



REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

REL-MON-01

Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo


Progetto Geotermico Ostellato

Provvedimento Autorizzatorio Unico Regionale – (PAUR)




Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo					
<i>Revisione</i>	<i>Documento</i>	<i>Data</i>	<i>Preparato</i>	<i>Controllato</i>	<i>Approvato</i>
REV.0	REL-MON-01	2 APR 2026	SOFIA BRESSAN VALENTINA RIGONI VISHNURAJ NAIR	ALESSANDRO BROVELLI	

Documento predisposto da
Isamgeo srl, L.go G. Camussi, 5, 21013 Gallarate – Italy
info@isamgeo.com, www.isamgeo.com

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di: ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	---	-----------------------


Indice

Sintesi del lavoro	4
1. INTRODUZIONE.....	6
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO e SISMO-TETTONICO	12
2.1. Inquadramento geologico.....	13
2.2. Tassi di subsidenza	13
2.3. Sorgenti sismogenetiche	15
2.3.1. Sismicità strumentale recente	17
2.3.2. Sismicità storica	19
3. VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI RUMORE AMBIENTALE	21
3.1. Acquisizione dati	21
3.2. Analisi dati sismici passivi.....	22
4. PROGETTAZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO	29
4.1. RETE SISMICA	29
4.1.1. Valutazione della sensibilità della rete proposta.....	33
4.1.2. Scelta dei parametri geofisici	34
4.1.3. Soglie di localizzazione	35
4.1.4. Incertezze di localizzazione.....	38
Risultati	40
4.2. RETE DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA.....	43
5. RETE PER IL MONITORAGGIO INTEGRATO	45
5.1. Stazioni di monitoraggio sismico.....	45
5.2. Stazioni di monitoraggio GNSS.....	47
6. CONCLUSIONI	49
7. BIBLIOGRAFIA	51
APPENDICE A – Misure di rumore ambientale	55
APPENDICE B – Strumentazione per monitoraggio sismico	59
APPENDICE C – Specifiche Tecniche del Sistema di Monitoraggio GNSS	66

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

Indice delle Figure

Figura 1. Area permesso di ricerca “San Giovanni” e dei pozzi geotermici.....	6
Figura 2. Volume del giacimento coperto dal modello numerico	9
Figura 3. Mappa dell'estensione del volume perturbato	10
Figura 4. Definizione in profondità dei Domini di Rilevazione, proiezione lungo la direzione N-S.....	11
Figura 5. Schema tettonico della regione Emilia-Romagna	12
Figura 6. Geoportale cartografico ARPAE e tassi attuali di subsidenza.....	14
Figura 7. Spostamento del suolo nel periodo 2019-2023.....	15
Figura 8. Sorgenti sismogenetiche nell'intorno dell'area di studio.....	16
Figura 9. Stazioni della rete sismica nazione presenti nell'area.	17
Figura 10. Sismicità strumentale in un raggio di 30 km dal centro del DI	18
Figura 11. Proiezione delle profondità ipocentrali degli eventi sismici strumentali.....	19
Figura 12. Sismicità storica nell'area della concessione di Ostellato	20
Figura 13. Mappa dei punti in cui sono state effettuate le misure di rumore ambientale	22
Figura 14. PPSD relative alla stazione posta nel sito A, componenti E, N & Z (.....	24
Figura 15. Andamento temporale dell'ampiezza del segnale nel sito A.....	25
Figura 16. PPSD relative alla stazione posta nel sito B, componenti E, N & Z	27
Figura 17. Andamento temporale dell'ampiezza del segnale nel sito B.....	28
Figura 18. Mappa di valutazione della magnitudo di completezza	30
Figura 19. Mappa della distribuzione dei sensori della rete di monitoraggio sismico progettata per la concessione di San Giovanni.	31
Figura 20. Mappa di copertura azimutale della rete di monitoraggio sismico	32
Figura 21. Mappa di dettaglio (soglia a 200) della copertura azimutale	32
Figura 22. Mappa di sensibilità stimata per la rete alla profondità del target principale (2 km).	36
Figura 23. Mappa di sensibilità stimata per la rete alla profondità del dominio interno (3 km).....	37
Figura 24. Mappa di sensibilità stimata per la rete alla profondità del dominio esteso (8 km).	37
Figura 25. Mappa delle incertezze orizzontali alla profondità del dominio interno (3 km).....	41
Figura 26. Mappa delle incertezze orizzontali alla profondità del dominio esteso (8 km)	42
Figura 27. Mappa delle incertezze verticali alla profondità del dominio interno (3 km)	42
Figura 28. Mappa delle incertezze verticali alla profondità del dominio esteso (8 km).....	43
Figura 29. Distribuzione delle stazioni di monitoraggio e delle stazioni GNSS.....	44
Figura 30. Esempi di installazione di piazzole per il monitoraggio sismico	46
Figura 31. Esempio di piazzola combinata (sensore e GNSS)	48
Figura 32. Zoom sulla stazione di monitoraggio del rumore ambientale nel sito A	56
Figura 33. Posizionamento del sensore nel sito A	56
Figura 34. Zoom sulla stazione di monitoraggio del rumore ambientale nel sito B	57
Figura 35. Posizionamento del sensore nel sito B.	58

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

Sintesi del lavoro


Obiettivo di questo lavoro è predisporre un piano di monitoraggio della sismicità e della deformazione del suolo per il Permesso di ricerca di fluidi geotermici “San Giovanni”. E’ stata ideata una rete di monitoraggio rispondente alle indicazioni fornite dalle “Linee guida ministeriali per l’utilizzazione della risorsa geotermica a media ed alta entalpia” (Terlizzese, 2026). Nelle linee guida è chiarito che la nuova rete di monitoraggio sismico debba essere in grado di rilevare e localizzare terremoti a partire da $0 \leq ML \leq 1$ per il dominio di rilevazione. Per quanto riguarda il monitoraggio della subsidenza, questo dovrà essere svolto utilizzando una combinazione di stazioni GPS e misure InSAR.

L’area del permesso di San Giovanni si inserisce nel contesto sismo-tettonico delle pieghe ferraresi e, in particolare, lungo il fronte di sovrascorrimento dell’Arco di Ferrara. La sismicità naturale dell’area, sia strumentale che storica, si sviluppa in corrispondenza delle sorgenti sismogenetiche conosciute, poste a ovest e a sud della concessione. Nonostante l’attività sismica sia limitata, questa non può essere trascurata, in quanto il comune di Ostellato risulta in zona sismica di terza categoria secondo la classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR n° 1164 del 23.07.2018: “Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell’Emilia-Romagna”). Il sito ricade nella zona sismogenetica 912 della zonazione ZS9 (Meletti & Valensise, 2004) ed è caratterizzato da una magnitudo massima attesa di circa Mw 6.

La rete nazionale di monitoraggio sismico mostra una copertura limitata nell’area, con magnitudo di completezza sicuramente superiore a ML 2, più probabilmente ML 2.5. La rete dell’operatore dovrà quindi essere principalmente in grado di rilevare e localizzare l’eventuale sismicità naturale nel volume di sottosuolo compreso nei domini di rilevazione.

Al fine di definire un piano di monitoraggio della sismicità sono dunque stati definiti due domini di rilevazione. Seguendo le direttive ministeriali, ed avendo informazioni riguardo al volume perturbato totale del giacimento, il dominio interno (DI) sarà coincidente con il volume perturbato stesso, mentre il dominio esteso (DE) avrà sviluppo di 5 km oltre le dimensioni del dominio interno. La profondità massima dei domini sarà rispettivamente di 3 km per DI e di 8 km per il DE.

E’ stata condotta una valutazione in campagna dei livelli di rumore sismico ambientale, tramite l’acquisizione di dati passivi di durata 24h, in modo da valutare anche la variabilità giorno-notte. Il sopralluogo effettuato e le registrazioni passive acquisite sono stati utilizzati per una progettazione preliminare della rete di monitoraggio sismico. Tramite simulazione, e utilizzando un approccio completamente coerente con la metodologia sviluppata da INGV, è stato valutato che la rete proposta, composta da 7 stazioni, di cui 6 con sensore installato in superficie ed 1 posto alla profondità di -100 m s.l.m., avrà magnitudo di completezza pari o migliore di ML 0.5 e incertezza di localizzazione di alcune centinaia di metri nella zona del Dominio di Rilevazione. Si prevede di installare un sismometro (velocimetro) a corto periodo (1s/1Hz di frequenza propria) in ciascuna

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

stazione e, in aggiunta, un accelerometro MEMS 90db (sensore strong-motion) sulla stazione posta al centro della rete. Tutte le stazioni saranno equipaggiate per la trasmissione dati in tempo reale, alimentazione a pannelli solari e digitalizzatore 24bit con range dinamico superiore a 140 db per i velocimetri. Presso il centro calcolo/sala sismica verranno acquisiti tutti i dati che saranno analizzati in tempo quasi reale per identificare possibili eventi all'interno dei Domini di Rilevazione. Più algoritmi in parallelo analizzeranno i dati per garantire ridondanza ed elevata affidabilità al sistema. In caso di allerte, un analista sismologo procederà alla revisione manuale dei sismogrammi ed al ricalcolo dei dati. Il sistema sarà inoltre in grado di identificare malfunzionamenti ed emettere allerte in caso di guasti in modo da garantire un rapido ripristino del sistema e l'uptime richiesto. Isamgeo mantiene un magazzino con parti di ricambio di tutte le stazioni sismiche, in modo da poter celermente ripristinare dispositivi guasti o vandalizzati.

Il monitoraggio della subsidenza avverrà combinando rilevazioni tramite tecnologia InSar da integrare e calibrare con 3 stazioni GNSS locali ed una stazione nazionale (FERA) usata come caposaldo. Delle 3 stazioni GNSS, una sarà installata all'interno del DI, in prossimità dei pozzi di produzione. Le altre 2 stazioni GNSS saranno installate sempre all'interno del DI, lungo il canale navigabile Migliarino-Porto Garibaldi. Nello specifico, una stazione si troverà a ovest rispetto ai pozzi San Giovanni, l'altra in direzione sud rispetto ai pozzi Green House. Ciascuna stazione di monitoraggio sarà equipaggiata con un riflettore radar per migliorare la copertura della zona. La combinazione dei dati InSar e delle tre stazioni GNSS consentirà di garantire una corretta ricostruzione tridimensionale del campo deformativo associato alle attività di produzione, e di valutare il loro eventuale effetto nell'area interessata dal canale. I più recenti dati messi a disposizione dalla regione, ottenuti tramite analisi di dati satellitari a scala regionale per un periodo di più anni, indicano comunque che la subsidenza naturale nell'area è tra i 2 e i 3mm/anno, ben superiori ai tassi attesi dallo sfruttamento della risorsa geotermica.



1. INTRODUZIONE


Questo studio è stato condotto da Isamgeo su richiesta di FRI-EL GEO S.r.l. con l'obiettivo di progettare una rete di monitoraggio della sismicità e spostamenti del suolo in relazione alle richieste autorizzative ambientali per il permesso di ricerca di fluidi geotermici "San Giovanni".

L'area di interesse ha un'estensione di circa 49 km², è situata in Emilia-Romagna, in località San Giovanni, tra i comuni di Ostellato (circa 10 km in direzione ovest) e di Comacchio (a circa 8 km in direzione est) e ricade nel perimetro del permesso di ricerca di fluidi geotermici "San Giovanni" (Figura 1).



Figura 1. Ubicazione del permesso di ricerca "San Giovanni" e dei pozzi geotermici ipotizzati

Il programma lavori prevede di sfruttare un target geotermico, individuato in seguito alla perforazione del pozzo San Giovanni 1 (SG1), all'interno della F.ne Porto Garibaldi. Lo sfruttamento avverrà tramite 4 pozzi, due di emungimento (denominati Green House, o GH, 1 e 2) e due di re-iniezione (pozzi San Giovanni, o SG, 1 e 2) a profondità comprese tra circa 1500 e 2500 m bsl. Il progetto prevede re-iniezione completa del fluido geotermico.

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------


La rete di monitoraggio descritta nel seguito di questo documento è stata ideata seguendo le indicazioni contenute nelle “Linee guida per l’utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia” (Terlizzese, 2016). Queste sono nel seguito indicate come ILG-2016.

Sono state inoltre prese in considerazione anche le precedenti “INDIRIZZI E LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DELLA SISMICITÀ, DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO E DELLE PRESSIONI DI PORO NELL’AMBITO DELLE ATTIVITÀ ANTROPICHE”, (UNMIG 2014) poiché in alcuni aspetti meglio chiariscono come definire le aree da monitorare.

Con riferimento alle attività di monitoraggio sismico e degli spostamenti del suolo, le ILG Terlizzese, 2016 raccomandano di rispettare le seguenti indicazioni:

- Dovrà essere predisposto un piano di monitoraggio della subsidenza indotta dalle attività di coltivazione, che preveda il controllo delle deformazioni superficiali mediante tecniche InSAR, integrate dall’elaborazione dei dati provenienti da stazioni GNSS in continuo. Tale sistema di monitoraggio ha l’obiettivo di fornire informazioni sia sull’andamento temporale delle deformazioni del suolo che sulla loro distribuzione spaziale nell’area analizzata, evidenziando eventuali variazioni rispetto allo scenario deformativo precedente alle operazioni. Il monitoraggio dovrà avere inizio almeno un anno prima della messa in produzione del campo;
- Dovrà essere definito un Dominio di Rilevazione per il monitoraggio sismico, definito a partire dal volume perturbato esteso di un buffer di 5 km. Qui si è fatta la scelta, seguendo UNMIG, 2014, di definire un Dominio Interno di Rilevazione (DI) pari al volume perturbato, ed un Dominio Esteso, che corrisponde al buffer di 5 km intorno al DI. A tutti gli effetti di DR di Terlizzese, 2016 coincide con quanto di seguito definito Dominio Esteso.
- Il monitoraggio microsismico dovrà essere in grado di rilevare eventi con magnitudo locale compresa tra 0 e 1 all’interno del Dominio di Rilevazione, e con un’incertezza di localizzazione dell’ipocentro non superiore a poche centinaia di metri;
- Seguendo MASE, 2014, all’interno del DE, la rete dovrà essere in grado di migliorare la capacità di detezione di almeno una unità di ML rispetto alla rete nazionale, e le incertezze di localizzazione dovranno essere inferiori ad 1 km.
- La rete locale dovrà analizzare i dati in tempo reale, anche integrando i dati delle stazioni sismiche pubbliche della rete nazionale.

Il lavoro per realizzare questo documento è stato organizzato come segue. Dopo un primo studio del contesto geologico e sismo-tettonico dell’area, nonché della rete sismica nazionale, si è proceduto

	REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di: ISAMGEO	02 APRILE 2026
---	---	----------------

con (1) la definizione dei domini di rilevazione (2) l’acquisizione di dati passivi per caratterizzare il rumore sismico ambientale nelle aree dei futuri pozzi (3) una identificazione di diverse possibili geometrie delle reti di monitoraggio, sia sismico che geodetico, (4) un’analisi di diversi scenari per valutare, attraverso modellazione numerica, la sensibilità della rete, cioè stimare la sua magnitudo di completezza e (5) la relativa incertezza di localizzazione.

DEFINIZIONE DEI DOMINI DI RILEVAZIONE

Le ILG-2016 suggeriscono di definire i domini di rilevazione sulla base del volume di sottosuolo perturbato dalla coltivazione geotermica. Questo può essere definito a partire da un modello fluido-dinamico: *“qualora siano disponibili i dettagli del volume perturbato ottenibili dal modello geomeccanico di serbatoio realizzato per ciascun sito, considerata anche l’estrema variabilità delle caratteristiche geologiche dello stesso, si ritiene come Dominio Interno di rilevazione per gli impianti pilota un volume che si estende fino alla superficie, coincidente con il volume perturbato (come definito dallo studio geologico preliminare) ampliato di un’ulteriore fascia che si estende ai lati e sotto fino ad una distanza di 5 km dal bordo dello stesso”* (Terlizzese, 2016).

A questo scopo, è stato utilizzato lo scenario più conservativo (P90) tra quelli sviluppati tramite il modello numerico geologico e termo-fluido-dinamico, ovvero quello dove si osserva la maggior estensione del cono di depletamento/sovrapressione. Questo scenario è denominato C2 (Figura 2) e la sua configurazione è riportata in Tabella 1.

Pozzo		Layout	Portata [l/s]	Temperatura Iniezione [°C]
GH-1 (dir)	Prelievo	Deviato	-41	
GH-2 (dir)	Prelievo	Deviato	-41	
SG-2 (dir)	Reiniezione	Deviato	41	35
SG-1_ST-2 (dir)	Reiniezione	Deviato	41	35

Tabella 1 Configurazione geometrica dei pozzi di prelievo e reiniezione per lo scenario C2.

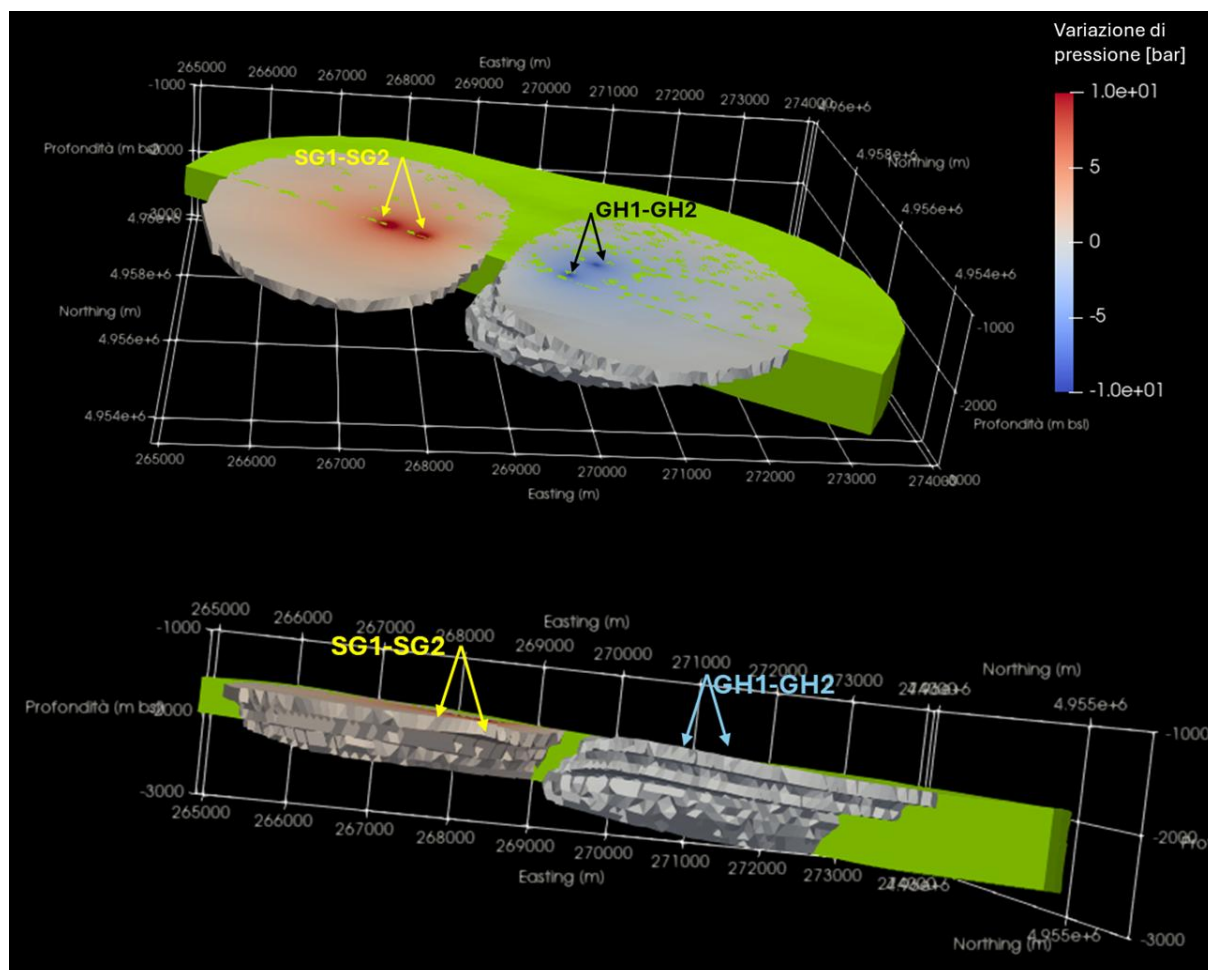


Figura 2 Immagini del volume di giacimento coperto dal modello numerico (in verde), e volume perturbato dai pozzi di produzione (GH1,2) ed iniezione (SG1,2)

L'estensione del volume totale perturbato, coincidente con lo sviluppo del dominio interno, è stata definita come l'area in cui il valore assoluto della variazione di pressione (negativa per l'area di emungimento, positiva per l'area di produzione) è maggiore od uguale a 0.5 bar. Si tratta di una scelta molto conservativa, in quanto trascurabile rispetto allo sforzo totale verticale vergine.

