di fondo e la sismicità naturale dell'area (periodo di bianco). Pertanto, il confronto in merito alla reale potenzialità della rete può essere effettuato solo a partire dal dicembre 2016, anno in cui è stata completata con 7 stazioni, in concomitanza con l'entrata in esercizio dell'operatività della centrale di Bordolano.

Dall'entrata di esercizio della centrale di Bordolano, la rete Stogit non ha registrato alcun evento sismico nel raggio di 25 km (ben superiore al dominio prescritto), in accordo non solo con quanto registrato dalla rete nazionale INGV ma anche con la stessa rete OGS.

Di conseguenza, la rete Stogit rispetta le prescrizioni vigenti ed è in grado di registrare eventi a distanze maggiori dell'area di interesse con soglie di magnitudo crescenti in funzione della distanza dalla rete. Ciò, benché non sia di interesse ai fini del monitoraggio dell'attività di stoccaggio, a dimostrazione della validità della rete stessa.

Riferimento: Isamgeo – Concessione di Bordolano - Valutazione delle performance della rete di monitoraggio microsismico. Tale documento viene trasmesso in allegato.

Flowlines vs. pipelines – livelli delle fonti normative

OSSERVAZIONE

Si osserva quindi che la posa delle flowlines su particelle private e/o pubbliche a diretto contatto della popolazione dovrebbe essere rivista in funzione della normativa Seveso (e non invece del DM 17-04-2008) al fine di considerare opportunamente l'oggettivo livello di rischio presente in corrispondenza delle flowlines e le estensioni delle aree a forte rischio, anche in funzione della logistica dei mezzi di soccorso nei Piani di Emergenza Esterna.

RISPOSTA

Si fa presente che la Direzione Centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica, Area rischi industriali del Dipartimento Vigili del Fuoco del soccorso pubblico e della difesa civile, a fronte di specifico quesito, afferente l'assoggettabilità al D. Lgs. n.334/1999 delle condotte che trasportano sostanze pericolose esterne ai confini di stabilimento, ha evidenziato che: *".. qualora esiste una norma verticale (per i metanodotti decreti del Ministero dello Sviluppo Economico 16 aprile 2008 e 17 aprile 2008) si ritiene sufficiente la dimostrazione che le condotte rispettano tale norma intendendo che l'analisi di rischio è stata effettuata dal legislatore a monte della elaborazione delle suddette norme.."*

Le condotte dell'impianto di Bordolano rispettano tale decreto.



30.DIC.2011 12:51 067187766

AREA RISCHI INDUSTRIALI

#4384 P.001 /003


MOD.4 VFC

MODULARE
INTORNO-281



Ministero dell'Interno

DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO, DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE
DIREZIONE CENTRALE PER LA PREVENZIONE E LA SICUREZZA TECNICA
AREA RISCHI INDUSTRIALI

 Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile
DCPREV
REGISTRO UFFICIALE - USCITA
Prot. n. 0017270 del 30/12/2011
773/032101.01.15.04A4R1. Prevenzione Incendi per attività R.I.R.

Alle Direzioni Regionali Vigili del Fuoco
LORO FAX (n° 3 pagine)

Al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare -- D.V.A. - Divisione Rischio Industriale
fax 06-5722.5087

Al Ministero Sviluppo Economico
Dipartimento per l'Energia - D.G.R.M.E.
fax 06-47.88 7802

per conoscenza: All'Ufficio del Capo del CNVVF
fax 06-4654.9837

OGGETTO: Attività a rischio di incidente rilevante. Assoggettabilità al DLgs 334/99 delle condotte che trasportano sostanze pericolose esterne ai confini di stabilimento.

Sono pervenuti alla scrivente Direzione Centrale quesiti in merito all'assoggettabilità al DLgs 334/99 e s.m.i. delle pipelines che trasportano sostanze pericolose (generalmente gas naturale o prodotti petroliferi) esterne ai confini di stabilimento. In particolare i CTR chiedono se l'analisi di rischio di tali condotte debba essere inclusa nei Rapporti di Sicurezza.

L'orientamento costante della scrivente Direzione è stato che le condotte, in quanto parte integrante dello stabilimento in base alle definizioni di cui al DLvo 334/99, art.3, comma 1, lettere a) e b), **debbano essere incluse nell'analisi di rischio.**

Tale parere è stato recentemente condiviso dal Ministero Ambiente (cfr allegata nota DVA-2011-0025452 del 10 ottobre 2011).