In profondità, per tener conto dell'eventuale minima variazione di pressione nei livelli di confinamento inferiori del giacimento, il volume perturbato è stato esteso fino alla profondità di 3 km. L'estensione del Dominio Interno e Dominio Esteso di rilevazione è rappresentata in Figura 3 (in mappa) e Figura 4 (in sezione).

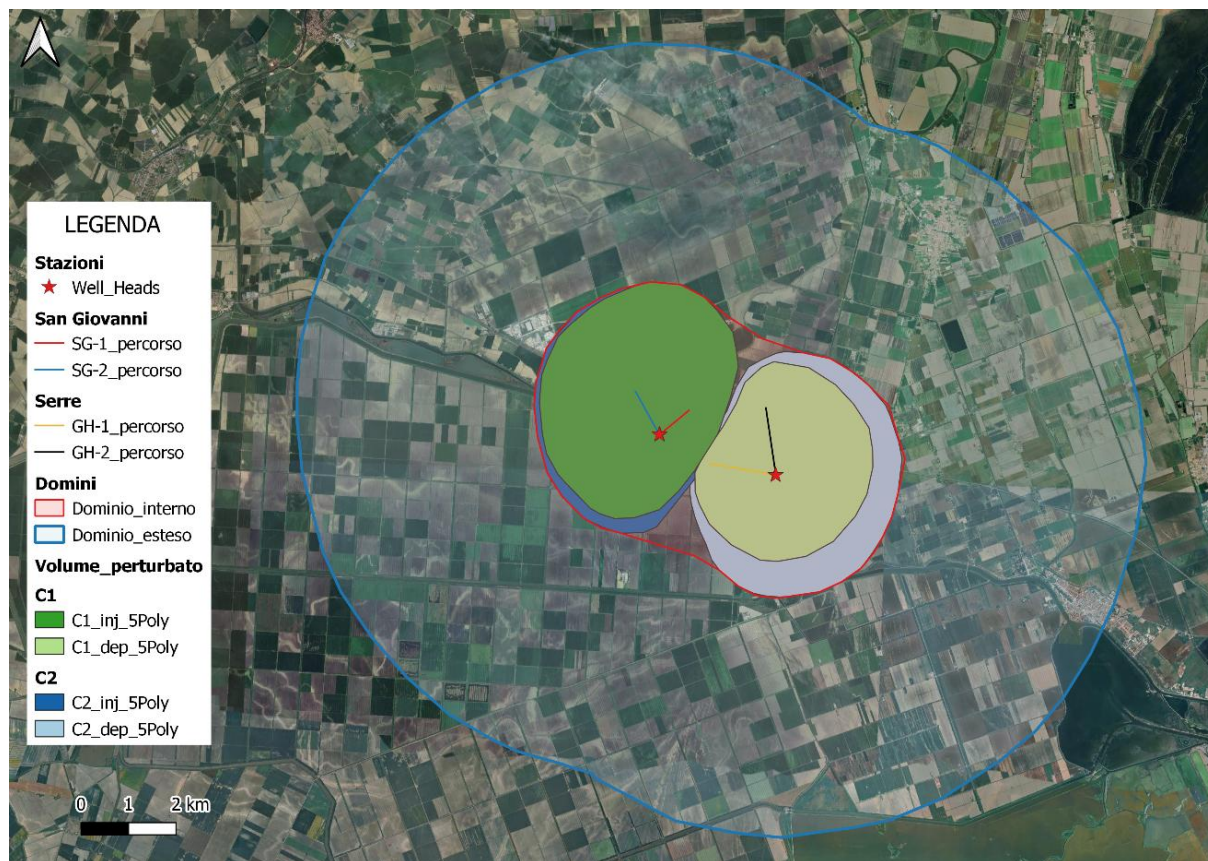


Figura 3. Mappa dell'estensione del volume perturbato estratta a partire dal modello dinamico (poligoni colorati). In mappa vengono definite anche le posizioni e le traiettorie dei pozzi (stelle rosse e linee colorate) oltre che l'estensione dei domini interno (rosso) ed esteso (azzurro)



REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

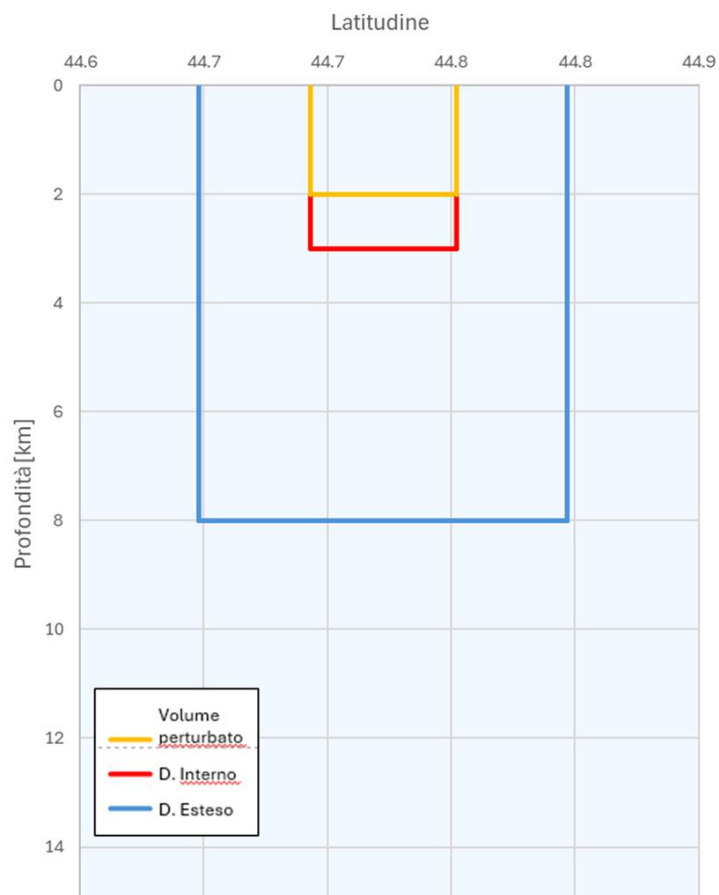


Figura 4 Definizione in profondità dei Domini di Rilevazione, proiezione lungo la direzione N-S



2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO e SISMO-TETTONICO

Il permesso di ricerca fluidi geotermici di San Giovanni si trova nel settore orientale della Pianura Padana, un bacino di avanfossa che si è originato in seguito alla subduzione verso ovest della microplacca padano-adriatica al di sotto della catena appenninica. La subduzione verso ovest si oppone al flusso del mantello (Doglioni, 1991; Scrocca et al., 2007), causando un arretramento verso est della placca in subduzione e subsidenza dell'intera area.

Nella parte meridionale della Pianura Padana si trova il fronte Appenninico Settentrionale, costituito da pieghe e sovrascorrimenti che si sono sviluppati al tetto della zona di subduzione. Queste strutture sono sepolte sotto una spessa copertura sedimentaria e sono state individuate grazie a rilievi di sismica a riflessione, originariamente condotti per la ricerca di idrocarburi (Pieri & Groppi, 1981; Pieri, 1983; Fantoni & Franciosi, 2010; Ghielmi et al., 2010). Da questi rilievi è emersa la presenza dell'arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole, una struttura tettonica attiva principalmente nel Pliocene superiore e nel Pleistocene, che si estende fino a nord di Ferrara. L'area oggetto di questo report si trova al di sopra dell'area di sovrascorrimento dell'Arco di Ferrara (Figura 5), immediatamente a nord delle Valli di Comacchio e Valli del Mezzano.

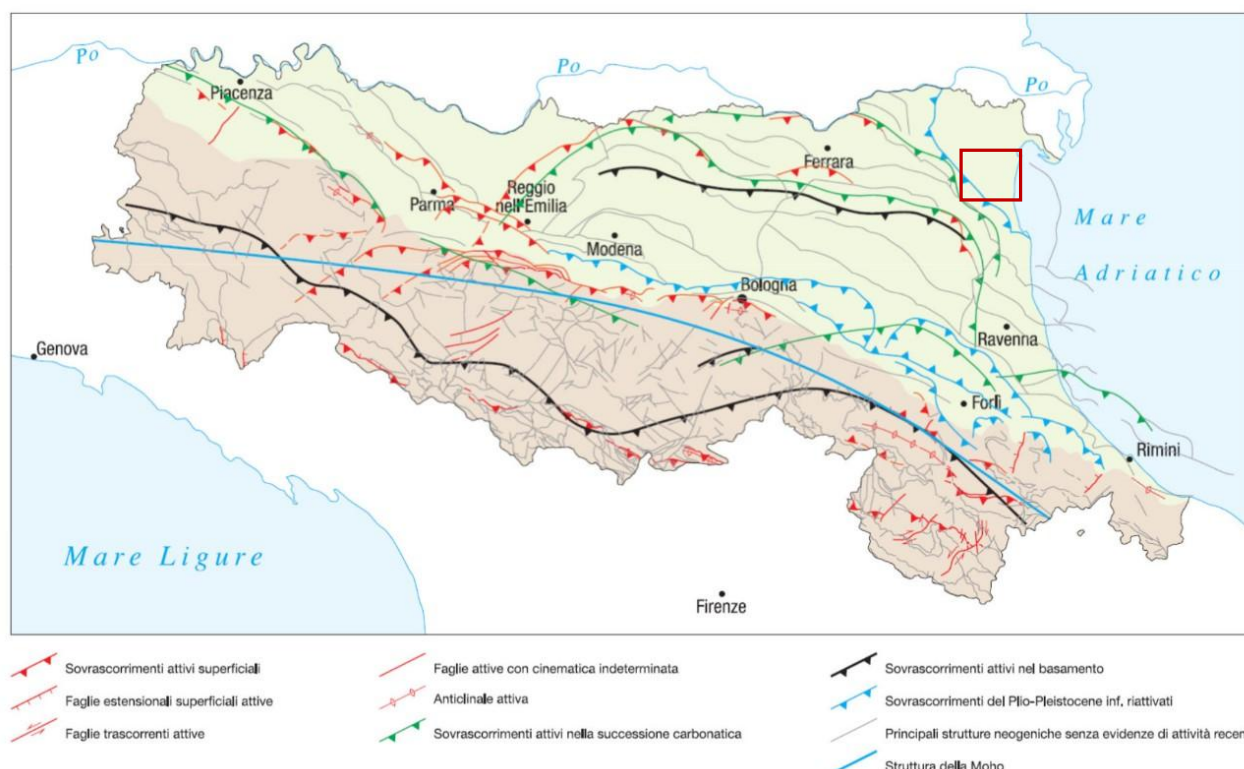



Figura 5. Schema tettonico della regione Emilia-Romagna con l'ubicazione delle Pieghe Ferraresi. Il quadrato rosso identifica l'area in cui è collocata la concessione di "San Giovanni". Immagine modificata da <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/sismica/la-cartografia-sismotettonica-regionale>

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di: ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	---	-----------------------

L'area del permesso si pone al di sopra di una sequenza di avanfossa costituita prevalentemente da sedimenti alluvionali e deltizio-lagunari che ricoprono il dominio carbonatico-dolomitico a sua volta costituito da calcari e dolomie di piattaforma su cui poggiano successioni marnose di piattaforma esterna e scarpata.

La sequenza target del progetto è costituita da una serie di lobi sabbiosi torbiditici intervallati da lenti di argille micacee plastiche.

2.1. Inquadramento geologico

Il bacino di avanfossa dell'Appennino Settentrionale ha attraversato diverse fasi tettoniche che hanno determinato una progressiva migrazione verso nord-est della catena e la formazione di pieghe e faglie (Pieri & Groppi, 1981; Boccaletti et al., 2004). L'area del permesso di ricerca San Giovanni interessa un alto strutturale secondario delle Pieghe Ferraresi-Romagnole, attivo principalmente dal Pliocene superiore al Pleistocene, rappresentativo del fronte più esterno dell'Appennino settentrionale sepolto dai depositi che hanno progressivamente colmato la Valle Padana.

La successione stratigrafica del sottosuolo, nota attraverso i dati di pozzi profondi per la ricerca di idrocarburi, si articola dall'alto verso il basso come segue.

I primi 380–400 metri sono occupati dal Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES, Pleistocene medio superiore–Olocene), in affioramento rappresentato dal Subsintema di Ravenna (AES8) e dall'Unità di Modena (AES8a). La successione è costituita da depositi fini di piana alluvionale distale e deltizio-lagunare, con intercalazioni di corpi sabbiosi di origine fluvio-deltizia e litorale, coerentemente con la posizione dell'area nel sistema del delta del Po.

Al di sotto si sviluppa un dominio silicoclastico pliocenico, con spessore di 700–800 metri, in cui durante il Pliocene inferiore si sono depositate le unità torbiditiche di Porto Corsini e Porto Garibaldi, come sequenze di avanfossa, documentate nell'area ferrarese da Ghielmi et al. (2010). Seguono un dominio intermedio argilloso-marnoso del Miocene–Cretaceo superiore, di circa 1200 metri di spessore, e un dominio carbonatico-dolomitico del Cretaceo–Triassico.

Il target geotermico è stato individuato all'interno del livello torbiditico di Porto Garibaldi, caratterizzato da sabbie a granulometria variabile da medio-fine e intercalazioni di livelli argillosi più grossolani. La sequenza principale giace in contatto netto e discordante rispetto a quella inferiore, caratterizzata da sabbie ultrafini alternate a livelli metrici e plurimetrici (Ghielmi et al. 2010).

2.2. Tassi di subsidenza

L'area del permesso di San Giovanni ricade all'interno del più vasto contesto del Delta del fiume Po, caratterizzato da estese zone di bonifiche, sedimenti di deposizione molto recente ed estremamente



soffici dal punto di vista geotecnico. Per questi motivi, è soggetta a forti tassi di subsidenza naturale. Recenti analisi InSAR combinate con misure GNSS hanno concluso che nella zona i tassi attuali di subsidenza sono dell'ordine di 2-3mm/anno (Figura 6, screenshot [del portale ARPAE](#), si veda anche Bittelli et al., 2025). Storicamente, i tassi di subsidenza sono stati anche significativamente maggiori nell'area ricompresa tra il Ravennate, la zona delle bonifiche ferraresi, ed il Polesine, in conseguenza del (1) prelievo di acqua dagli acquiferi superficiali per uso irriguo ed industriale, (2) l'estrazione di acque metanifere (Borgia et al., 1982; Grieco, 2024) in acquiferi tra i 200 e 600m, e (3) la coltivazione di idrocarburi, in particolare a sud delle Valli di Comacchio (Carbognin et al., 1995; Teatini et al., 2005). La zona è estremamente suscettibile ad una variazione del livello del suolo, in quanto localmente prossima o sotto il livello del mare e dotata di un fitto reticolo di drenaggio.

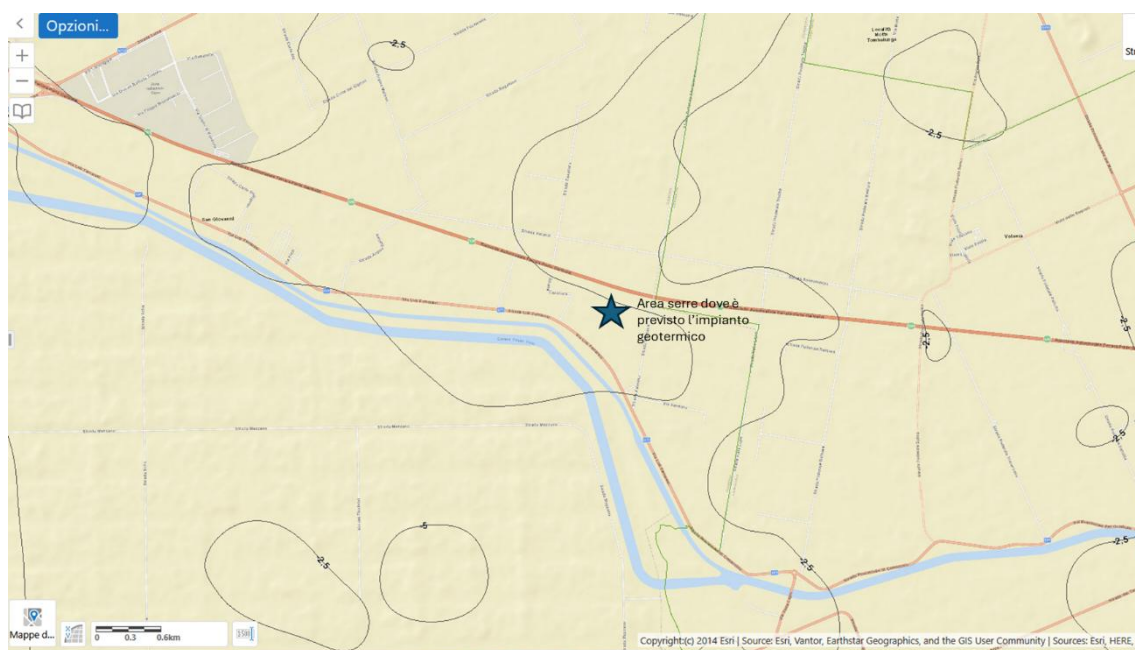


Figura 6 Screenshot del geoportale cartografico ARPAE con i tassi attuali di subsidenza sulla base delle analisi InSAR.



Figura 7 Spostamento del suolo nel periodo 2019-2023 in prossimità dell'area SG1, sulla base di dati Sentinel elaborati dal progetto Copernicus. Il tasso medio di subsidenza è pari a 2.3mm/anno.

2.3. Sorgenti sismogenetiche

Il settore orientale della Regione Emilia-Romagna è caratterizzato dalla presenza di strutture tettoniche attive e potenzialmente in grado di generare eventi sismici di magnitudo compresa tra molto bassa e moderata. Il comune di Ostellato risulta in zona sismica di terza categoria secondo la classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR n° 1164 del 23.07.2018: “Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna”). Il sito ricade nella zona sismogenetica 912 della zonazione ZS9 (Meletti & Valensise, 2004) ed è caratterizzato da una magnitudo massima attesa di circa Mw 6.

Secondo il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane (DISS 3.3.1; DISS Working Group, 2025), nell'area della concessione di Ostellato è riportata la presenza di due faglie capaci, una che termina a circa 10 km ad est rispetto al giacimento, mentre la seconda si sviluppa a sud rispetto allo stesso. Le strutture sono nominate, rispettivamente, ‘struttura di Poggio Rusco–Migliarino’ e ‘struttura di Malalbergo-Ravenna’ (DISS-ID ITCS050). Entrambe le strutture sono definite sulla base di osservazioni indirette, quali profili sismici a riflessione, dati di pozzi profondi e precedenti interpretazioni geologiche. I piani di faglia hanno profondità comprese tra circa 1 km e 8 km per la struttura di Poggio Rusco–Migliarino e tra 2 e 8 km per la Malalbergo-Ravenna (Figura 8).



Sulla base dell'attuale interpretazione geologica, l'area della concessione di San Giovanni risulta priva di strutture sismogenetiche attive al suo interno.

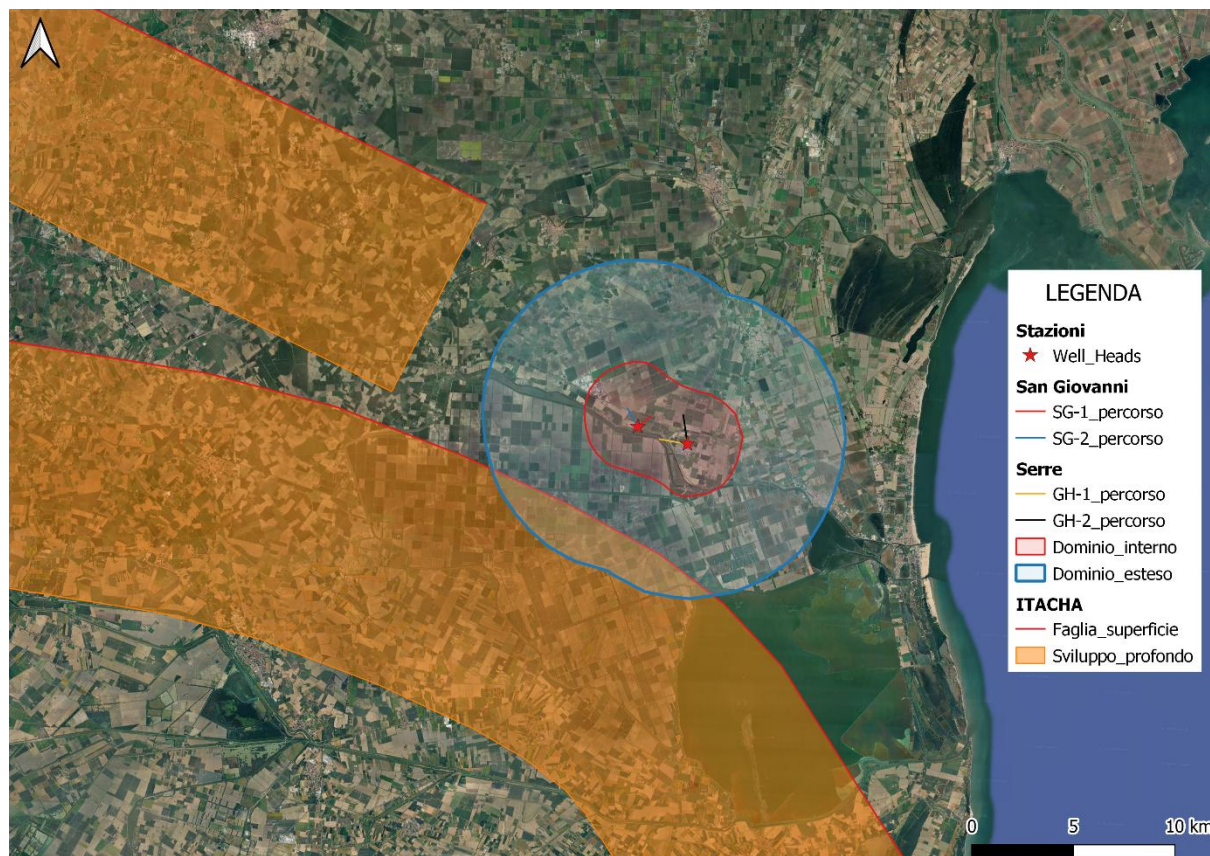


Figura 8. Sorgenti sismogenetiche nell'intorno dell'area di studio (DISS 3.3.1; DISS Working Group, 2025).

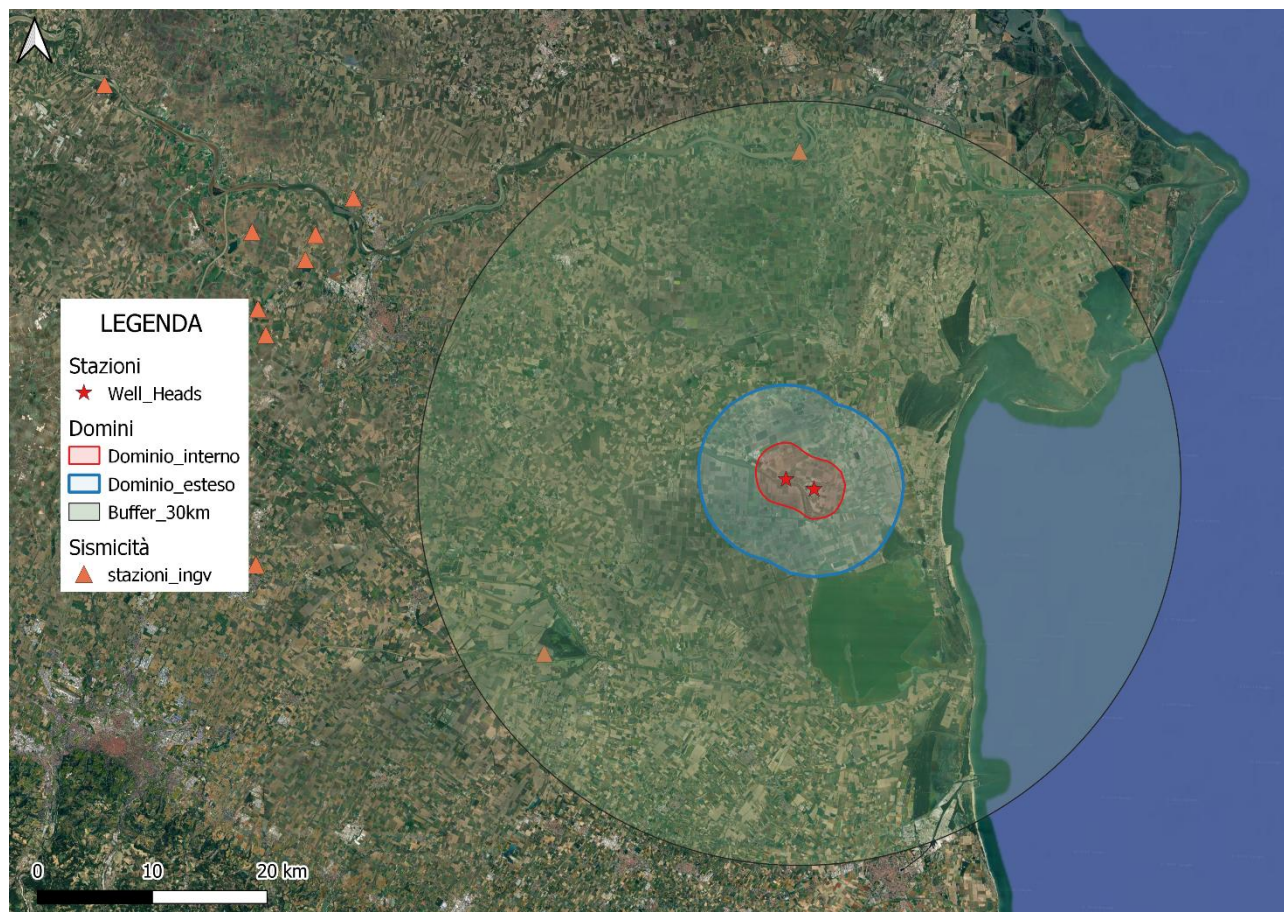


Figura 9. Stazioni della rete sismica nazionale presenti nell'area.

2.3.1. Sismicità strumentale recente

Sono stati analizzati tutti i terremoti presenti nel catalogo on-line INGV ([Lista Terremoti aggiornata in tempo reale » INGV Osservatorio Nazionale Terremoti](#)) a partire dal 1985, all'interno di un raggio di 30 km dal punto centrale del DI, a metà tra i pozzi SG1,2 e GH1,2. La Figura 9 mostra le stazioni pubbliche della rete sismica nazionale in relazione alla posizione dei pozzi e dei domini di rilevazione. Si osserva che l'area del permesso di San Giovanni ha una copertura da parte della rete nazionale molto limitata, con sole 2 stazioni a distanza inferiore a 30 km (ed una di queste, la stazione a nord, ha serie temporali incomplete). Di conseguenza si ritiene che il catalogo sismico possa essere incompleto, e la qualità delle localizzazioni piuttosto limitata.

In Figura 10 sono riportati gli epicentri degli eventi sismici registrati tra il 1985 ed il febbraio 2026. La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo mentre il colore indica la profondità ipocentrale. Dalla mappa si osserva che la maggior parte della sismicità si concentra a sud/sud-ovest



del DE, in corrispondenza della struttura Malalbergo-Ravenna. Le magnitudo osservate sono per lo più pari o superiori a ML 2.6, valore che può essere considerato come una buona approssimazione della magnitudo di completezza della rete nazionale nell'area del DE.

Per quanto riguarda più in dettaglio la sismicità nei Domini di Rilevazione, si osservano:

- Un evento sismico del 1985 di magnitudo locale 3.1 in corrispondenza del centro del Dominio Interno. L'evento viene classificato da catalogo con una profondità convenzionale di 10 km (valore standard assegnato da INGV per i terremoti a profondità incerta);
- Tre eventi sismici posti all'interno del Dominio Esteso. L'evento più prossimo al DI si è verificato nel 2003, ed è caratterizzato da ML 2.7 e profondità di 6 km. I restanti eventi posti ad ovest e a sud-est dei pozzi principali sono avvenuti rispettivamente nel 2012, con ML 2.6 e profondità 2.2 km, e nel 2010, con ML 2.3 e profondità 1.2 km.

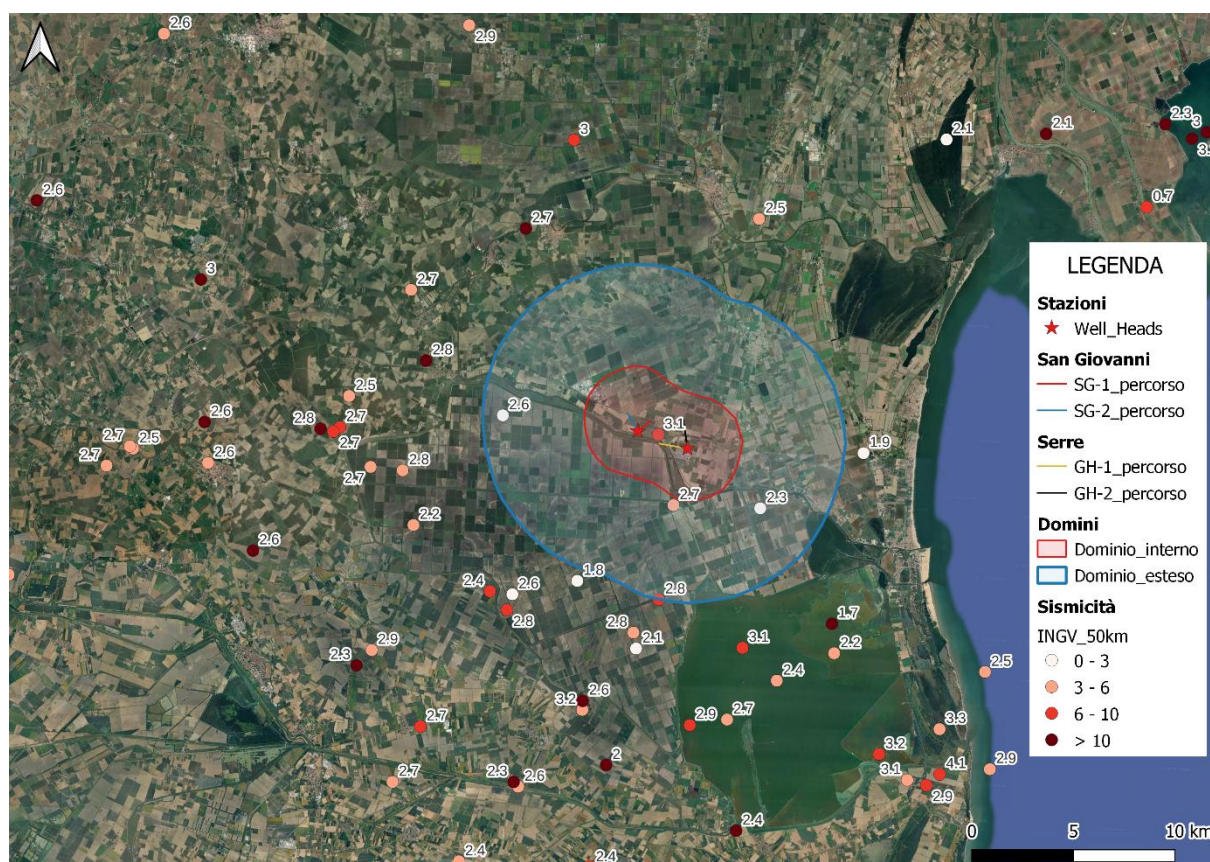


Figura 10. Sismicità strumentale riportata nel catalogo INGV dal 1985 al 2026, in un raggio di 30 km dal centro del Dominio Interno. L'etichetta a fianco del simbolo indica il valore di magnitudo locale dell'evento.



La Figura 11 mostra le profondità degli eventi sismici nel raggio di 30 km lungo due proiezioni E-W e N-S. Si osservi come molti eventi sono posti al valore standard di 5 o 10 km, indicazione del fatto che l'inversione è stata fatta fissando la profondità ipocentrale. Si osserva anche che alcuni eventi sono stati localizzati alle profondità del serbatoio geotermico. Non è al momento possibile valutare quale sia l'affidabilità di queste localizzazioni, anche in considerazione della scarsa copertura della rete nazionale.

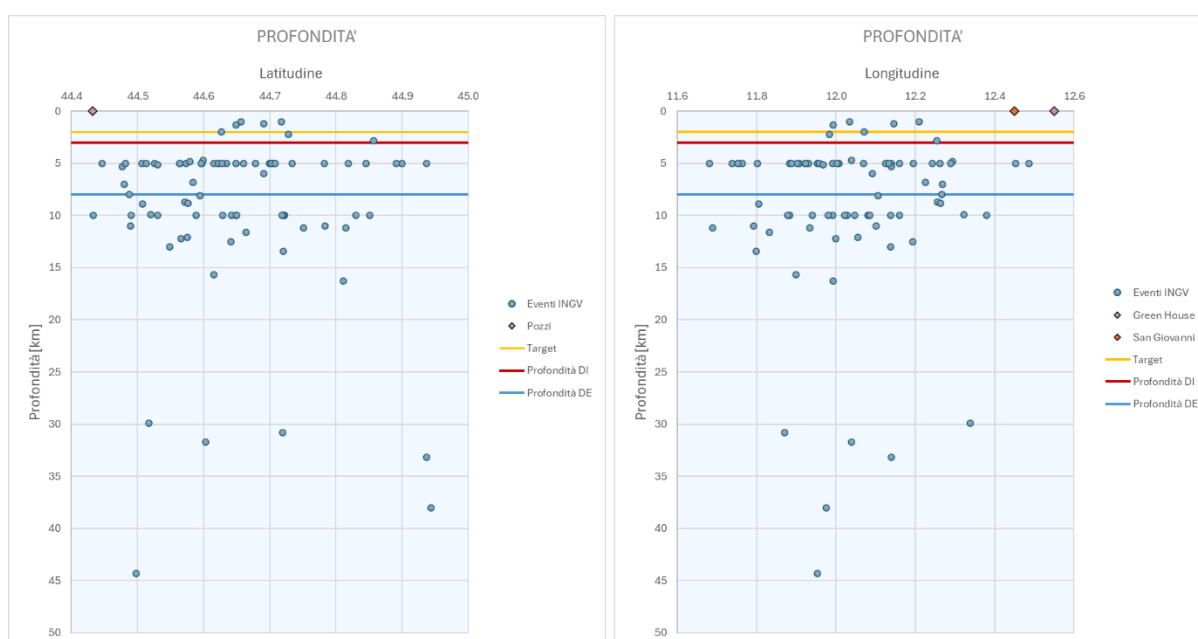


Figura 11. Sezione S-N, a sinistra, e E-O, a destra, dell'area oggetto di studio. I pallini in verde rappresentano la proiezione delle profondità ipocentrali degli eventi sismici strumentali presenti nel catalogo INGV dal 1985 al 2025, in un raggio di 30 km dai pozzi.

2.3.2. Sismicità storica

Per l'analisi della sismicità storica è stato utilizzato il Catalogo parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (Rovida et al., 2022), che raccoglie i terremoti storici riconosciuti in Italia nel periodo compreso tra l'anno 1000 e il 2006, elaborato e pubblicato dall'INGV.

All'interno dell'area rappresentata nella Figura 12 sono stati identificati 7 eventi sismici occorsi tra il 1895 e il 2002. In due di questi casi gli epicentri coincidono graficamente e sono quindi difficilmente distinguibili in figura.

La distribuzione spaziale mostra che la sismicità storica si concentra prevalentemente in prossimità della struttura Malalbergo-Ravenna che si sviluppa, come già detto precedentemente, a sud del giacimento. Alcuni eventi isolati si distribuiscono nel resto dell'area, tra cui l'evento del marzo 1895, che viene posizionato all'interno del dominio esteso ed è caratterizzato da una magnitudo stimata



maggiore di 4.5. Da ricordare che essendo un catalogo storico, sia le localizzazioni sia le stime di intensità dell'evento sono poco precise.

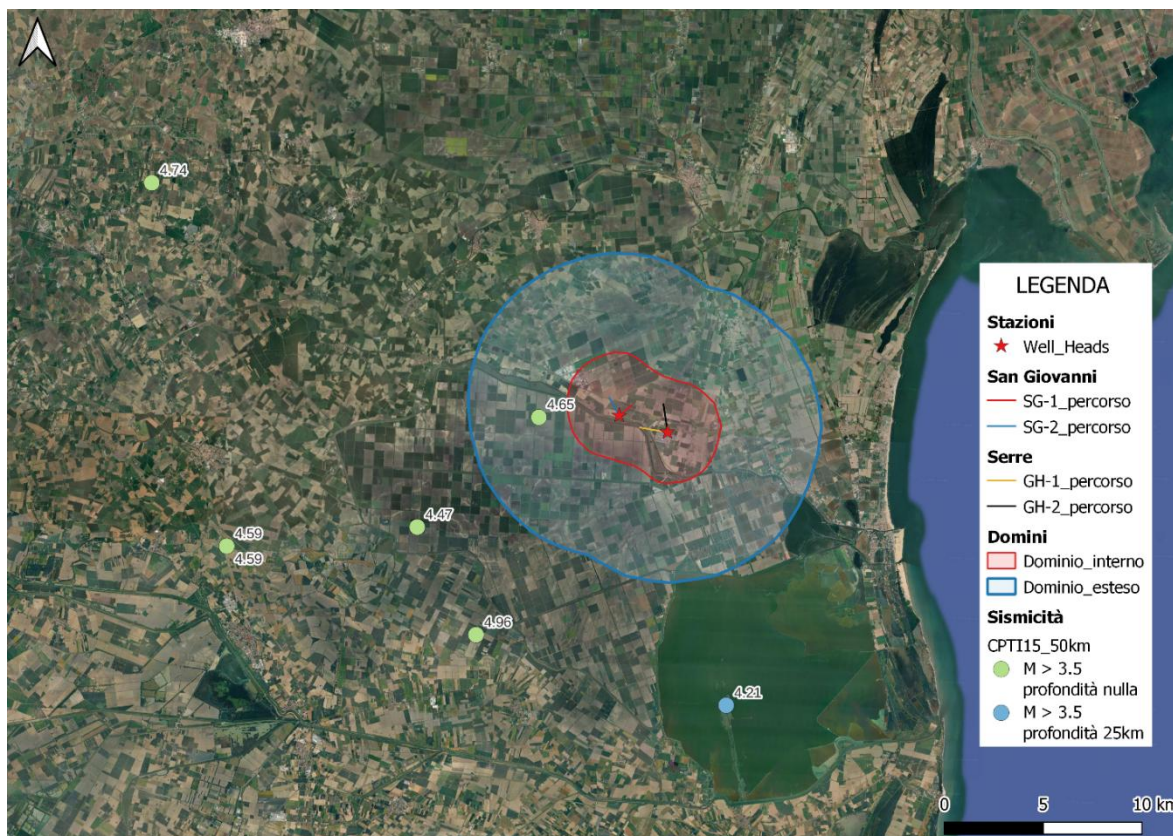



Figura 12. Sismicità storica nell'area della concessione di Ostello e nelle zone limitrofe, tratta dal Catalogo parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI15 (Rovida et al., 2022). Gli eventi sismici sono rappresentati dai marker verdi e blu in base alla profondità mentre la magnitudo è riportata dall'etichetta in figura.

Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	LatDef	LonDef	DepDef	MwDef	ErMwDef
1895	03	23				Comacchio	44.721	12.017		4.65	0.23
1895	07	30	10	47		Comacchio	44.669	11.942		4.47	0.40
1898	01	16	13	10		Romagna sett.	44.657	11.821		4.59	0.17
1898	03	09	11	43		Romagna sett.	44.657	11.821		4.59	0.37
1931	03	27	02	46	57	Ferrarese	44.821	11.764		4.74	0.54
1956	02	20	01	29	41	Argenta	44.621	11.982		4.96	0.14
2002	11	02	10	57	44	Ferrarese	44.593	12.143	24.5	4.21	0.10

Tabella 2. Catalogo degli eventi sismici storici identificati nell'area della concessione di Ostello e nelle zone limitrofe, tratto dal Catalogo parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI15 (Rovida et al., 2022).

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

3. VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI RUMORE AMBIENTALE

La valutazione della sensitività di una rete di monitoraggio microsismico richiede la registrazione e la caratterizzazione del rumore ambientale in-situ in differenti condizioni, nello specifico durante le ore diurne, che rappresentano la condizione di massimo disturbo, e durante le ore notturne, corrispondenti alla condizione di minimo rumore.