L'analisi delle condotte nell'ambito dell'istruttoria sul Rapporto di Sicurezza risponde anche ad una esigenza di semplificazione dell'azione amministrativa, in quanto le condotte sono soggette ai controlli di prevenzione incendi (attività n. 6 dell'Allegato I al DPR 1 agosto 2011, n.151), quindi l'esame nel contesto più ampio del CTR consente di coordinare i pareri antincendi dei vari Comandi Provinciali VVF sul cui territorio si sviluppano le condotte.

DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO, DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE

DF
PDN

Ministero dello Sviluppo Economico
Dipartimento per l'Energia
Struttura: DG-RIME
REGISTRO UFFICIALE
Prot. n. 0025862 - 30/12/2011 - INGRESSO



Ministero dell'Interno

DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO, DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE
DIREZIONE CENTRALE PER LA PREVENZIONE E LA SICUREZZA TECNICA
AREA RISCHI INDUSTRIALI

Le condotte, nella maggior parte dei casi preesistenti all'introduzione della normativa Seveso, si estendono spesso per molte decine di chilometri oltre i confini di stabilimento, di conseguenza un'analisi di rischio con metodi probabilistici comporterebbe un eccessivo appesantimento sia per il gestore sia per i gruppi istruttori del CTR. Pertanto, qualora esista una norma verticale, si ritiene sufficiente la dimostrazione che le condotte rispettino tale norma (per i metanodotti, Decreti del Ministero Sviluppo Economico 16 aprile 2008 e 17 aprile 2008), intendendo che l'analisi di rischio è stata effettuata dal legislatore a monte della elaborazione delle suddette norme.

Resta ferma la facoltà dei CTR di richiedere al gestore un approfondimento di analisi in casi complessi, ad esempio in presenza di rischi interferenziali e/o di effetto domino.

Infine, si segnala che la Commissione Europea ha commissionato uno studio per valutare la possibilità di stabilire norme europee sulle pipelines, ma l'attuale orientamento della Commissione è di non includerle nel campo di applicazione della direttiva Seveso III, in fase di elaborazione.

Il Direttore Centrale

Dattilo





Emissioni in atmosfera

Articolo del Prof. NICOLA ARMAROLI – CNR - Bologna

Il Prof. Nicola Armaroli, è chimico, Dirigente di ricerca presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche, Direttore della rivista “Sapere” e membro della Accademia Nazionale delle Scienze.

E' autore, tra l'altro, di un articolo sulla rivista RICHMAC MAGAZINE – novembre 2013 che, pur incentrato sulle emissioni delle centrali turbogas, evidenzia le criticità e gli effetti sulla salute della combustione del metano in generale connessa alla produzione di NOX e particolati.

(Vedi Allegato4)

OSSERVAZIONE

Effetti sulla salute non sufficientemente evidenziati nella documentazione del “Progetto Bordolano – Stogit 2008”, uniti alla grave lacuna causata dalla assenza di una Valutazione di Incidenza Sanitaria (V.I.S.). Si rileva che, secondo i dati Stogit (AIA), dagli impianti di Centrale vengono emessi fumi per 4.190.000.000 m³/anno alla temperatura di 530 °C e di 190ton/anno di NOX e 160ton/anno di CO. Tali emissioni pare vengano disperse da camini di altezza 12m, poco adatti a disperdere su una più ampia superficie, rispetto all'abitato di Bordolano, le sostanze prodotte.

OSSERVAZIONE

Si segnala anche una fortissima emissione di gas metano (309.000 m³/anno incombusti) per effetto delle c.d. “emissioni fuggitive”, che, è ormai noto rappresentano alcune delle principali cause dell'aumento del CH₄ nell'atmosfera. Tali perdite risultano di alcune decine di volte più dannose (effetto serra) delle già allarmanti quantità di CO₂ prodotte.

RISPOSTA

Per quanto riguarda l'articolo del Prof. Armaroli sulle emissioni di polveri dai turbogas, si evidenzia che i turbocompressori (TC) di Stogit non sono paragonabili con una centrale termoelettrica.

Nell'articolo si indica che una centrale termoelettrica consuma circa 1 miliardo di mc di gas, mentre tutte le 9 centrali di Stogit in totale consumano gas per un ordine di grandezza inferiore (nel 2018 le TC di Stogit hanno consumato circa 142 milioni di mc, mentre quelle di Bordolano hanno consumato circa **9,4** milioni di mc, **ossia con consumi di solo 1% rispetto ad una centrale termoelettrica**). Pertanto, tutti i numeri dell'articolo non sono assolutamente paragonabili alle quantità generate dagli impianti Stogit.