La scelta dei siti definitivi in cui verranno realizzate le piazzole di monitoraggio sismico dovrà tenere conto, oltre che degli aspetti logistici e di permitting, anche della distanza da potenziali sorgenti di rumore antropico, come strade ad alto traffico, siti industriali e fabbriche, discariche e aree soggette a transito di veicoli pesanti, al fine di minimizzare l'influenza di disturbi esterni sulle misurazioni.

3.1. Acquisizione dati

I punti di misura scelti si trovano in corrispondenza della testa del pozzo San Giovanni (SiteA) e del sito di perforazione dei pozzi Green House (SiteB), mostrati in Figura 13. Il dettaglio delle singole postazioni di misura è riportato in APPENDICE A – Misure di rumore ambientale.

Su entrambi i siti sono stati installati sensori velocimetri Lunistek modello Triton 1S a 3 componenti (le specifiche tecniche dello strumento sono riportate in APPENDICE B), i quali hanno acquisito dati in continuo per un periodo di circa 24 ore. Da segnalare che durante l'intero periodo di acquisizione l'area è stata purtroppo interessata da maltempo, con precipitazioni medio-forti, che hanno sicuramente prodotto livelli di rumore sismico ambientali superiori a quelli tipici.




Figura 13. Mappa dei punti in cui sono state effettuate le misure di rumore ambientale (triangoli arancioni). Viene evidenziata anche l'estensione del dominio interno (in rosso) oltre che la posizione e la traiettoria dei futuri pozzi (stelle rosse e linee colorate).

3.2. Analisi dati sismici passivi

Per caratterizzare il rumore ambientale, l'approccio adottato in questo studio è stato quello di calcolare le distribuzioni di probabilità dello spettro di potenza (*Probabilistic Power Spectral Densities*, PPSD) sui dati registrati nei due diversi siti. È stato utilizzato l'approccio classico di McNamara e Buland (2004), come implementato nella libreria ObsPy (Beyreuther et. al, 2010, Krischer et al., 2015). Le registrazioni vengono convertite in unità fisiche di accelerazione tramite rimozione della risposta strumentale. Il periodo temporale viene quindi suddiviso in finestre di durata predefinita (30 minuti in questo studio, con una sovrapposizione tra le diverse finestre del 65%) e su ciascuna finestra temporale viene calcolato lo spettro di potenza (PSD, *Power Spectral Density*) tramite Trasformata di Fourier. La popolazione di PSD così ottenuta è usata per stimare la corrispondente distribuzione di probabilità. Si osservi che le unità di misura utilizzate per le PSD (asse verticale dei plot) sono decibel, con le unità normalizzate rispetto a $1\text{m}^2\text{s}^{-4}\text{Hz}^{-1}$.

Per ciascuna stazione di misura e per ognuna delle tre componenti del sensore (Nord, Est e Verticale) è stata analizzata sia la distribuzione di probabilità del rumore ambientale sull'intero intervallo di frequenze, sia la variazione temporale dell'energia del segnale per tre bande di frequenza specifiche, centrate rispettivamente intorno a 10 Hz, 20 Hz e 30 Hz. I dati acquisiti sono stati analizzati considerando l'intero periodo di registrazione compreso tra le 12:00 UTC del giorno 02-02-2026 e le

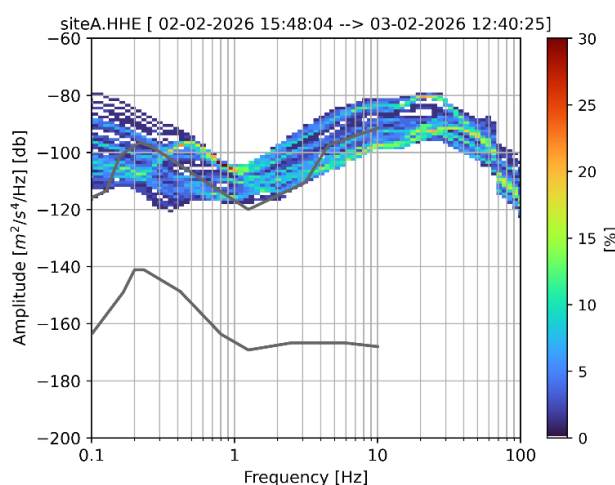
	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

12:00 UTC circa di quello seguente, in modo da considerare sia l'influenza del rumore antropico diurno che di quello notturno.

Nei grafici riportati in Figura 14 e Figura 16 vengono mostrate, per i due siti di misura, le PSD misurate sulle componenti verticali (Z) e sulle due componenti orizzontali (N & E) confrontate con le curve High e Low New Noise model (Peterson, 1993). In particolare, si osserva l'ampiezza del rumore registrato durante l'intero periodo di registrazione, per le diverse frequenze. Le probabilità di raggiungere le diverse ampiezze aumentano progressivamente spostandosi dal colore rosa verso il rosso, sull'asse delle ascisse vengono riportate le frequenze in scala logaritmica, mentre l'asse delle ordinate indica le ampiezze in dB.

Entrambi i siti sono caratterizzati da rumore ambientale piuttosto elevato: il sito A mostra ampiezze superiori alla curva HNNM per tutte le frequenze e per tutte le componenti, ad eccezione delle bassissime frequenze registrate dalla componente verticale, le quali non mostrano livelli di rumore elevati. Nei grafici riportati in Figura 15 e in Figura 17 si riportano, invece, le ampiezze del rumore ambientale misurate nel tempo, per diversi range di frequenza, centrati su 10 Hz (in blu), 20 Hz (in arancione) e 30 Hz (in verde). Si osserva una netta diminuzione del rumore ambientale durante le ore notturne, tra le 18:00 e le 06:00, circa. Durante il giorno, le frequenze maggiormente disturbate sono quelle intorno ai 20 Hz per il sito A e principalmente intorno ai 10 Hz per il sito B. Durante la notte, invece, sono le frequenze intorno ai 30 Hz ad essere maggiormente interessate da rumore, su entrambi i siti. Si riconoscono quindi due andamenti distinti del rumore ambientale, legati alle differenti condizioni di attività antropica.

STAZIONE A vicino a San Giovanni 1 - REGISTRAZIONE COMPLETA





REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

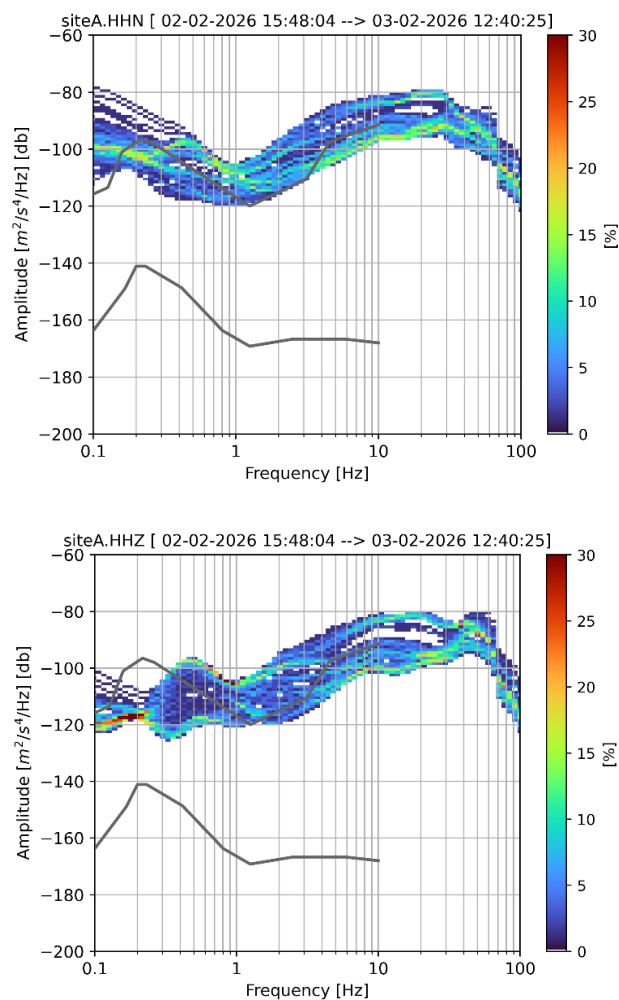


Figura 14. PPSD relative alla stazione posta nel sito A, componenti E, N & Z (dall'alto al basso, rispettivamente), per la fascia oraria completa. Le curve High e Low New Noise Model di Perteson (1993) sono riportate per confronto (linee grigie continue).



REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

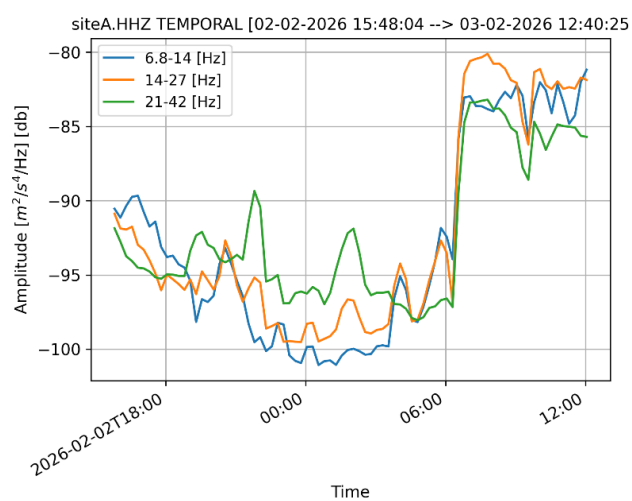
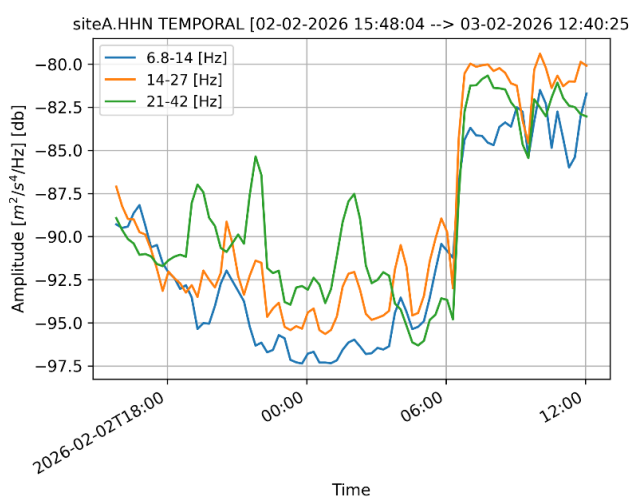
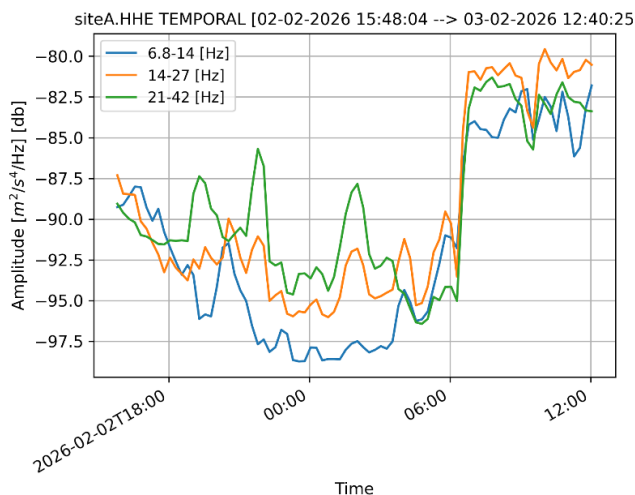


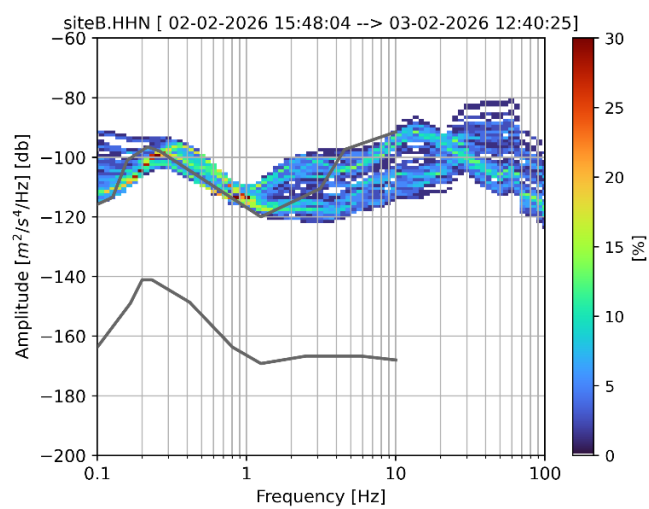
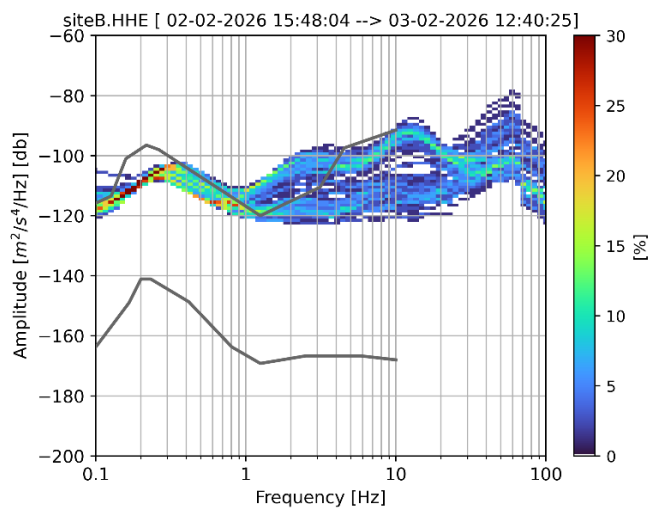
Figura 15. Andamento temporale dell'ampiezza del segnale per le bande di frequenza centrate a 10, 20 e 30 Hz, per la stazione posta nel sito A, componenti E, N & Z (dall'alto al basso, rispettivamente), per la fascia oraria completa.



REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

STAZIONE B zona serre - REGISTRAZIONE COMPLETA





REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

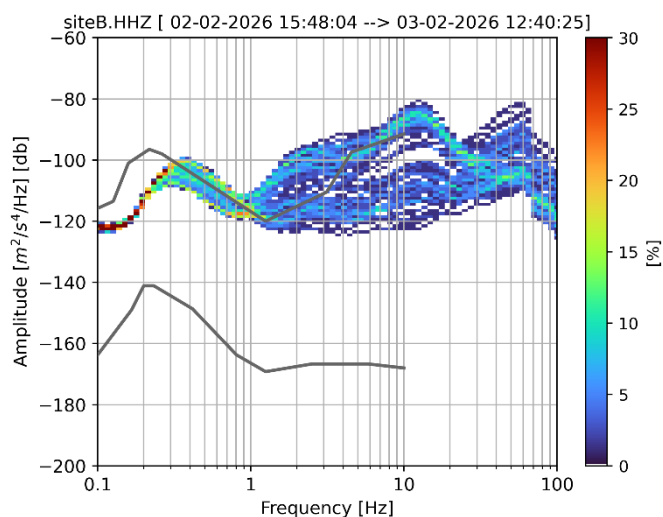
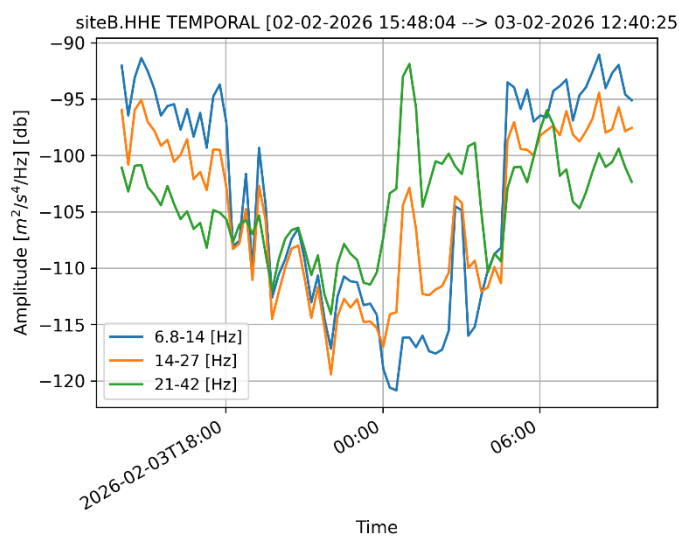


Figura 16. PPSD relative alla stazione posta nel sito B, componenti E, N & Z (dall'alto al basso, rispettivamente), per la fascia oraria completa. Le curve High e Low New Noise Model di Perteson (1993) sono riportate per confronto (linee grigie continue).





REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

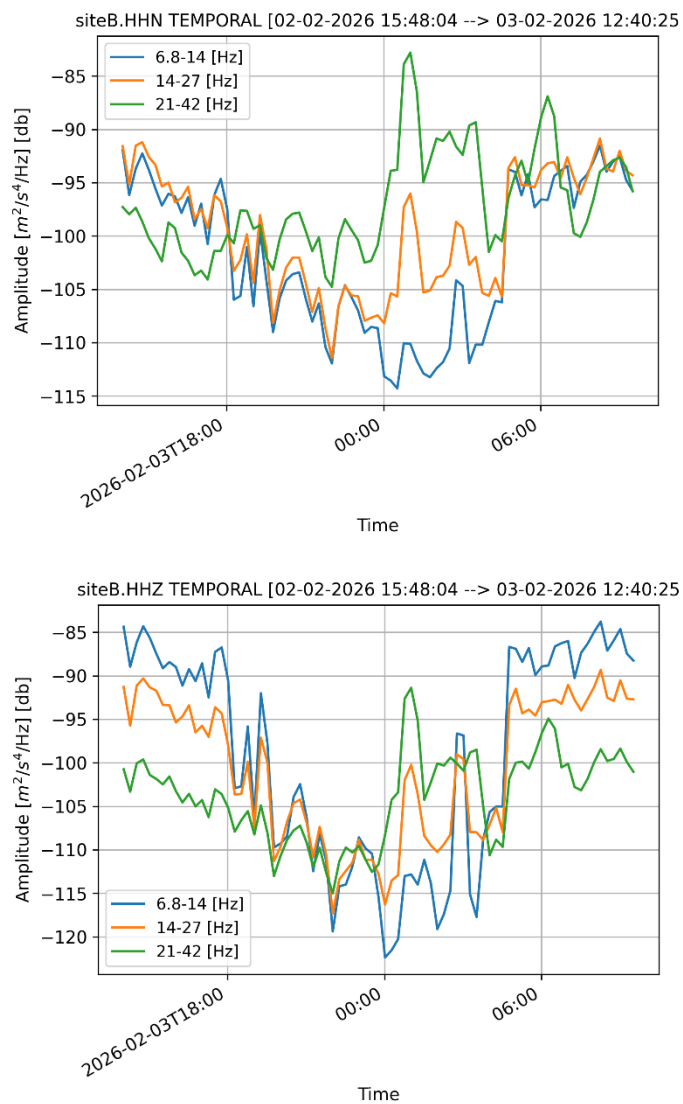



Figura 17. Andamento temporale dell'ampiezza del segnale per le bande di frequenza centrate a 10, 20 e 30 Hz, per la posta nel sito B, componenti Z, N & E (dall'alto al basso, rispettivamente), per la fascia oraria completa.

	REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di: ISAMGEO	02 APRILE 2026
---	---	----------------

4. PROGETTAZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO

4.1. RETE SISMICA

La progettazione della rete di monitoraggio riveste un ruolo fondamentale e deve essere condotta con particolare attenzione, in modo da garantire la capacità di distinguere in maniera affidabile gli eventi sismici naturali da quelli indotti. Una rete ben progettata deve inoltre assicurare una localizzazione precisa e accurata degli eventi, condizione essenziale per una corretta interpretazione dei fenomeni osservati.

La progettazione è stata effettuata seguendo le indicazioni relative alle linee guida ministeriali per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia (UNMIG, 2014 e Terlizzese, 2016).

Il target geotermico principale corrisponde alla sequenza torbidity del pliocene medio-superiore, la cui base ha una profondità media di circa 2240 m. Il "volume perturbato" identificato dal modello dinamico si estende dalla superficie fino a 3 km di profondità ed è allungato in direzione ONO-ESE.