Nel SIA del progetto di Bordolano le valutazioni sulla salute sono riportate al capitolo 9, dove si evidenzia la non significatività dell'impatto della nuova centrale. La VIS non è prevista per la tipologia del progetto di Bordolano in quanto, come indicato dall'art. 23 comma 2 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., è necessaria solo per determinate tipologie di progetto e livelli di potenza che non si riscontrano in tutti gli impianti Stogit (esempio: centrali termiche e altri impianti di combustione di potenza termica superiore a 300 MW).

Sono errate le affermazioni riportate in merito ai dati AIA (vedi tabelle seguenti estratte dall'AIA):

- solo la TC3 può raggiungere temperature di 530 °C
- anche considerando le massime portate fumi di tutte le apparecchiature della centrale per il numero massimo di ore/anno¹, non si ottiene la portata fumi di 4,19 miliardi di mc;
- le altezze dei camini non sono di 12 m

¹ Si ricorda che l'esercizio dei Turbocompressori negli impianti di Stoccaggio viene effettuato di norma nella stagione primaverile estiva e che non implica l'utilizzo simultaneo delle tre macchine.



I dati corretti sono riportati nelle tabelle a seguire estrapolate dal decreto AIA (n° 1117 del 25/11/2015). La coerenza di quanto progettato ai fini della qualità dell'aria è stata confermata non solo dalle simulazioni di progetto ma anche dalle campagne di misurazione ante e post operam.

N. ordine attività	Sigla emissione	Provenienza		Durata		Temp °C	Inquinanti monitorati	Sistemi di abbattimento	Altezza camino (m)	Sezione camino (m ²)
		Sigla	Descrizione	gg/anno	h/gg					
1	E1	TC1	Turbocompressore a gas	365 ^[1]	24 ^[1]	505	NO _x , CO	/	18	11
1	E2	TC2	Turbocompressore a gas	365 ^[1]	24 ^[1]	505	NO _x , CO	/	18	11
1	E3	TC3	Turbocompressore a gas	180 ^[2]	24 ^[1]	530	NO _x , CO	/	20	12
1	E4	C1	Caldaia	365 ^[1]	24 ^[1]	185	NO _x , CO	/	10	0,785
1	E5	C2	Caldaia	[3]	[3]	185	NO _x , CO	/	10	0,785

Tabella C1 - Emissioni in atmosfera

Note:

- [1]: considerato come periodo massimo teorico.
 [2]: non in funzione durante la fase di erogazione.
 [3]: una sola Caldaia utilizzata nell'arco dell'anno

Sigla emissione	Provenienza		Portata [Nm ³ /h]	Inquinanti	Valore limite [mg/Nm ³]
	Sigla	Descrizione			
E1	TC1	Turbocompressore a gas	125.000	NO _x (espressi come NO ₂)	60 ^[1]
				CO	50 ^[1]
E2	TC2	Turbocompressore a gas	125.000	NO _x (espressi come NO ₂)	60 ^[1]
				CO	50 ^[1]
E3	TC3	Turbocompressore a gas	179.800	NO _x (espressi come NO ₂)	60 ^[1]
				CO	50 ^[1]
E4	C1	Caldaia	19.000	NO _x (espressi come NO ₂)	120 ^[2]
				CO	100 ^[2]
E5	C2	Caldaia	19.000	NO _x (espressi come NO ₂)	120 ^[2]
				CO	100 ^[2]

Tabella E1 - Emissioni in atmosfera

Note:

- [1] I valori limite sono riferiti ad una percentuale di ossigeno libero nell'effluente gassoso pari al 15 %.
 [2] I valori limite sono riferiti ad una percentuale di ossigeno libero nell'effluente gassoso pari al 3 %.

Nel 2018 ad esempio, a fronte di uno stoccaggio di 591 Milioni di Smc, le TC hanno funzionato per un totale di 2475 ore (TC1 per 1296, TC2 per 742, TC3 per 437) e la centrale ha emesso **5,7 ton/anno di NOx** (3% rispetto ai valori massimi richiesti in AIA) e **2,2 ton/anno di CO** (1,4% rispetto ai valori massimi previsti in AIA). I valori effettivi di NOx e CO non solo assolutamente paragonabili con quelli massimi teorici.

Le emissioni fuggitive di gas naturale sono inferiori allo 0,05% del gas naturale movimentato, hanno un peso per l'impianto di Bordolano pari a 0,02% sulle emissioni annue di metano a livello nazionale e Stogit adotta le migliori tecnologie per garantire la massima riduzione di tali emissioni.