Le linee guida ministeriali indicano che la rete di monitoraggio sismico debba avere una sensibilità, ovvero una capacità di detezione degli eventi sismici con magnitudo locale (ML) compresa tra 0 e 1 nel Dominio Interno, mentre nel Dominio Esteso la sensibilità deve essere di una unità di ML migliore rispetto alla rete nazionale. Schorlemmer et al., 2010 indica un valore di magnitudo di completezza pari o superiore a ML 2 per la zona di Ostellato (Figura 18), ma come indicato in precedenza il catalogo sismico suggerisce che questa sia prossima ad almeno ML 2.5.

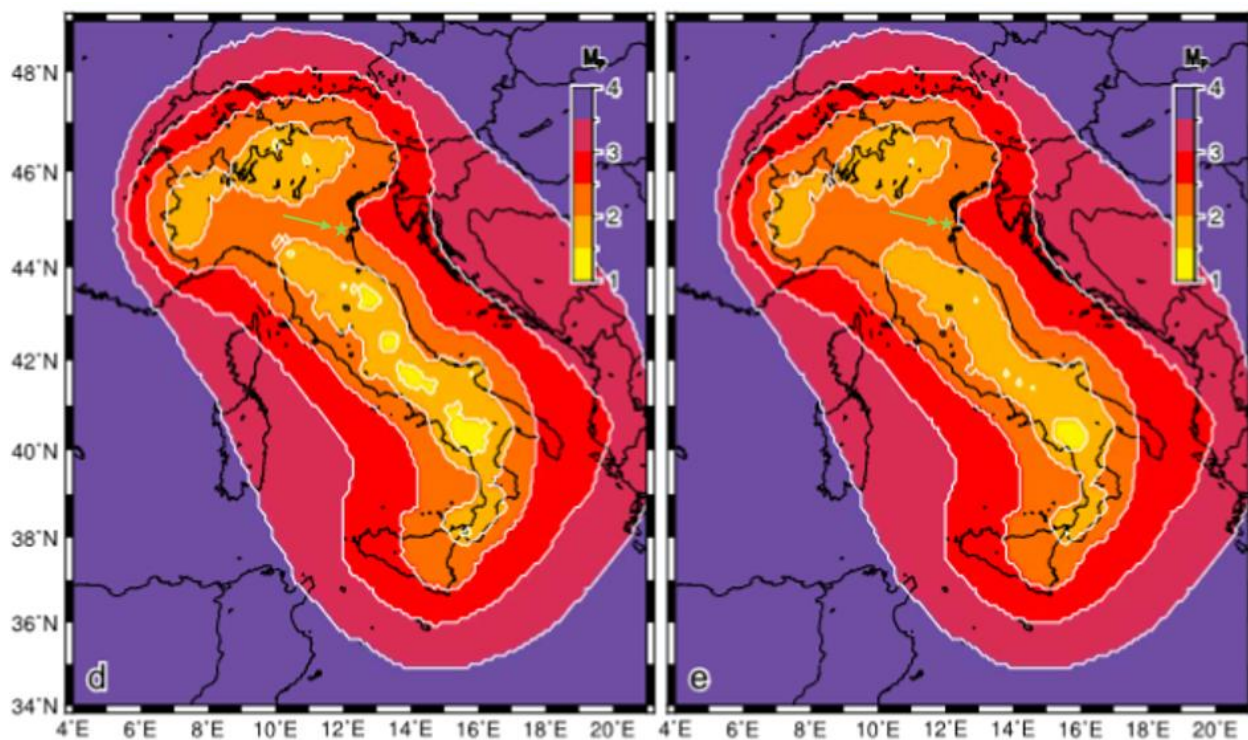


Figura 18. Mappa di valutazione della magnitudo di completezza per eventi a profondità 0km (sinistra) e 15km (destra) con probabilità $P=0.999$ secondo Schorlemmer et al., 2010 (loro Fig. 4, pannelli d-e). La stella verde indica la posizione approssimativa della concessione di "San Giovanni".

La Figura 19 mostra la configurazione della rete locale progettata mentre le Figura 20 e Figura 21 mostrano invece la sua copertura azimutale rispetto alla posizione dei pozzi geotermici ed ai domini di rilevazione. La copertura azimutale, caratterizzata tramite l'indicatore "gap azimutale", serve a comprendere quale sia la zona in cui la rete è in grado di caratterizzare con sufficiente accuratezza i parametri focali degli eventi, in particolare la posizione epicentrale. In particolare, la Figura 20 riporta il "gap azimutale" da 0° a 360°, mentre in Figura 21 viene mostrata la copertura azimutale fino ad un massimo di 200°, ossia dove l'accuratezza delle localizzazioni è migliore. Da entrambe le mappe si osserva come tutto il DI si trovi nella zona dove la copertura è massima, mentre il DE mostra una copertura da buona a discreta man mano che ci si avvicina alle aree più prossimali rispetto ai pozzi.

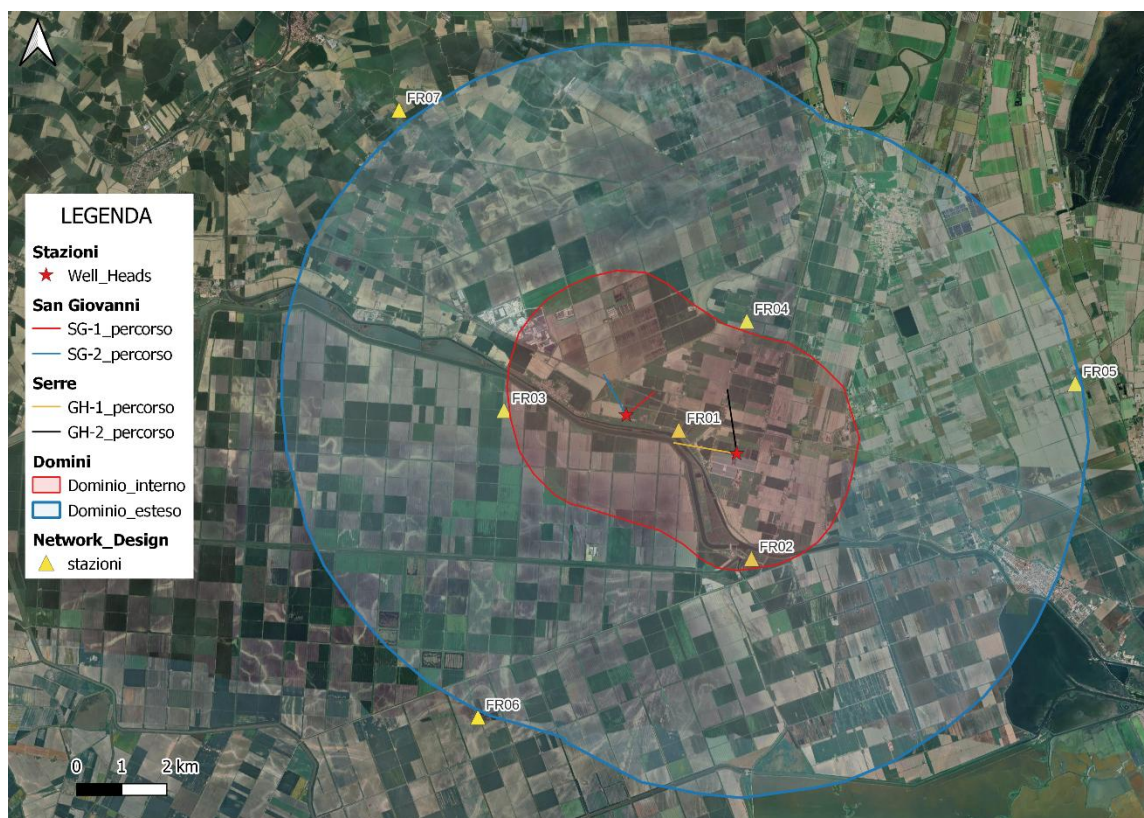


Figura 19. Mappa della distribuzione dei sensori appartenenti alla rete di monitoraggio sismico progettata per la concessione di San Giovanni.

La rete progettata prevede stazioni installate in superficie, ad eccezione della stazione FR01, situata in posizione centrale a una profondità di 100 m, in modo da ridurre drasticamente l'effetto del rumore sismico superficiale, derivante dalle apparecchiature dell'impianto geotermico e delle vicine serre. La profondità delle altre stazioni sarà rivalutata successivamente, in sede di progettazione definitiva, ed a valle di una campagna di scouting dei siti e misura del rumore sismico ambientale di dettaglio.

In questo report verranno riportate le mappe di sensibilità della rete e di incertezze di localizzazione, sia orizzontale che verticale. Nel modello sono stati ipotizzati ipocentri a 2 km di profondità (corrispondente circa alla profondità del target principale), a 3 km di profondità (corrispondente al limite del dominio interno) e a 8 km di profondità (corrispondente al limite del dominio esteso).



REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

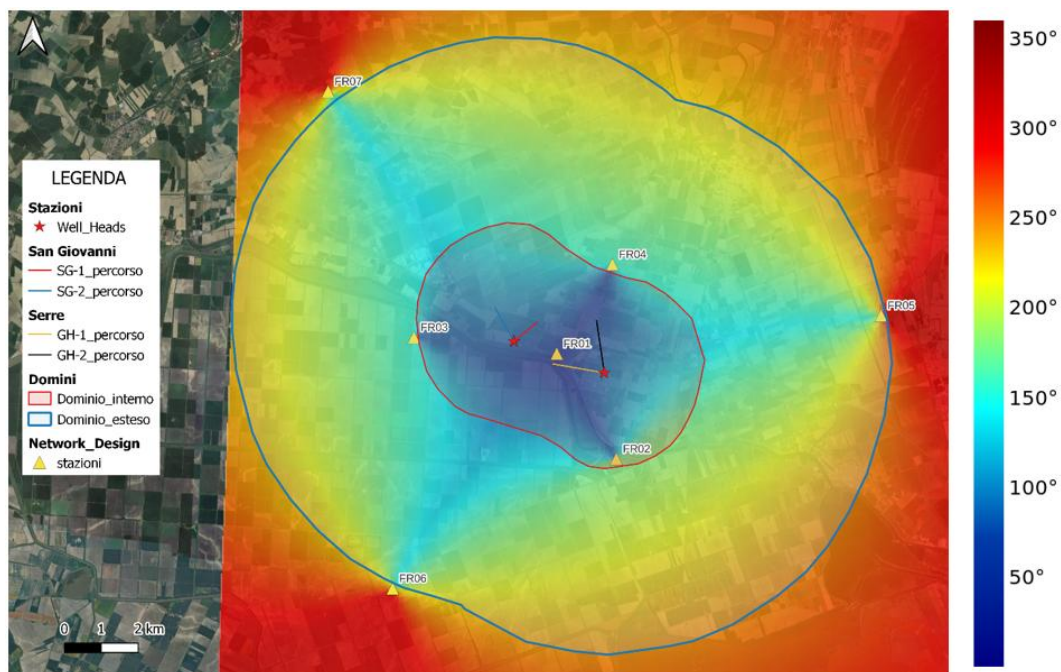


Figura 20. Mappa di copertura azimutale della rete di monitoraggio sismico progettata per la concessione di San Giovanni.

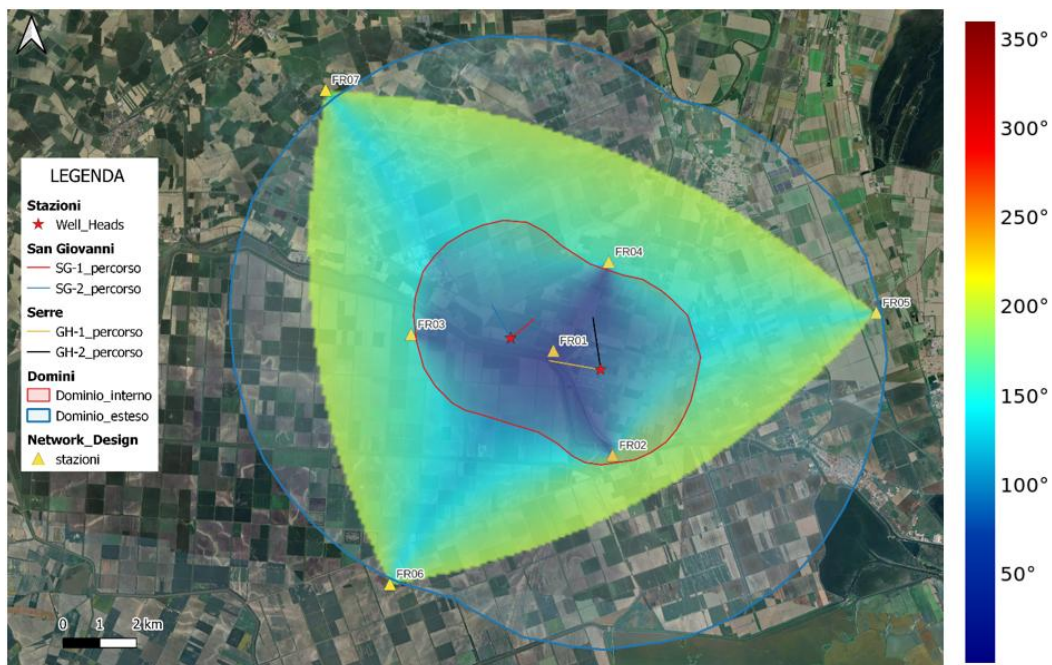



Figura 21. Mappa di dettaglio (soglia a 200) della copertura azimutale della rete di monitoraggio sismico progettata per la concessione di San Giovanni.

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di: ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	---	-----------------------

4.1.1. Valutazione della sensibilità della rete proposta

La metodologia utilizzata per la valutazione della sensibilità della rete, intesa come capacità di identificare e localizzare con sufficiente accuratezza eventi sismici, è ben conosciuta. Un'ampia descrizione e discussione si trova nella letteratura nazionale ed internazionale (es., D'Alessandro et al., 2011, Kraft et al., 2013, Stabile et al., 2013, Carannante et al., 2017), poiché questo approccio è stato usato ampiamente per la progettazione ed analisi di sensitività di reti di monitoraggio sismico a differenti scale (per es. D'Alessandro et al., 2011, Kraft et al., 2013, INGV 2015a,b).

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).

Terremoti di moderata magnitudo presentano valori di variazione di stress sulla faglia che ha generato l'evento sismico ($\Delta\sigma$, "stress drop") compresi nello stretto range 1-10 Mpa (D'Alessandro et al., 2011). 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:

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

$$f_c = \beta \left(\frac{\Delta\sigma}{8.47M_0} \right)^{1/3}, C = \frac{F_s R_{\theta\omega}}{4\pi\rho\beta^3}$$

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 , il quale 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).

	REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di: ISAMGEO	02 APRILE 2026
---	---	----------------

L'attenuazione, infine, viene parametrizzata utilizzando un fattore di qualità $Q(f)$ dipendente dalla frequenza, secondo la relazione $Q(f) = Q_0 f^2$ (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 PSD, opportunamente convertite. Un evento è considerato identificabile sul sismogramma solo se il rapporto segnale/rumore è maggiore di un valore soglia. In letteratura è stato indicato che già un rapporto segnale/rumore di 2 sia sufficiente per identificare manualmente le fasi sismiche, sebbene la precisione del picking sia limitata (Steck et al. 2001, Stabile et al., 2013). In via cautelativa, in questo studio sono stati considerati valori pari o superiori a 4. Infine, un evento è considerato localizzabile quando viene identificato da un certo numero di stazioni (≥ 3 , con un minimo di 5 fasi P e/o S). Maggiore è il numero di stazioni che rilevano l'evento, più è stabile e precisa la localizzazione. Nella simulazione è stato usato un minimo di 4 stazioni per generare le mappe di sensitività della rete.


4.1.2. 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 .

Per lo sviluppo del modello di velocità per la concessione di San Giovanni sono stati presi in considerazione stratigrafia e parametri utilizzati per la creazione del modello MAMBo, un modello sismico 3D dell'intera piana del Po e delle regioni circostanti del nord Italia, il quale ricopre un'area approssimativa di 600 x 300 km, con una griglia spaziale di 1 km circa (Molinari et al., 2015). Per la realizzazione di tale modello sono stati raccolti tutti i dati di tipo geologico e geofisico, provenienti da profili di sismica a rifrazione e sismica a riflessione, log di pozzo e dati geologici disponibili in letteratura per l'area in esame. Il modello è composto da sette strati, corrispondenti alle principali unità geologiche (Molinari et al., 2015). Per ogni strato sono stati definiti i valori di VP, VS e densità, in funzione della litologia e della profondità.

Per quanto riguarda i coefficienti di attenuazione, è stato adottato un valore medio di Q pari a 150 sia per le fasi P che S. Questo valore è coerente con diversi studi disponibili in letteratura relativi al Nord Italia (per es. Castro et al., 2008, Morasca et al., 2010, Del Pezzo et al., 2011).

Anche il parametro di decadimento spettrale k varia secondo la litologia ed il grado di cementazione e sono stati scelti dei valori medi validi per la pianura Padana, seguendo Carannante et al., (2016) e INGV (2019).

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

In questo studio, la parametrizzazione è stata scelta seguendo un approccio cautelativo al fine di ottenere risultati che diano indicazioni sulle performance minime ottenibili dalla rete di monitoraggio.

In particolare, per questo studio sono stati utilizzati valori di β 2400 m/s e valori di k pari a 0.01, compatibili con la tipologia di litologie presenti nell'area (Carannante et al., 2017, INGV, 2015).

4.1.3. Soglie di localizzazione

La modellistica ha l'obiettivo di stimare l'intensità minima degli eventi che possono essere identificati e localizzati dalla rete nel volume di sottosuolo compreso nei domini di rilevazione (UNMIG, 2014, Terlizze, 2016).

Le Figura 22, Figura 23, Figura 24 riportano i risultati delle simulazioni per la rete a 7 stazioni, con livelli di rumore ambientale completi, per eventi con ipocentro a diversa profondità: 2 km (Figura 22), cioè circa al livello del target principale, 3 km (Figura 23), ovvero al limite inferiore del Dominio Interno e 8 km (Figura 24), ovvero al limite inferiore del Dominio Esteso.

Tutte le mappe riportate sono relative ad uno scenario in cui i livelli di rumore sono pari al 60esimo percentile dei valori misurati. Si è optato per questo percentile per motivi cautelativi, al fine di considerare uno scenario caratterizzato da livelli di rumore piuttosto elevati. Allo stesso tempo, non si è scelto un percentile più alto poiché i sensori sono stati installati in campi agricoli e posizionati su suoli non perfettamente compatti, quindi in condizioni di installazione non ottimali. I risultati ottenuti sono dunque da considerarsi come degli scenari conservativi; questo significa che, per la maggior parte del tempo, la rete avrà una capacità di localizzare eventi migliore di quella riportata in mappa. Per tutti gli scenari, è stata considerata un'installazione di 6 sensori in superficie e di uno posto a -100 m rispetto al piano campagna.

Dalle analisi condotte si conclude che, considerando le registrazioni di rumore ambientale complete, la magnitudo locale minima identificabile a livello della profondità del target principale (ipocentro a 2 km di profondità) è inferiore a ML 0.2; a livello del dominio interno (3 km di profondità) la ML minima osservabile è sempre di 0.2, mentre ipotizzando un ipocentro a livello del dominio esteso (8 km) il valore è minore di ML 0.5.

La tabella 3 riporta i valori soglia di magnitudo locale degli eventi che possono essere identificati e localizzati dalla rete. Così progettata, la rete avrà una magnitudo di completezza migliore di quella suggerita dalle linee guida ministeriali (Terlizze, 2016).



Profondità ipocentro [km]	ML
2 (target)	<0.2
3 (DI)	0.2
8 (DE)	<0.5

Tabella 3. Valori di magnitudo minima degli eventi sismici localizzabili dalla rete, con valori di rumore ambientale completi, simulando ipocentri a livello del target principale (2 km), del dominio interno (3 km) e del dominio esteso (8 km).