Liquefacibilità dei suoli

RISPOSTA

In riferimento alle problematiche riguardanti le possibilità di liquefazione dei suoli, Stogit ha provveduto, in coerenza a quanto riportato nel parere n. 1228 della Commissione Tecnica VIA del 17.05.2013 ed alla prescrizione della Delibera n. 70 del 19.03.2013 della Giunta della Provincia di Cremona richiamata nel Decreto del MATTM DVA-2013-0018804 del 08.08.2013, a presentare al Comune di Bordolano, nell'ambito dell'iter di autorizzazione del Permesso di Costruire, lo studio denominato "Approfondimento rischio sismico e valutazione del potenziale di liquefazione".



Anche a fronte di tale studio, il Comune di Bordolano ha rilasciato il permesso di costruire.

Si riportano di seguito i risultati dello studio:

Le analisi di secondo livello effettuate per le valutazioni degli effetti sismici di sito hanno confermato che la normativa vigente (D.M. 14/01/2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni) è sufficiente a valutare gli effetti di amplificazione sismica dovuti all’assetto litostratigrafico. Infatti, il Fattore di amplificazione F_a calcolato per il sito è minore del corrispettivo valore soglia calcolato dalla Regione Lombardia per il comune di Bordolano. Pertanto, rimane confermata la categoria di sottosuolo C e le verifiche geotecniche agli S.L.U. effettuati in fase progettuale e non sono necessari gli approfondimenti di 3° livello come previsto dalla d.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011.

La valutazione del Potenziale di Liquefazione ha dato esito negativo: i terreni in relazione alla massima magnitudo attesa non sono liquefacibili. Come valore della massima magnitudo attesa si è considerato $M = 6.14$, relativo alla zona sismogenetica più prossima al sito d’interesse (zona 906) nonostante il sito sia esterno a qualsiasi zona sismogenetica. L’attribuzione della massima magnitudo attesa è stata eseguita aderendo agli “indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” proposti dalla Protezione Civile. Le verifiche alla liquefazione, eseguite con il metodo di Seed e Idriss, hanno dato fattori di sicurezza sempre maggiori di 1.3, per cui i terreni risultano non liquefacibili.

I risultati delle analisi di approfondimento confermano la piena fattibilità geologica e geotecnica degli interventi in progetto che risultano compatibili con quella che è la massima sismicità attesa per la zona di cui si è già tenuto conto nelle elaborazioni progettuali che hanno seguito quanto imposto dal D.M 14/01/2008.

Riferimento: Eni-Saipem, 2013 – Campo di Bordolano. Approfondimento rischio sismico e valutazione del potenziale di liquefazione. Tale documento viene trasmesso in allegato.

Stato tensionale del giacimento vs deformazioni del suolo

OSSERVAZIONE

Alla luce di queste considerazioni non pare realistico affermare, in più circostanze, la assoluta mancanza di interazione fra stoccaggio (considerato infinitamente rigido) e sorgenti sismogeniche (dichiarate insospettabilmente lontane).

RISPOSTA

La valutazione dello stato tensionale e della sua propagazione viene effettuata mediante apposito modello geomeccanico esteso a scala regionale proprio allo scopo di valutare la distribuzione delle tensioni e delle deformazioni all’interno dell’intero volume modellizzato, ossia non solo in corrispondenza del giacimento ma anche in tutte le formazioni limitrofe che lo circondano. Tutti i codici numerici di meccanica del continuo si basano sul concetto matematico di tensione e forniscono una distribuzione dello stato di tensione in ogni punto del mezzo continuo evidenziando le zone più sollecitate e le zone meno sollecitate. In definitiva nei codici di calcolo le forze vengono distribuite sull’area di competenza e non possono avere effetti all’infinito.

I risultati delle simulazioni geomeccaniche indicano che le variazioni dello stato tensionale non sono tali da indurre stati critici (di rottura) nelle formazioni in cui è collocato il giacimento, e che la propagazione della



tensione rimane confinata nel livello di stoccaggio mentre nella roccia di copertura e nelle formazioni sottostanti il giacimento è assai limitata.

In relazione al fatto che *overburden* (formazioni sovrastanti il giacimento) e *underburden* (formazioni sottostanti) sarebbero infinitamente rigidi, ciò ovviamente è errato: le loro proprietà meccaniche vengono definite all'interno del modello come per gli strati mineralizzati. La limitata propagazione della perturbazione delle tensioni è dovuta al fatto che il volume di roccia non interessato dalla variazione di pressione è enorme rispetto a quello in cui essa si verifica, e quindi nel complesso corrisponde a una rigidità equivalente molto maggiore degli strati depletati.