SENSIBILITA' della RETE DI MONITORAGGIO SISMICO

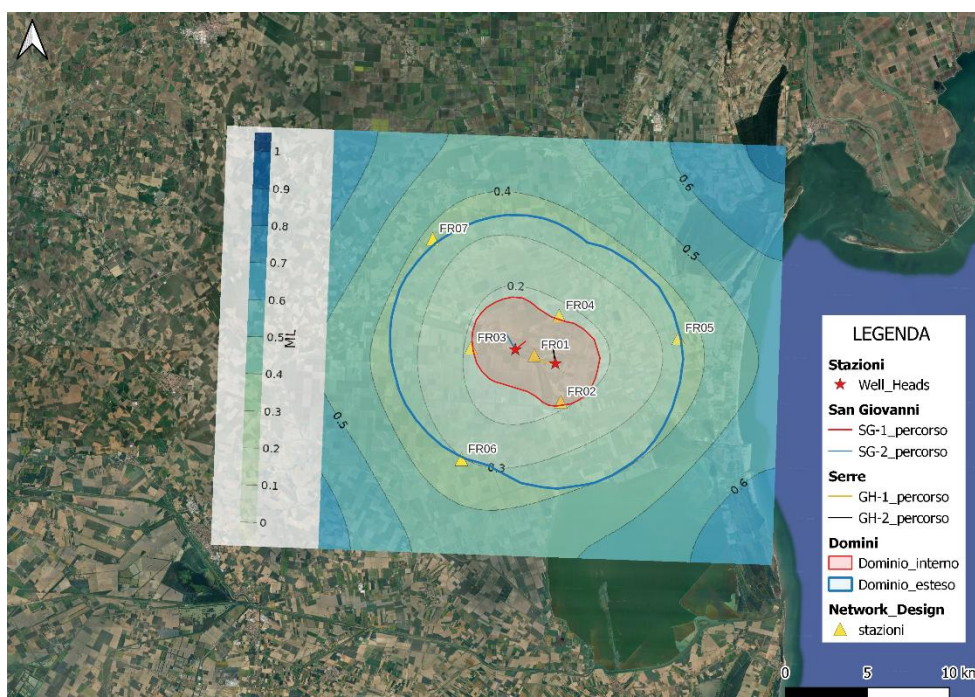


Figura 22. Mapa di sensibilità stimata per la rete proposta, ottenuta con livelli di rumore ambientale completi, per eventi sismici con ipocentro alla profondità del target principale (2 km).



REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

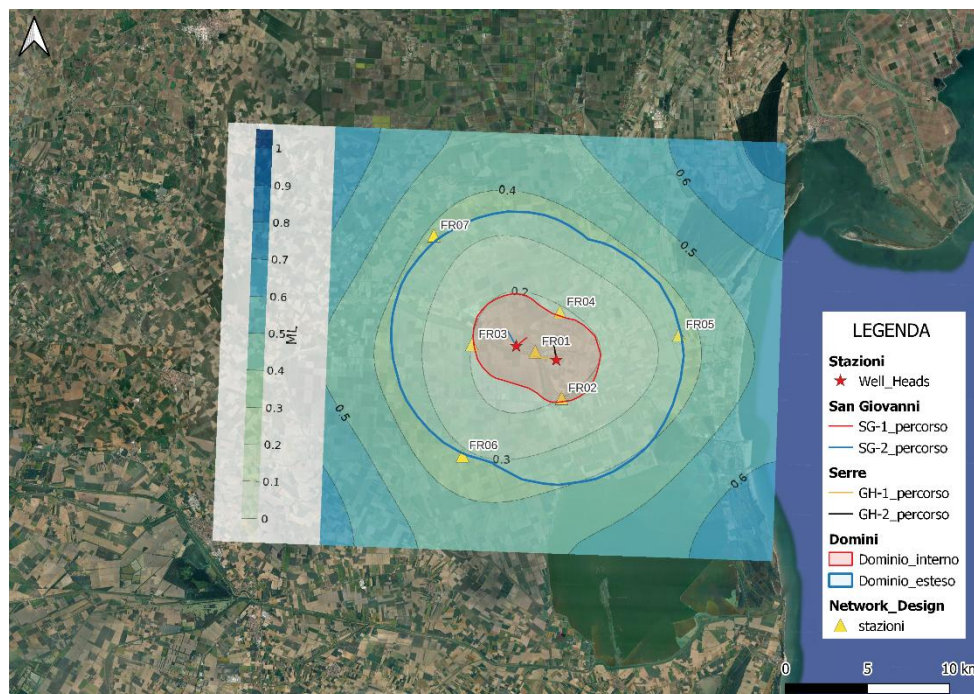


Figura 23. Mappa di sensibilità stimata per la rete proposta, ottenuta con livelli di rumore ambientale completi, per eventi sismici con ipocentro alla profondità del dominio interno (3 km).

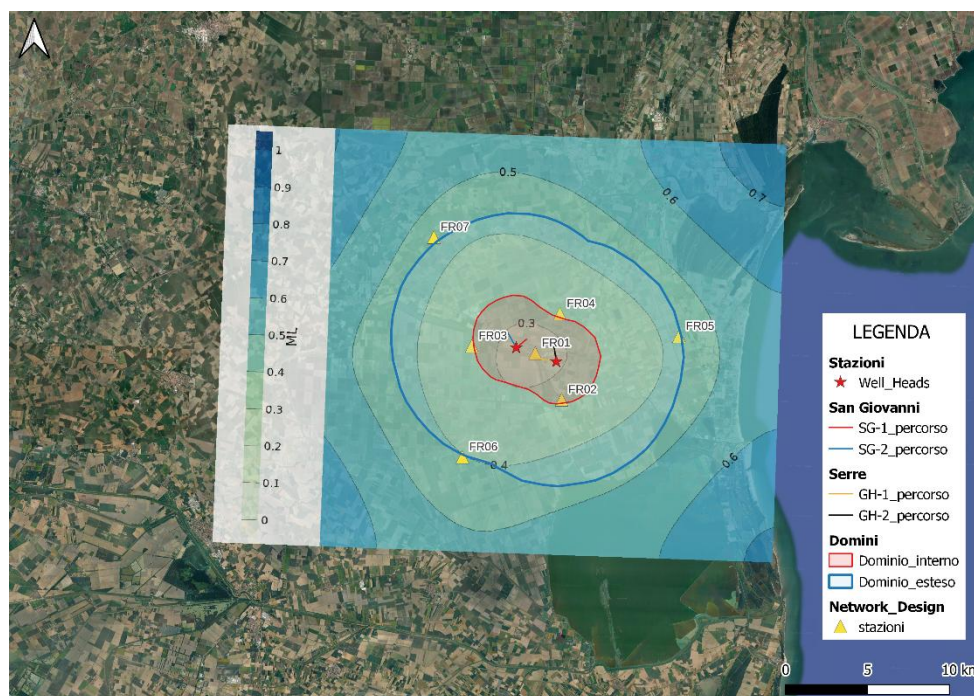



Figura 24. Mappa di sensibilità stimata per la rete proposta, ottenuta con livelli di rumore ambientale completi, per eventi sismici con ipocentro alla profondità del dominio esteso (8 km).

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

4.1.4. Incertezze di localizzazione

La valutazione delle incertezze legate alla localizzazione degli eventi sismici è il risultato di quattro fattori chiave (Pavlis, 1986; Husen e Hardebeck, 2010):

- Incertezza nella stima del tempo di arrivo (errore di picking – ad esempio, Phillips et al. 2000);
- Errori di modellazione del travelttime, derivanti dalla conoscenza imperfetta dei modelli di velocità P ed S (ad esempio, Usher et al., 2013);
- Natura non lineare del problema di localizzazione;
- Geometria della rete di stazioni, vincolata dalla disponibilità limitata di punti di osservazione (ad esempio, Eisner et al., 2010).

La qualità della copertura spaziale, che influenza l'accuratezza della localizzazione, dipende dalla posizione delle stazioni ed è quantificabile dal gap azimutale. La rete di San Giovanni garantisce una copertura ottima di tutta l'area del DI e una buona copertura dell'area coincidente con il DE.

Incetezza sulla stima del tempo di arrivo

Supponendo che i fattori soggettivi possano essere almeno limitati, il rapporto segnale-rumore (SNR) diventa il principale fattore che controlla la qualità e l'accuratezza del picking. Pertanto, il miglioramento della qualità del picking è direttamente collegato al pre-processing applicato ai sismogrammi con l'obiettivo di migliorarne il SNR.

Comunemente, l'errore di picking viene considerato come una variabile casuale distribuita simmetricamente e normalmente attorno al tempo di arrivo reale, anche se alcuni autori hanno dimostrato che la distribuzione può essere altamente asimmetrica (Diehl et al. 2012, Abakumov et al. 2020).


A seguito di queste considerazioni, viene assunto che l'errore di picking segua una distribuzione gaussiana con media pari a zero e varianza σ^2 . Quest'ultimo può essere quantificato utilizzando la teoria dell'informazione e il teorema di Shannon-Hartley (Aki, 1976), e descritto dall'equazione

$$\sigma^2 = \left(\log_2 \left(1 + \frac{SNR}{k} \right) \cdot 2f_{max} \right)^{-2}$$

Dove f_{max} è la larghezza massima di banda, approssimata tramite il massimo dello spettro di frequenza per il corrispondente modello sorgente di Brune, SNR il rapporto segnale-rumore e k rappresenta un fattore empirico pari a $k = 20$ (Aki, 1976).

Errori di modellazione del travelttime.

Tenendo conto dell'incertezza associata ai tempi di percorrenza delle fasi dovuta alle incertezze legate al modello di velocità, il tempo di percorrenza differenziale è affetto da un errore che può

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

essere quantificato come $\eta_i = \varepsilon(T_{S,ij} + T_{P,ij})$ dove ε è l'errore relativo (rapporto tra l'incertezza di misura e la media della distribuzione).

Mappe degli errori di localizzazione

Considerando una griglia arbitrariamente densa di posizioni ipocentrali, per ogni possibile ipocentro abbiamo:


- T_P il tempo di riferimento per la fase P nella posizione dell'ipocentro (dal modello di velocità P di riferimento)
- T_S il tempo di riferimento per la fase S nella posizione dell'ipocentro (dal modello di velocità S di riferimento)
- $\Delta T_{SP} = T_S - T_P$ il tempo differenziale di arrivo delle due fasi dell'onda da utilizzare nella localizzazione
- $\eta = \alpha_S T_S + \alpha_P T_P$ l'incertezza sul ΔT_{SP} derivante dagli errori associati al modello di velocità, dove α_P , e α_S rappresentano l'errore relativo sul tempo di percorrenza effettivo T_P e T_S , rispettivamente. E' importante sottolineare che la somma delle incertezze di T_P e T_S implica l'assunzione che gli errori siano variabili casuali indipendenti, che è lo scenario meno conservativo.
- L'errore di picking definito dalla distribuzione nell'equazione precedente.

Un errore totale (ε_{tot}) viene calcolato sommando tutte queste fonti di errore. Tale errore viene poi associato al tempo di transito tra ciascuna posizione dell'ipocentro nella griglia di calcolo e ciascuna stazione della rete. Di conseguenza, vengono definite due semisfere concentriche di raggio $R_i - \Delta R_i$ e $R_i + \Delta R_i$ centrati sulla i-esima stazione con $\Delta R_i = \varepsilon_{tot} \left(\frac{V_P V_S}{V_S - V_P} \right)$.

Poiché un singolo evento sismico è responsabile di tutti gli arrivi nelle posizioni delle stazioni, ciò implica che le corone sferiche di tutte le stazioni devono intersecarsi in un volume contenente tutte le potenziali posizioni dell'ipocentro (chiamato anche volume di localizzazione).

Questo metodo è ancora valido per un semispazio non omogeneo; tuttavia, le isocrone non sono più sferiche e l'errore ΔR_i non può essere calcolato analiticamente ma solo numericamente.

L'insieme di tutti i punti racchiusi nel volume di localizzazione può essere sfruttato quantitativamente per valutare le incertezze della localizzazione dell'evento sismico utilizzando quantità statistiche come la media, la mediana e la deviazione standard, valutando la distribuzione dell'errore RMS di tutti i potenziali ipocentri all'interno del volume di localizzazione. L'errore di localizzazione orizzontale (Err_{hor}) e verticale (Err_{ver}) vengono calcolati considerando la distanza spaziale tra il valore medio della distribuzione degli ipocentri potenziali nel piano orizzontale (xy ovvero easting-northing) e verticale (profondità) rispetto la posizione reale dell'ipocentro con le seguenti equazioni:

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

$$Err_{hor} = \sqrt{(x_{reale} - x_{medio})^2 + (y_{reale} - y_{medio})^2}$$

$$Err_{ver} = |z_{reale} - z_{medio}|$$

Ripetendo il calcolo per tutti i punti della griglia computazionale, possiamo creare le mappe degli errori di localizzazione.

Risultati

Le simulazioni sono condotte utilizzando il modello di velocità definito nel paragrafo 5.1.2 ‘Scelta dei parametri geofisici’ e utilizzando i seguenti parametri numerici:


- $SNR = 6$, sia per la fase P che per la fase S
- $f_{max} = 30 \text{ Hz}$
- $\alpha_P = 0.005 \text{ s}$
- $\alpha_S = 0.01 \text{ s}$

Le Figure 17.1 e 17.2 riportano i risultati delle simulazioni relative alla rete a 7 stazioni, riferiti all’incertezza orizzontale per ipocentri posti a 3 km (Fig. 17.1), limite inferiore del Dominio Interno di rilevazione e 8 km (Fig 17.2), limite inferiore del Dominio Esteso. Analogamente, le Figure 18.1 e 18.2 riportano i risultati delle simulazioni ottenute per la medesima rete e alle stesse profondità, ma relativi alle incertezze verticali.

Le isolinee rappresentano il valore dell’incertezza della localizzazione in metri.

Le simulazioni effettuate mostrano che la rete progettata ha un'accuratezza in linea con quanto definito dalle linee guida ministeriali (UNMIG, 2014, Terlizze, 2016). Tali direttive stabiliscono che l’incertezza nella localizzazione dell’ipocentro non debba superare alcune centinaia di metri all’interno del Dominio Interno di rilevazione, e sia di circa 1 km nel Dominio Esteso. Gli intervalli di valori delle incertezze verticali e orizzontali nei domini di rilevazione, derivati dalle simulazioni numeriche, sono riportati nella Tabella 4, mentre le figure successive presentano una visualizzazione grafica di tali dati.

Incertezze orizzontali (m) @ 3 km di profondità-DI		Incertezze orizzontali (m) @ 8 km di profondità-DE	
MIN	MAX	MIN	MAX
100	<200	<200	<200

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

Incertezze verticali (m) @ 3 km di profondità-DI		Incertezze verticali (m) @ 8 km di profondità-DE	
MIN	MAX	MIN	MAX
500	800	200	400

Tabella 4. Intervallo di valori delle incertezze di localizzazione derivanti dalla simulazione numerica alle profondità di 3 km e 8 km (da sinistra a destra, rispettivamente).

INCERTEZZE ORIZZONTALI

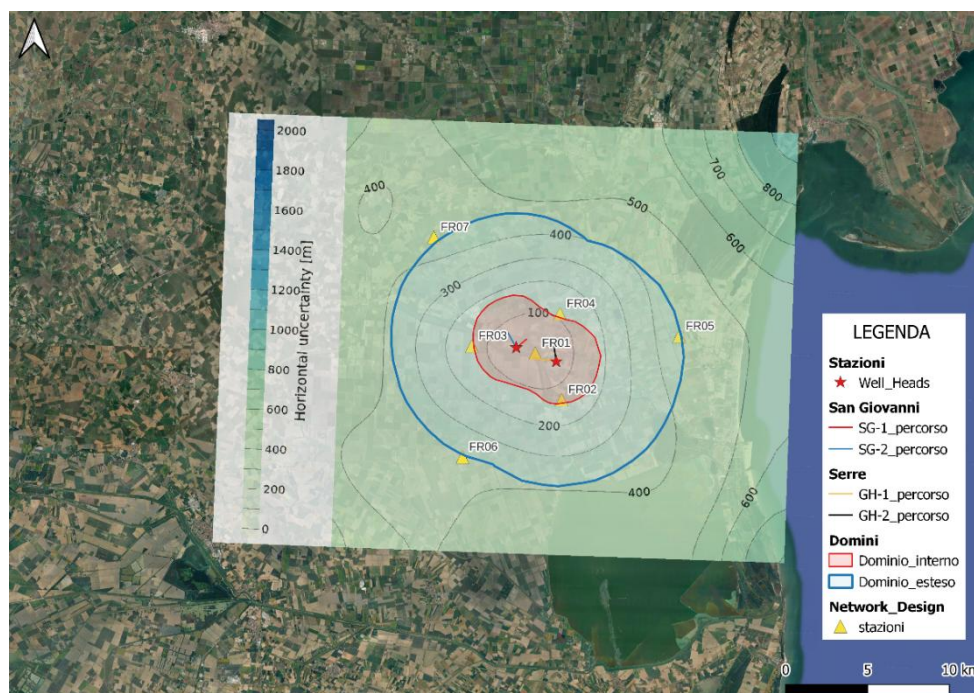


Figura 25. Mappa delle incertezze orizzontali di localizzazione della rete progettata per la concessione San Giovanni, con ipocentro alla profondità del dominio interno (3 km).



REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

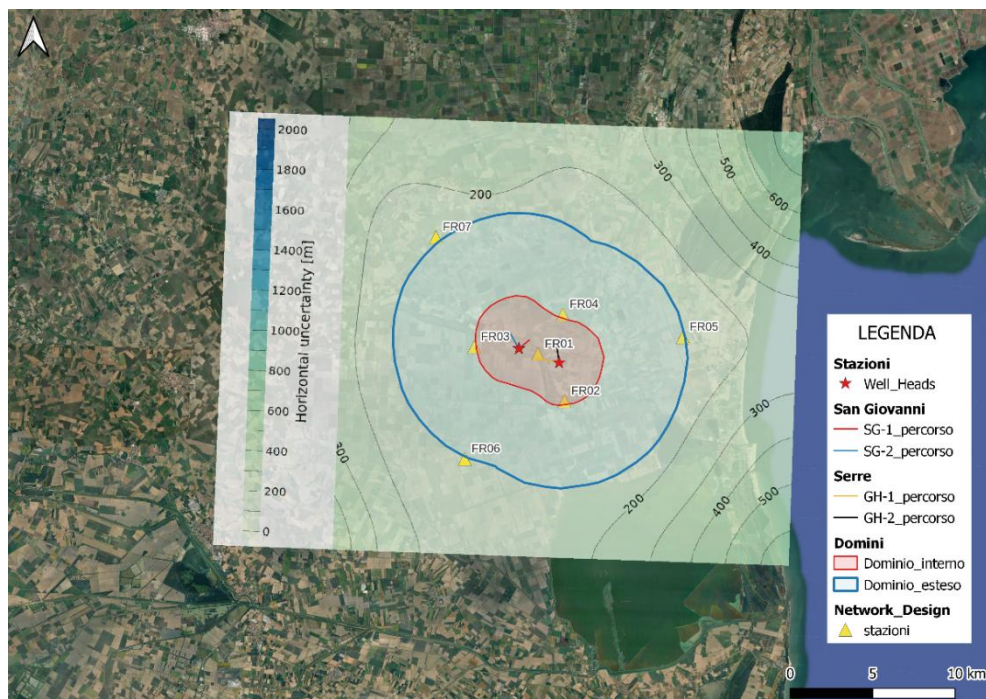


Figura 26. Mappa delle incertezze orizzontali di localizzazione della rete progettata per la concessione San Giovanni, con ipocentro alla profondità del dominio esteso (8 km).

INCERTEZZE VERTICALI

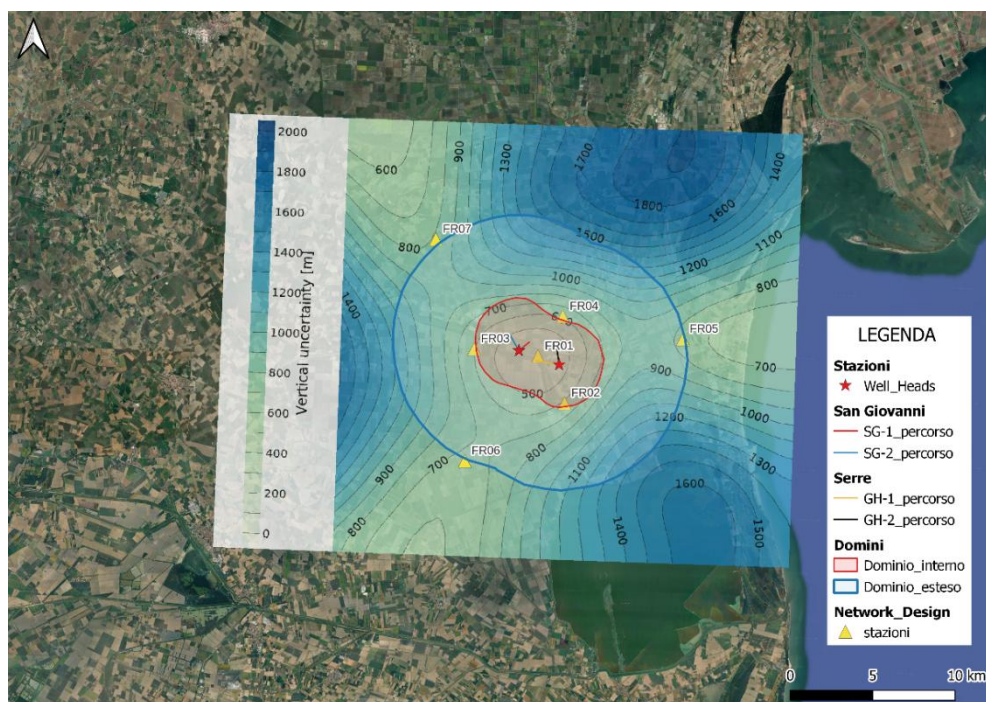


Figura 27. Mappa delle incertezze verticali di localizzazione della rete progettata per la concessione San Giovanni, con ipocentro alla profondità del dominio interno (3 km).