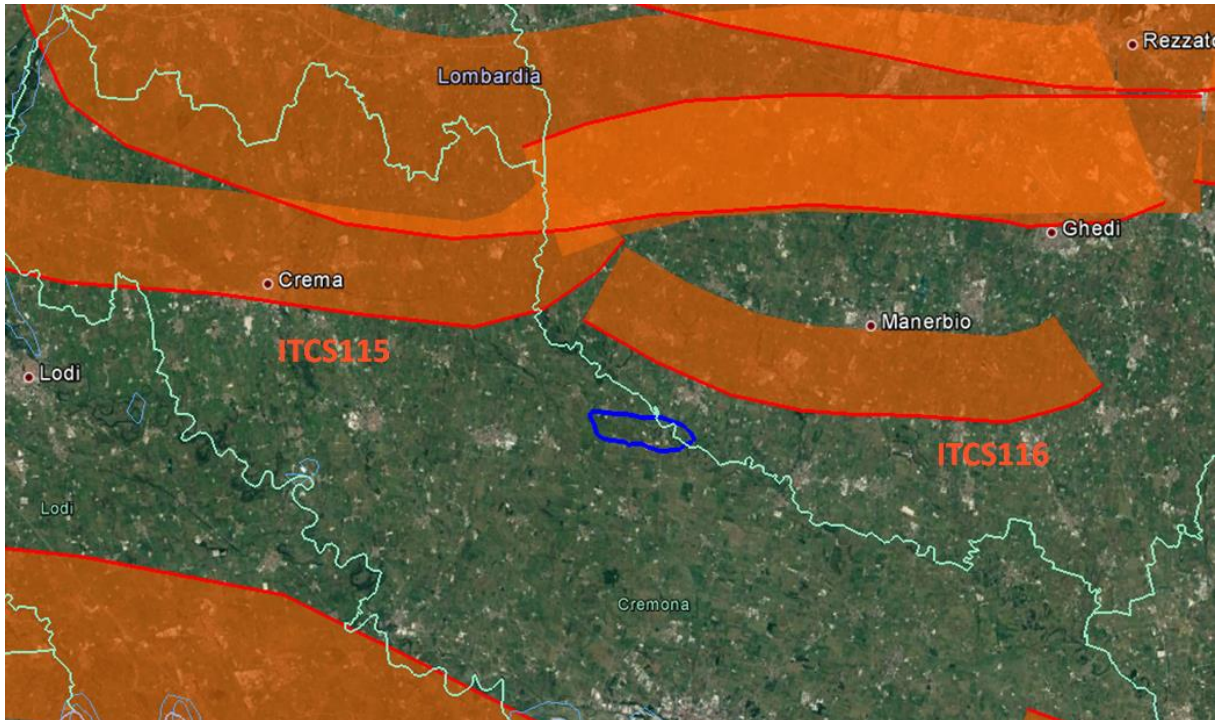
Per quanto riguarda le osservazioni sulla propagazione delle deformazioni, occorre ricordare che le tensioni sono proporzionali allo *strain*, cioè alla derivata dello spostamento, non allo spostamento in sé. La formazione del giacimento risponde alle variazioni tensionali legate allo stoccaggio deformandosi (ovvero compattandosi o espandendosi); queste deformazioni generano degli spostamenti sia nelle formazioni sottostanti (piccoli e che si esauriscono a breve distanza dal giacimento), sia nelle formazioni sovrastanti confinate dalla superficie libera del piano campagna, i cui spostamenti (e non deformazioni) "spalmati" in centinaia se non migliaia di metri rappresentano la subsidenza. Si ribadisce infatti che la relazione di proporzionalità si applica tra tensioni e deformazioni, ma non tra tensioni e spostamenti (le cui derivate forniscono le deformazioni).

In definitiva, il modello numerico 3D ha consentito di calcolare la variazione delle tensioni efficaci verticali, delle deformazioni verticali e degli spostamenti verticali indotti in tutto il volume indagato (giacimento e formazioni limitrofe fino al piano campagna e in profondità) rispetto a un ciclo di stoccaggio di riferimento. Le tensioni indotte dalle operazioni di stoccaggio così come le relative deformazioni interessano prevalentemente il giacimento e solo marginalmente le formazioni immediatamente sovrastanti e sottostanti, mentre gli spostamenti verticali legati alla compattazione degli strati si propagano dal giacimento alla superficie dando origine a variazioni altimetriche cicliche e stagionali del piano campagna di entità millimetrica. Quindi i modelli valutano anche l'effetto dello spostamento del suolo in superficie causato dallo stoccaggio.

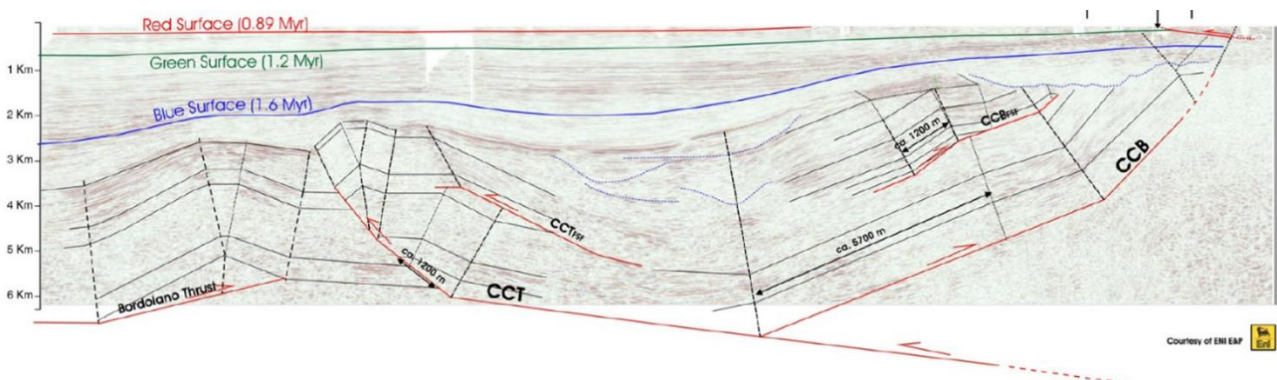
Sulla base dei risultati degli studi del progetto di ricerca DISS (*Database of Individual sismogenic sources, INGV*), il giacimento di Bordolano non risulta interessato da sorgenti sismogenetiche, come evidenziato nella figura seguente (in blu la proiezione in superficie del contatto gas-acqua originale e in arancione la proiezione in superficie delle faglie sismogenetiche composite).

La Sorgente Sismogenica Composita ITCS116 citata, la più prossima all'area del giacimento di Bordolano, si trova a una distanza in pianta di circa 3 km a nord del giacimento, distanza ancor maggiore se si considera la profondità. Le ultime versioni dello studio DISS 3.2.0 (2015) e 3.2.1 (Aprile 2018), evidenziano una maggiore distanza tra l'area del giacimento e la proiezione in superficie della sorgente rispetto a quanto era stato definito dalle precedenti versioni, in cui le sorgenti erano comunque ubicate a debita distanza dai limiti del giacimento.

A tal riguardo si precisa che, secondo quanto definito da INGV, "*le Sorgenti Sismogenetiche Composite ("Composite Seismogenic Sources" - CSS), sono identificate dall'involuppo di lineamenti tettonici non sempre ben definiti singolarmente; pertanto la loro caratterizzazione sismotettonica, soprattutto in termini di magnitudo attesa, presenta ampi margini di incertezza. La loro istituzione è stata concepita soprattutto al fine di integrare le informazioni sulle potenziali sorgenti di terremoti in relazione a valutazioni in termini probabilistici del rischio sismico e allo studio di processi geodinamici a scala regionale*".



Nel database DISS, la sorgente composita ITCS116 rappresenta quindi un insieme di lineamenti tettonici appartenenti al fronte più esterno dell'arco sudalpino sepolto sotto i sedimenti della Pianura Padana e descritti in letteratura da diversi autori (e.g. Fantoni et al., 2004; Livio et al., 2009). Tale sorgente composita corrisponde, nell'area di interesse a nord del giacimento, alla faglia denominata CCT (Capriano del Colle Thrust), un sovrascorrimento profondo a vergenza alpina descritto da Livio et al. (2009, 2014) mostrato nella sezione sismica NE-SO riportata di seguito e, in termini di distanza secondo le interpretazioni più recenti, risulta coerente con i modelli strutturali già definiti a partire dal 2004 (esempio Fantoni et al., 2004). Data la vicinanza tra il giacimento e la sezione sismica, quest'ultima può essere considerata rappresentativa per un confronto diretto tra la posizione del giacimento e la posizione della faglia denominata CCT: essa si estende fino a una profondità minima di circa 3500 m, quindi si trova in una posizione ben più profonda del giacimento.