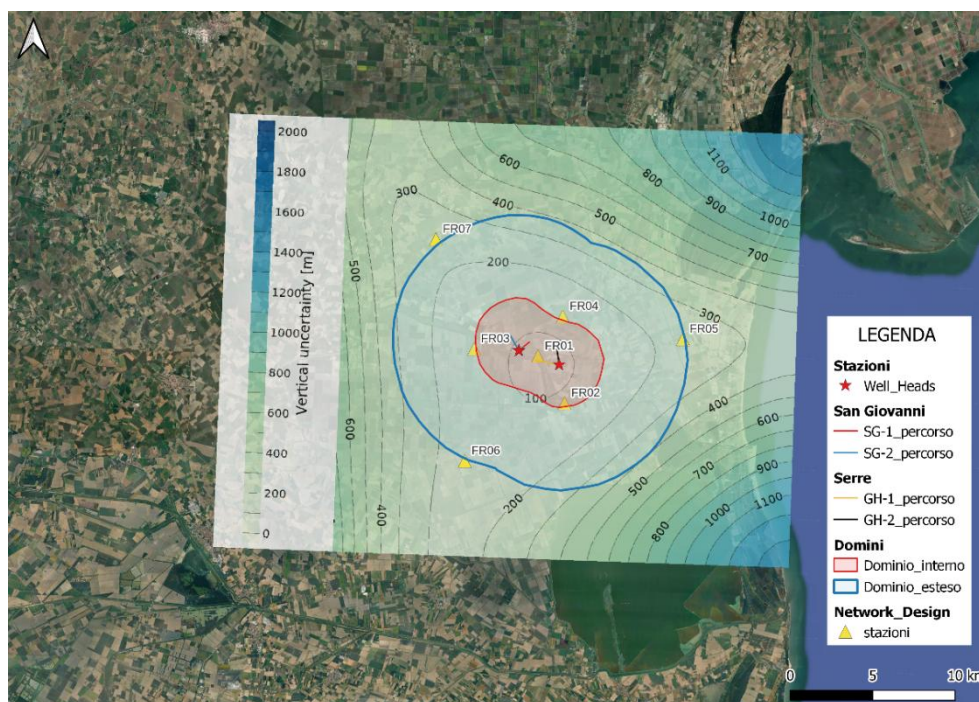


Figura 28. Mappa delle incertezze verticali di localizzazione della rete progettata per la concessione San Giovanni, con ipocentro alla profondità del dominio esteso (8 km).

4.2. RETE DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA

Oltre al monitoraggio della sismicità, è previsto anche un monitoraggio degli spostamenti del suolo nell'area del permesso di ricerca "San Giovanni" e zone limitrofe, con particolare attenzione al DI. In particolare, dovrà essere verificata l'eventuale subsidenza indotta dallo sfruttamento della risorsa.

Una analisi preliminare e semi-quantitativa, condotta sulla base delle stime di variazione di pressione dei pori attese a partire dalle stime del modello fluidodinamico, scenario C2 (si veda Sezione 2 di questo report) e dello spessore del volume disturbato suggerisce che sul lungo periodo (30anni) lo sfruttamento della risorsa geotermica nella F.ne Porto Garibaldi conduca ad un incremento molto modesto dei tassi di subsidenza, anche in conseguenza alla re-iniezione completa dei fluidi. Una stima fatta utilizzando il quantile superiore della compressibilità uniassiale per la F.ne Porto Garibaldi (Baù et al., 2002, Ferronato et al., 2003, Hueckel et al., et al., 2005) indica una subsidenza massima prossima a 2cm in prossimità dei pozzi GH (emungimento), mentre il sollevamento del suolo in corrispondenza dei pozzi SG è trascurabile.

Il monitoraggio della subsidenza avverrà tramite l'integrazione di misure ottenute tramite interferometria satellitare, integrate e calibrate con stazioni GNSS e riflettori radar (*corner reflectors*)



posti su ogni stazione sismica e vicino alla testa pozzo. Le misure satellitari copriranno approssimativamente l'area completa dei Domini di Rilevazione.

La rete a terra sarà costituita da tre stazioni GNSS. Di queste, una sarà posta in prossimità del pozzo di produzione (stazione FR01). Le altre due stazioni saranno poste ai bordi della proiezione in superficie del volume disturbato, una a sud-est rispetto alla zona di emungimento (stazione FR02), ed una ad ovest (FR03) della zona di iniezione. Le stazioni sono state posizionate strategicamente per monitorare lo spostamento del suolo lungo il tratto del canale navigabile Migliarino – Porto Garibaldi e Po di Volano più vicino al volume perturbato del giacimento geotermico (Figura 29).

La valutazione d'estensione spaziale del cono di subsidenza avverrà principalmente tramite interferometria satellitare. A questo scopo, tutte le stazioni di monitoraggio saranno dotate di riflettore radar, per migliorare la densità e qualità delle misure. Basare la valutazione dell'estensione areale della subsidenza su analisi di dati satellitari consente anche di evitare di dover assumere a-priori quale sarà l'area effettivamente interessata dalla subsidenza, tutt'oggi soggetta ad incertezza.

Oltre alle stazioni dedicate, verranno utilizzati anche dati provenienti da una stazione GNSS già esistente, la stazione 'FERA', che sarà usata come riferimento.

La rete di monitoraggio proposta, dunque, ottimizza la capacità di quantificare la subsidenza massima indotta e la sua estensione areale.

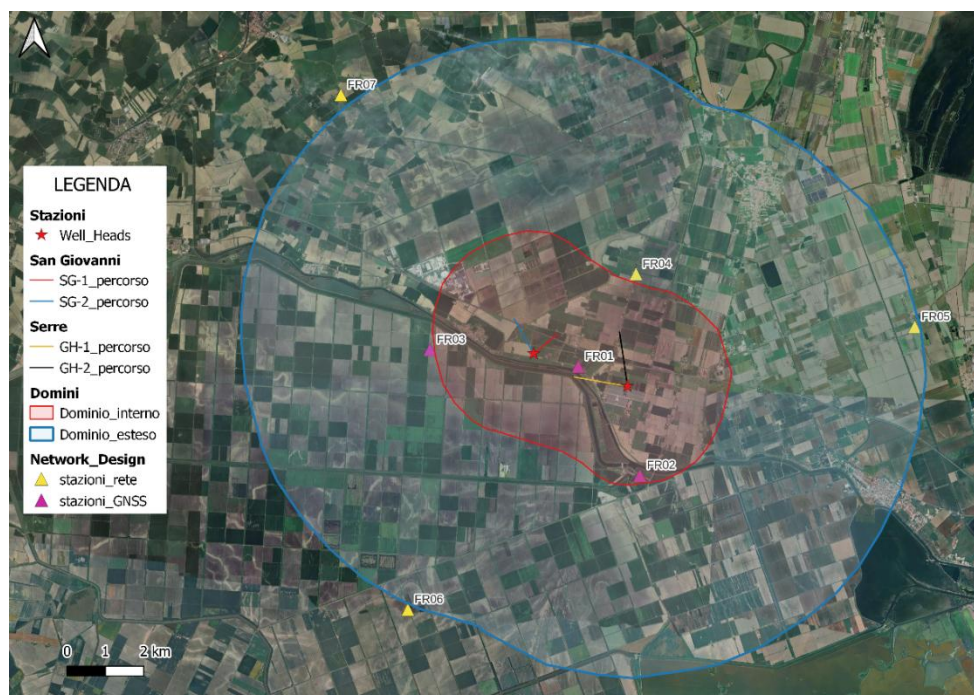



Figura 29. Distribuzione delle stazioni per la rete di monitoraggio (triangoli gialli) e delle stazioni GNSS (triangolo viola). Si riportano anche le estensioni del dominio interno DI (in rosso) e del dominio esterno DE (in blu).

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

5. RETE PER IL MONITORAGGIO INTEGRATO

La rete di monitoraggio sismico sarà costituita da sette stazioni, distribuite in modo da garantire una copertura geometrica completa dei domini di rilevazione. La rete di monitoraggio degli spostamenti del suolo comprenderà invece tre stazioni GNSS che saranno posizionate all'interno del DI.

Le piazzole avranno una dimensione di circa 5x5m e saranno recintate, con le componenti elettroniche protette da armadietti esterni stagni (IP67). L'alimentazione sia della stazione sismica che della stazione GNSS avverrà tramite pannelli solari. Tutte le stazioni avranno un riflettore InSar e un velocimetro a corto periodo, 3 stazioni monteranno un sistema GNSS GeoGuard e una stazione, posta al centro del dominio interno, equidistante dalle aree dei pozzi, sarà anche dotata di un accelerometro MEMS 90dB per la caratterizzazione di eventuali eventi di forte magnitudo/intensità di scuotimento.

Considerata la localizzazione dell'area di studio in un contesto di pianura soggetto a potenziali fenomeni di esondazione, le stazioni di monitoraggio saranno opportunamente attrezzate con soluzioni idonee a mitigare i possibili effetti di allagamento, garantendo la continuità operativa e la salvaguardia della strumentazione anche in caso di eventi di piena.

5.1. Stazioni di monitoraggio sismico

Ogni stazione di monitoraggio sismico sarà composta da:

- 1 sistema di acquisizione Triton con velocimetro triassiale
- 1 router Teltonika munito di modem LTE e scheda SIM dati per lo scambio dati e il monitoraggio remoto della stazione
- Riflettore per interferometria da satellite (corner-reflector InSAR)

Per le stazioni installate in campo ove non sarà presente una linea di alimentazione fissa:


- 1 pannello solare da 400W
- 1 cabinetta elettrica in fibra di vetro con grado di protezione IP67, ancorato alla piazzola, munito di serratura e contenente
 - Regolatore di tensione e carica batteria solare
 - Batteria AGM 12V 150Ah
 - Quadretto elettrico per cablaggio componenti munito di sezionatori linee, fusibili di protezione e scaricatore di tensione.
- 1 piazzola in cemento con pozzetto stagno destinato ad accogliere la strumentazione ed il sistema di alimentazione



Due esempi di piazzole con le stazioni di monitoraggio sismico sono riportati in Figura 30. Presso il centro calcolo/sala sismica verranno acquisiti tutti i dati che saranno analizzati in maniera completamente in tempo quasi reale per identificare possibili eventi all'interno dei Dominio di Rilevazione. Più algoritmi in parallelo analizzeranno i dati per garantire ridondanza ed elevata affidabilità al sistema. In caso di allerte, un analista sismologo procederà alla revisione manuale dei sismogrammi ed al ricalcolo dei dati. Il sistema sarà inoltre in grado di identificare malfunzionamenti ed emettere allerte in caso di guasti in modo da garantire un rapido ripristino del sistema e l'uptime richiesto. Isamgeo mantiene un magazzino con parti di ricambio di tutte le stazioni sismiche, in modo da poter celermente ripristinare dispositivi guasti o vandalizzati.



Figura 30. Esempi di installazione di piazzole per il monitoraggio sismico

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

5.2. Stazioni di monitoraggio GNSS

Le tre stazioni di monitoraggio degli spostamenti del suolo saranno principalmente composte da:

- 1 mini-pc collegato ad un modem 3G;
- 1 antenna GNSS multicostellazionale e multifrequenza;
- 1 pannello fotovoltaico.

Le antenne GNSS, collegate alle unità di monitoraggio, vengono installate in modo permanente sui punti di misura e acquisiscono in continuo il segnale satellitare. I dati raccolti vengono trasmessi in tempo reale a una piattaforma Cloud, GeoGuard Cloud Web, che li elabora automaticamente per determinare la posizione dei punti con precisione millimetrica, rispetto a un'antenna di riferimento.

Il sistema Cloud gestisce in modo completamente automatizzato l'intero processo di monitoraggio: dal controllo di integrità e dall'elaborazione dei dati acquisiti in campo, alla definizione e calibrazione dei parametri di processamento specifici per ciascun punto di misura. Inoltre, consente la diagnostica, la gestione e la manutenzione remota delle unità di monitoraggio.

I dettagli delle componenti che compongono la stazione GNSS, l'architettura di installazione e le caratteristiche tecniche vengono fornite nell'allegato C. La Figura 31 mostra l'integrazione di una stazione GNSS all'interno di una piazzola di monitoraggio sismico.




REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026



Figura 31. Esempio di piazzola combinata, contenente sia il sensore per il monitoraggio sismico sia il sistema GNSS.

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

6. CONCLUSIONI

Lo studio condotto da Isamgeo su incarico di FRI-EL GEO S.r.l. ha consentito di progettare una rete di monitoraggio integrata sismico-geodetica per il controllo dell'eventuale sismicità indotta e della subsidenza associata alla futura messa in produzione dei pozzi situati all'interno del permesso di ricerca "San Giovanni".

La progettazione è stata sviluppata nel pieno rispetto delle linee guida ministeriali per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media ed alta entalpia" (Terlizzese, 2026) e si basa su metodologie di simulazione numerica e analisi dati riconosciute a livello nazionale e internazionale come standard di settore.

Le analisi del rumore ambientale hanno evidenziato un comportamento bimodale, con livelli di rumore più elevati durante le ore diurne, dovuti prevalentemente a disturbi antropici di probabile origine agricola, e livelli significativamente inferiori durante il periodo notturno. Considerando le condizioni di installazione definitiva (su piazzole in cemento e con sensori posizionati su suolo compatto), le prestazioni attese della rete risultano pienamente adeguate ai requisiti del monitoraggio microsismico.


La copertura spaziale della rete influisce direttamente sulla precisione della localizzazione e può essere quantificata tramite il gap azimutale. La rete di "San Giovanni" così progettata assicura una copertura ottimale dell'area del Dominio Interno e di gran parte del Dominio Esteso, con una qualità inferiore solo nelle porzioni del dominio più distanti dall'area interessata dai futuri pozzi.

I risultati delle simulazioni mostrano che la rete proposta è in grado di garantire prestazioni conformi alle linee guida, assicurando una capacità di localizzazione adeguata e una sensibilità sufficiente a rilevare eventuali eventi microsismici in prossimità del giacimento.

In particolare, le simulazioni numeriche condotte hanno evidenziato che:

- A livello del target principale, a circa 2 km di profondità, la magnitudo minima rilevabile è inferiore a 0.2;
- A livello del DI, a 3 km di profondità, la magnitudo minima rilevabile è di circa 0.2;
- A livello del DE, a 8 km di profondità, la capacità di detezione risulta inferiore a 0.5.

Le incertezze di localizzazione derivano dalla combinazione delle incertezze sul picking e di quelle associate al modello di velocità; la quantificazione di tali incertezze è fondamentale per valutare la precisione della rete e definire i limiti di confidenza sugli ipocentri determinati.


	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

La rete proposta è in grado di garantire incertezze di localizzazione orizzontali inferiori a 200 m sia a livello del DI che del DE, mentre le incertezze verticali variano da valori massimi di circa 800 m a livello del DI, a circa 400 m alla profondità del DE.

Per quanto riguarda il monitoraggio delle deformazioni del suolo, questo avverrà combinando interferometria satellitare, stazioni GNSS a terra e riflettori radar. Sono previsti tre punti di acquisizione GNSS: una stazione al centro della rete di monitoraggio, ad una distanza simile rispetto alle aree dei pozzi San Giovanni e Green House, le altre 2 stazioni saranno installate sempre all'interno del DI, lungo il canale Migliarino-Porto Garibaldi.


La rete sarà inoltre integrata con una stazione GNSS esistente, con dati pubblici, al fine di migliorare la risoluzione spaziale e la robustezza del sistema di monitoraggio.

Le immagini InSAR forniranno informazioni relative all'andamento areale della subsidenza, la stazione al centro della rete fornirà il tasso di subsidenza in corrispondenza del massimo, le altre due stazioni consentiranno di calibrare efficacemente gli InSar e monitorare il settore del canale Migliarino-Porto Garibaldi.


	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di: ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	---	-----------------------

7. BIBLIOGRAFIA


- Abakumov, I., Roeser, A. and Shapiro, S.A., (2020). Arrival-time picking uncertainty: Theoretical estimations and their application to microseismic data. *Geophysics*, 85(4), pp. U65-U76.
- Aki, K., (1976) Signal to noise ratio in seismic measurements, in *Volcanoes and Tectonospere*, edited by K. Aoki and S. Iizuka, pp. 187-192, Tokai Univ. Press, Tokyo.
- 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.
- Baù D., M. Ferronato, G. Gambolati and P. Teatini, 2002, Basin-scale compressibility of the Northern Adriatic by the radioactive marker technique, *Geotechnique*, 52(8), 605-616.
- 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
- Bitelli, G.; Ferretti, A.; Giannico, C.; Giorgini, E.; Lambertini, A.; Marcaccio, M.; Mazzei, M.; Vittuari, L. Subsidence Monitoring in Emilia-Romagna Region (Italy) from 2016 to 2021: From InSAR and GNSS Integration to Data Analysis. *Remote Sens.* 2025, 17, 947. <https://doi.org/10.3390/rs17060947>
- Boccaletti M., Martelli L. (2004) – Carta sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000 e note illustrative, Selca, Firenze, Italia.
- Borgia, Brighent and Vitali, 1982. La coltivazione dei pozzi metaniferi del bacino polesano e ferrarese: esame critico della vicenda. *Georisorse e territorio*, INARCOS, 425, XXXVII: 13-23.
- 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.
- Carbognin et al., 1995 – Analysis of actual land subsidence in Venice and its hinterland (Italy). *Land subsidence*, Barends, Brouwer and Schroder (eds) 1995 Balken, Rotterdam.
- Castro, R.R., Massa, M., Augliera, P. et al. Body-wave Attenuation in the Region of Garda, Italy. *Pure appl. geophys.* 165, 1351–1366 (2008). <https://doi.org/10.1007/s00024-008-0365-1>
- Del Pezzo, E., Bianco, F., Marzorati, S., Augliera, P., D'Alema, E., Massa, M. (2011), Depth-dependent intrinsic and scattering seismic attenuation in north central Italy, *Geophysical Journal International*, 186(1), July 2011, Pages 373–381, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05053.x>
- Diehl, T., E. Kissling, P. Bormann, (2012), Tutorial for consistent phase picking at local to regional distances. In *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP-2)* (pp. 1-21). Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------


- DISS Working Group (2025). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Available at: <https://www.seismofaults.eu/>
- Doglioni, C. (1991). A proposal of kinematic modelling for W-dipping subductions — possible applications to the Tyrrhenian-Apennines system. *Terra Nova*, 3(4), 423-434. DOI: 10.1111/j.1365-3121.1991.tb00172.x.
- Eisner, L., B. J. Hulse, P. M. Duncan, D. Juric, W. Heigl, and W. R. Keller, (2010), Comparison of surface and borehole locations of induced seismicity: *Geophysical Prospecting*, 58, 809 – 820, doi: 10.1111/j.1365-2478.2010.00867.x.
- Fantoni, R., & Franciosi, R. (2010). Tectono-sedimentary setting of the Po Plain and Adriatic foreland. *Rendiconti Lincei – Scienze Fisiche e Naturali*, 21(1), 197–209. <https://doi.org/10.1007/s12210-010-0102-4>.
- Ferronato M., Gambolati G., Teatini P., Baù D., 2003, Interpretation of radioactive measurements to evaluate compaction in the Northern Adriatic gas fields. *SPE Journal of Reservoir Evaluation & Engineering* 6, 401-411, b.
- Ghielmi, M., Minervini, M., Nini, C., Rogledi, S., Rossi, M., & Vignolo, A. (2010). Sedimentary and tectonic evolution in the eastern Po-Plain and northern Adriatic Sea area from Messinian to Middle Pleistocene (Italy). *Rendiconti Lincei – Scienze Fisiche e Naturali*, 21(Suppl. 1), S131–S166. <https://doi.org/10.1007/s12210-010-0101-5>.
- Grieco, F. (2024) Estrazioni metanifere e subsidenza nel Polesine 1938-1964: cause e correlazioni. Corso di Laurea Magistrale in Scienze Storiche, tesi di Laurea, Dipartimento di Scienze Storiche, Geografiche e dell'Antichità, Università degli Studi di Padova, <https://thesis.unipd.it/handle/20.500.12608/66677>
- Hanks T.C., Kanamori H. (1979). A moment magnitude scale, *J. Geophysical Res.*, 84, 2348-2350.
- Hueckel T., G. Cassiani, J. H. Prevost and D. A. Walters, 2005, Field Derived Compressibility Of Deep Sediments Of North Adriatic, to appear, *Proceedings Seventh International Symposium On Land Subsidence (Sisols2005)*, Shanghai, China, October 2005.
- Husen, S., J.L. Hardebeck, (2010), Earthquake location accuracy, *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis*, doi:10.5078/corssa-55815573. Available at <http://www.corssa.org>.
- 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”.