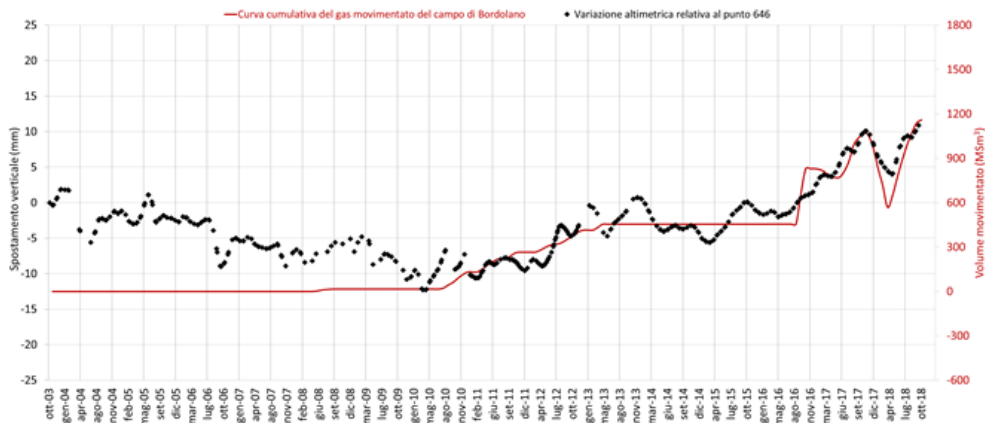
Sezione sismica (direzione NNE-SSO) interpretata in prossimità del giacimento di Bordolano (figura mod. da Livio et al., 2009).



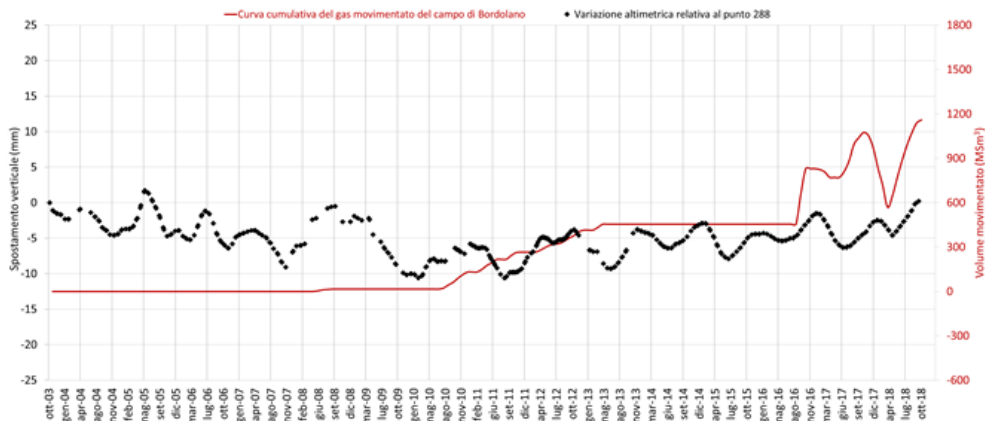
In relazione alle considerazioni sopra esposte, i risultati delle simulazioni geomeccaniche confermano che le variazioni dello stato tensionale non raggiungono la faglia denominata CCT.

In aggiunta, vale la pena ricordare che i dati InSAR satellitari acquisiti per il monitoraggio degli spostamenti del suolo sono un valido strumento per valutare l'area in superficie interessata dagli spostamenti attribuibili alle operazioni di stoccaggio e l'estensione del disturbo di pressione nell'acquifero che delimita il giacimento. I dati SAR satellitari acquisiti sul campo di Bordolano indicano un leggero trend di innalzamento nell'area del giacimento a partire dal periodo di iniezione del cushion gas. Le serie storiche di spostamento verticale dei punti interni al giacimento (figura A sottostante) mostrano una buona correlazione con la curva del gas movimentato, e registrano il trend di innalzamento a partire dal periodo di iniezione del cushion gas. I punti esterni ubicati nell'area a nord del giacimento (figura B sottostante), mostrano invece oscillazioni di ampiezza contenuta e periodicità variabile non correlabili con la curva del gas movimentato e non registrano il trend di innalzamento a dimostrazione del fatto che tale effetto non si propaga verso nord nella direzione della sorgente sismogenetica ITCS116 e rimane sostanzialmente confinato in prossimità del giacimento.

Le misurazioni confermano le previsioni modellistiche che attribuiscono un limitato spostamento del suolo attribuibile allo stoccaggio di gas, che comunque tende ad annullarsi a breve distanza dal giacimento.



A. Andamento temporale delle variazioni altimetriche di un punto interno al limite del giacimento e curva del gas movimentato.



B. Andamento temporale delle variazioni altimetriche di un punto esterno circa 1.8 km a nord del limite del giacimento e curva del gas movimentato.



Referenze

- DISS Working Group (2018). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Fantoni, R., Bersezio, R., & Forcella, F. (2004). *Alpine structure and deformation chronology at the Southern Alps-Po plain border in Lombardy*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 123(3), 463–477.
- Livio, F.A., Michetti, A.M., Sileo, G., Zerboni, A., Trombino, L., Cremaschi, M., Mueller, K., Vittori, E., Carcano, C., Rogledi, S., (2009). *Active fault-related folding in the epicentral area of the December 25, 1222 (Io=IX MCS) Brescia earthquake (Northern Italy): seismotectonic implications*. *Tectonophysics* 476 (1), 320–335.
- Livio F.A., Ferrario M. F., Frigerio C., Zerboni A., Michetti A.M. (2020) *Variable fault tip propagation rates affected by near-surface lithology and implications for fault displacement hazard assessment*, *Journal of Structural Geology*, 130 <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2019.103914>.

Riferimento: Politecnico di Torino – Bordolano - *Rapporti tra campo di stoccaggio e sorgenti sismogenetiche*. Tale documento viene trasmesso in allegato.

Spiazzamento dell'acquifero profondo, pressione di poro e variazioni dell'attrito

OSSERVAZIONE

Non risultano parti del "Progetto Bordolano Stoccaggio – Stogit 2008" o altri studi, ovvero documenti che considerino analiticamente questo aspetto.

A tal proposito si ricorda che la stabilità delle strutture sotterranee, suscettibili di movimenti reciproci, è garantita dal coefficiente coulombiano dell'attrito statico.

Poichè le variazioni nella distribuzione dei fluidi (liquidi e gassosi nel sottosuolo – vedi pressione di poro) può alterare significativamente il coefficiente predetto ridimensionandolo drasticamente, ecco che l'effetto di movimento dell'acquifero assume un ruolo importante e a nostro parere non sufficientemente dibattuto.

Si tenga altresì conto che l'area di movimento probabile delle grandi quantità di acqua in questione, potrebbe svilupparsi per distanze lineari, trasversali al giacimento, di diverse volte le dimensioni del serbatoio medesimo.

Tali distanze, si ritiene logicamente, possano essere valutate nell'ordine delle migliaia di metri (km).

Se a queste considerazioni dimensionali si associa l'ampia tolleranza dimensionale dei confini (puramente convenzionali) della sorgente sismogenica composita ITCS116, si evince che i movimenti dei fluidi prima citati potrebbero ragionevolmente coinvolgerla.



RISPOSTA

Il comportamento fluido-dinamico del campo di Bordolano e dell'acquifero, riprodotto tramite un modello numerico 3D bifase e calibrato sulla base di tutti i dati raccolti durante la vita produttiva del giacimento, è in grado di simulare la compresenza dei due fluidi (gas e acqua) e le loro interazioni con la roccia serbatoio (e.g. fenomeni di imbibizione/drenaggio, pressioni capillari, permeabilità effettive) e di calcolare quelle variazioni di pressione che costituiscono l'input del modello geomeccanico.

A sua volta il modello geomeccanico simula le variazioni dello stato tensionale e deformativo indotte dal disturbo di pressione nel giacimento, nell'acquifero che lo delimita e in tutto il volume di interesse. Si precisa infatti che il modello geomeccanico viene realizzato considerando e integrando tutti gli aspetti fluidodinamici propri del modello dinamico di giacimento ed i parametri di resistenza vengono definiti tenendo conto della presenza dell'acqua, secondo un approccio cautelativo. Infatti, durante la fase di caratterizzazione geotecnica delle formazioni investigate tutti i test di laboratorio (in termini di resistenza e deformazione) sono stati effettuati in presenza di acque addizionate con sali.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "C. Vecchiatti", with a long horizontal stroke extending to the right.

Ing. Cesare G. Vecchiatti

Senior Vice President Operations

STOGIT SpA - Stoccaggi Gas italia



Via Libero Comune, 5
26013 Crema (CR) - Italy
Phone +39.0373.892219 Fax +39.0373.892317