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

- 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). Documento disponibile al seguente link: https://cms.bo.ingv.it/documenti/INGV_Rel-Finale-2019.pdf
- 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.
- Madariaga, R. (1976). "Dynamics of an expanding circular fault." *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66(3), 639–666.
- McNamara, Daniel E., and Raymond P. Buland. "Ambient noise levels in the continental United States." *Bulletin of the seismological society of America* 94, no. 4 (2004): 1517-1527.
- Meletti, C., & Valensise, G. (2004). Zonazione sismogenetica ZS9–App. 2 al rapporto conclusivo. Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM, 3274.
- 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; (<http://mambo.bo.ingv.it/>)
- 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
- Pavlis, G.L., (1986), Appraising earthquake hypocenter location errors - a complete, practical approach for single-event locations, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76, 1699-1717
- Peterson, J. (1993). Observation and modeling of seismic background noise, U.S.G.S. Tech. Rept., 93-322, 1-95
- Phillips, W. S., (2000), Precise microearthquake locations and fluid flow in the geothermal reservoir at Soultz-sous-Forêts, France: *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90, 212 – 228, doi: 10.1785/0119990047.

	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

- Pieri, M. & Groppi, G. (1981). Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy. C.N.R. — Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubbl. n. 414, Roma.
- Pieri, M. (1983). Three seismic profiles through the Po Plain. In: Bally, A.W. (Ed.), Seismic Expression of Structural Styles. A Picture and Work Atlas. AAPG Studies in Geology, 15: 3.4.1/8-26.
- Portale cartografico di Arpae : [Il portale cartografico di Arpae — Arpae Emilia-Romagna](#)
- Regione Emilia-Romagna (2018). *Deliberazione della Giunta Regionale n. 1164 del 23/07/2018 – Aggiornamento della classificazione sismica regionale.*
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2022). Italian Parametric Earthquake Catalogue (CPTI15), version 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4>
- 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
- Scrocca, D., Carminati, E., Doglioni, C. & Marcantoni, D. (2007). Slab retreat and active shortening along the central-northern Apennines. In O. Lacombe, J. Lavé, F. Roure & J. Vergés (Eds.), Thrust Belts and Foreland Basins: From Fold Kinematics to Hydrocarbon Systems.
- 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.
- Teatini, P., Ferronato, M., Gambolati, G. et al. A century of land subsidence in Ravenna, Italy. Environ Geol 47, 831–846 (2005). <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1215-9>
- Terlizze (2016), “Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia”: [Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia – Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica](#)
- UNMIG (2014) Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche, <https://unmig.mise.gov.it/index.php/it/sicurezza/geomonitoraggi/linee-guida>
- Usher, P. J., D. A. Angus, and J. P. Verdon, (2013), Influence of velocity model and source frequency on microseismic waveforms: Some implications for microseismic locations: Geophysical Prospecting, 61, 334 – 345, doi: 10.1111/j.1365-2478.2012.01120.x.

	REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di: ISAMGEO	02 APRILE 2026
---	---	----------------

APPENDICE A – Misure di rumore ambientale

Nei giorni dal 2 al 3 di febbraio 2026 è stato effettuato un sopralluogo nell’area circostante il giacimento di San Giovanni con l’obiettivo di individuare i possibili siti di installazione delle stazioni sismiche e GNSS e, successivamente, valutare il livello di rumore ambientale dei luoghi selezionati.

In ciascuna postazione è stato installato un sensore Lunitek modello Triton a tre componenti, lasciato in acquisizione per un periodo di circa 24 ore.

I dati registrati sono stati successivamente analizzati e processati al fine di produrre le figure e le considerazioni riportate nel paragrafo 3.2 “Caratterizzazione del rumore ambientale”.

La scelta dei siti si è basata sulla ricerca di luoghi accessibili posti al contempo nelle vicinanze dei pozzi, con rumore ambientale basso, e sufficientemente lontani da strade, fabbriche, discariche ecc., in modo che il segnale sismico non venisse sommerso dall’attività di fondo.

In ogni stazione di misura, il sensore è stato appoggiato su un suolo il più compatto possibile, in modo da garantire un buon accoppiamento, e messo in bolla in modo da assicurare una risposta fedele della componente Z lungo l’asse verticale. I siti in cui sono stati posizionati i sensori sono mostrati in Figura 13.

Di seguito vengono mostrati i sei siti in cui sono state effettuate le analisi di rumore ambientale:

- Stazione sito A (coordinate 44.72290903 12.06710474), collocata a circa 90 m in direzione sud-ovest rispetto alla testa pozzo di San Giovanni 2. L’abitazione più vicina si trova a circa 300 m (Figura 32 e Figura 33).

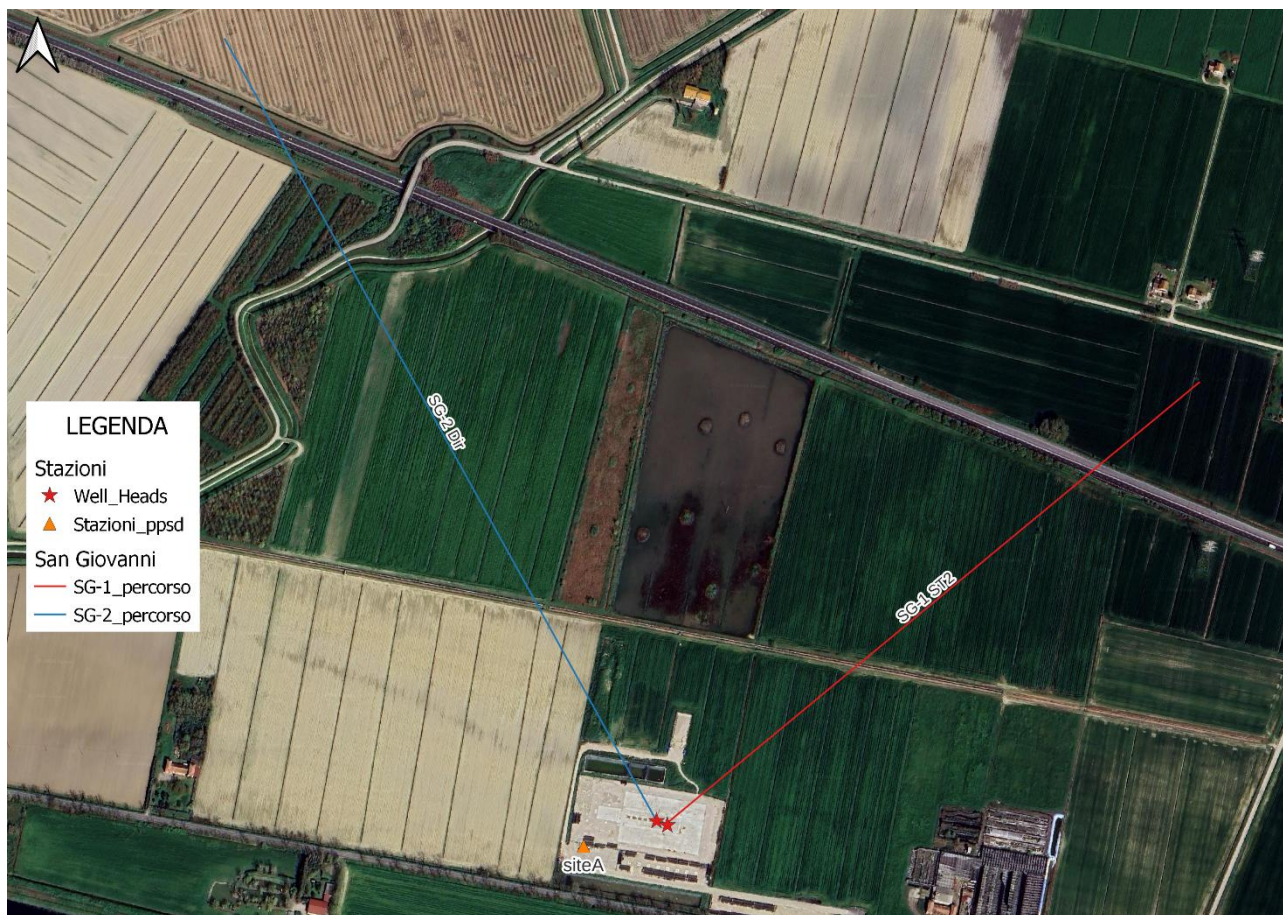


Figura 32. Zoom sulla stazione di monitoraggio del rumore ambientale nel sito A in riferimento ai pozzi di San Giovanni. Immagine estratta da QGIS.



Figura 33. Posizionamento del sensore nel sito A



- Stazione sito B (coordinate 44.71606805 12.09763905) collocata a circa 138 m in direzione sud-est rispetto alla testa pozzo di Serre 1. L'abitazione più vicina si trova a circa 370 m (Figura 34 e Figura 35).



Figura 34. Zoom sulla stazione di monitoraggio del rumore ambientale nel sito B in riferimento ai pozzi di Serre. Immagine estratta da QGIS



REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026



Figura 35. Posizionamento del sensore nel sito B.



APPENDICE B – Strumentazione per monitoraggio sismico

Sismometro compatto, sensore e digitalizzatore integrati



TRITON SEISMOGRAPH

INTEGRATED DATA ACQUISITION
PLUS SENSOR

KEY FEATURES

INTEGRATED SENSOR

ADC RESOLUTION 24 bit

DYNAMIC RANGE > 136dB@100 sps

SYNCHRONOUS SAMPLING

LAN, WIFI

INTEGRATED 4G MODEM (OPTIONAL)

BUILT-IN GNSS RECEIVER

INTEGRATED UPS

MINISEED DATA FORMAT

For applications where
combined and space
saving-solution are required.

Very low seismic noise levels are achieved thanks to the sensor being shielded inside the enclosure and to the short wiring. Triton is available with geophones or with short/broad band sensors. Triton can be equipped with extra inputs for 3 or 6 24-bit channels. In this configuration, in addition to the internal sensor, the instrument can be connected externally to two other high dynamic sensors. The instrument is equipped with high-resolution delta-sigma 24 bit ADCs, each channel is synchronized and the sample rate is adjustable up to 1000 sps per channel. The internal memory (up to 1TByte) has two independent recording zones: the ring-buffer dedicated to continuous sampling, and the triggering used for event sampling.

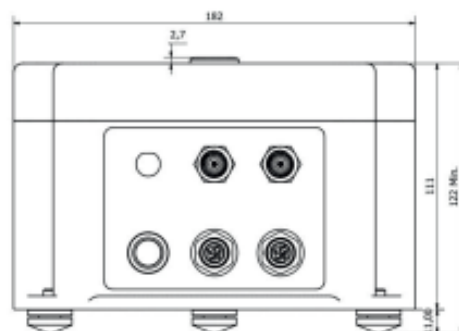
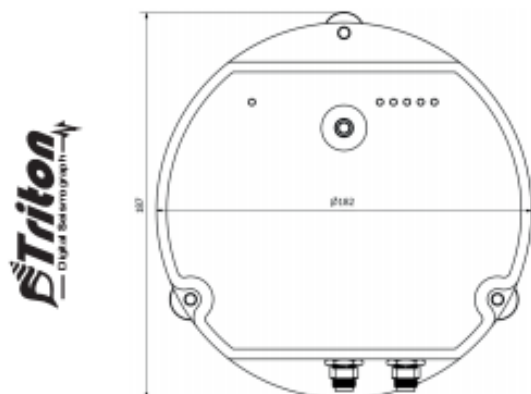


REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026



Seismological networks	APPLICATIONS	FILE TRANSFER Via Ethernet 10/100, WiFi (optional) or integrated 4G modem (optional)	COMMUNICATION
Nakamura surveys		WIFI MODE SOFT AP function	
Regional or teleseismic seismicity		METADATA RESP file available on IRIS	
		DATA DOWNLOAD Through SCP protocol based program or via web interface	
		VPN Compatible with OpenVPN and IPsec	
GEOPHONES 4.5Hz-100Hz or 2Hz - 100Hz	SENSORS	FORMAT Seedlink protocol management for real-time interface with most common seismic protocols such as SeisComP and Earthworm	DATA STREAMING
SHORT BAND SENSOR 1s - 100Hz or 5s - 50Hz		STREAM Seismic and State-of-Health	
Dynamic range >140dB		ALARMS Management towards remote monitoring server	
BROAD BAND SENSOR 30s - 100Hz / 60s - 100Hz / 120s - 100Hz			
Dynamic range >150dB			
SAMPLING Simultaneous	AD CONVERSION	INTERFACE Web Server	CONFIGURATION
ADC Sigma-delta 24 bit synchronous sampling		CONTROL Connection and management on remote servers	
DYNAMIC RANGE > 136dB @ 100 sps		UPDATES Remote software update (local network or via internet)	
SAMPLE RATES 25, 50, 100, 250, 500, 1000* sps		ADVANCED FEATURES Multiple units can be connected to the network (Ethernet, WiFi or 4G) acting as a single multi-channel instrument	
ADVANCED FEATURES Dual Sampling			
ANTI-ALIASING FILTER FIR linear or minimum phase			
ADDITIONAL DIGITAL FILTERS Low-pass and High-pass filter			
TRIGGERS STA/LTA and threshold independent for each channel	TRIGGERS	POWER SUPPLY 9 + 28 Vdc - AC/DC adapter included	POWER SUPPLY
AND/OR configuration on all channels		POWER CONSUMPTION < 2 W (< 800 mW available on request)	
Trigger broadcasting towards recorders in the network		UPS Back-up LiPo battery, autonomy > 33 hours	
		ALARMS Remote alarms management in case of blackout	
FORMAT MiniSEED	STORAGE	ACCESSORIES External battery pack and solar panel options	
INTERNAL MEMORY 32GB standard, optionally up to 1TB			
RING BUFFER DATA RECORDING (16 or 32 days, depending on mem. size)			
plus strong motion events			
ADV. FEAT. Periodic generation of ambient noise and post-seismic analysis			
TIMING SOURCE Absolute Time UTC through high sensitive integrated GNSS receiver or NTP	SYNCHRONIZATION	STORAGE TEMPERATURE RANGE - 40 + +85°C	OP. CONDITIONS
ACCURACY in GNSS signal loss condition: ± 1 ppm (32 s/year)		HUMIDITY 0 to 100%	
Accuracy with GNSS signal < 1 μ S		OPERATING TEMPERATURE RANGE Without battery - 40 + +85°C *	
		*LiPo batteries can be charged in the range 0 + +45°C while discharge is allowed in the range of -20 + +70°C. If the temperature is out of range, the LiPo battery will be inhibited by the electronics	
LEDs Heartbeat, 4G, WiFi, GNSS, Ethernet, Power	UI	CASE Anodized aluminum case (AISI 316 stainless steel option)	PHYSICAL
BUTTONS Power on/off and WiFi enable/disable on the same button		PROTECTION GRADE IP67, IP68 optional	
		DIMENSIONS 18 x 18 x 10 cm	
		WEIGHT ≈ 3 Kg minimum, depending on the sensor	
		INSTALLATION Mounting plate or spikes available on request	





REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

Acquisitore 24/32bit, a cui collegare accelerometro e/o velocimetro (superficie o pozzo)



Atlas is a robust and reliable digital recorder.

The instrument is equipped with high-resolution delta-sigma 24bit ADCs, all the channels are synchronized and the sample rate is adjustable up to 1000 sps per channel.

The internal memory (up to 1TB) has two independent recording zones: the ring-buffer which is dedicated to continuous sampling, and the triggering which is used for event sampling. The data format is MiniSEED. The built-in GNSS receiver synchronizes the system clock with the absolute time so that a network of several units can be created where all the channels are synchronized. Using the trigger criteria that is available in the firmware, it is possible to distinguish environmental vibrations from seismic events.

LUNITEK  100% ITALIAN PRODUCT



ATLAS

DIGITAL RECORDER FOR SEISMIC
OR STRUCTURAL MONITORING

KEY FEATURES

ADC RESOLUTION 24 bit

DYNAMIC RANGE > 136dB@100 sps

SAMPLING RATE 25, 50, 100, 200, 250,
500, 1000 sps

SYNCHRONOUS SAMPLING

LAN, WIFI

INTEGRATED 4G MODEM (OPTIONAL)

BUILT-IN GNSS RECEIVER

INTEGRATED UPS

INPUTS COMPATIBLE WITH ACCELEROMETERS
VELOCIMETERS GEOPHONES MICROBAROMETERS

MINISEED DATA FORMAT

COMPATIBLE WITH EARTHWORM, SEISCOMP,
GEOPSY, SEISGRAM2K

tel. +39 0187 692070 | www.lunitek.it



REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

Sensore sismico 3C per pozzo, versione 1s (short period)



DATA-SHEET TELLUS BH



TELLUS-BH

BOREHOLE SEISMOMETER

**Specifically designed for
borehole installation down
to 300m.**

Tellus-BH can be equipped with one of Lunitek's velocity sensor: short band (1 second - 5 seconds) or broadband (30-60-120 second). All sensors are manufactured using high thermal stability and low noise components. The transduction factor of every single unit is individually calibrated on the shake table with an accuracy within $\pm 1\%$. Tellus-BH short band is equipped with a self-supporting cable so that an additional rope is not needed. Broadband version of Tellus-BH, which are heavier, are equipped with a fixing point for a rope along with the signal cable. Tellus-BH is manufactured in stainless steel (AISI316) and does not require mass locking or centering. A passive clamping system is provided on request. Tellus-BH provides excellent long term stability, reliable measurements and is ideally suited to challenging sites where measurements can be improved by using borehole installation.

LUNITEK  100% ITALIAN PRODUCT

KEY FEATURES

DYNAMIC RANGE > 140dB FOR SHORT BAND, >150dB FOR BROADBAND

FREQUENCY RANGE 1, 5, 30, 60 AND 120 SECONDS UP TO 50HZ (100HZ OPT)

TRANSDUCTION FACTOR 400 V/m/s (SB) and 2000 V/m/s (BB)

HIGH ACCURACY

LOW SELF-NOISE

GOOD THERMAL STABILITY

LOW POWER

ROBUST

NO NEED FOR MASS CENTERING OR MASS LOCKING

tel. +39 0187 692070 | www.lunitek.it



REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026



Local Seismicity
Induced Seismicity
Regional seismicity
Teleseismic
Oil and gas exploration

APPLICATIONS

SUPPLY VOLTAGE 10 + 18 VDC (5+40VDC)
POWER CONSUMPTION < 300mW
PROTECTION Reverse-voltage, overvoltage and surge protected

POWER SUPPLY

TIPOLOGY Triaxial

BANDWIDTH

TELLUS 1S 1Hz up to 100Hz

TELLUS 5S 0.2Hz up to 50Hz

TELLUS 30S 0.033Hz up to 50Hz (100 Hz opt) -3 dB point

TELLUS 60S 0.016Hz up to 50Hz (100 Hz opt) -3 dB point

TELLUS 120S 0.0083Hz up to 50Hz (100 Hz opt) -3 dB point

DYNAMIC RANGE >140dB (shortband) > 150dB (broadband)

TRANSDUCTION FACTOR 400 V/m/s (shortband) 2000V/m/s (broadband)

MAXIMUM INSTALLATION TILT $\pm 15^\circ$

PERFORMANCE

OPERATING TEMPERATURE -20°C to +70°C
STORAGE TEMPERATURE -40°C to +80°C
HUMIDITY 0 to 100%
WEATHER RESISTANCE Rated to IP68, immersible

OP. CONDITIONS

TELLUS-1S-BH

OD 70mm

HEIGHT 510mm

WEIGHT 10000 g

TELLUS 5S, 30S, 60S, 120S-BH

OD 130mm

HEIGHT 220mm

WEIGHT 10000 g

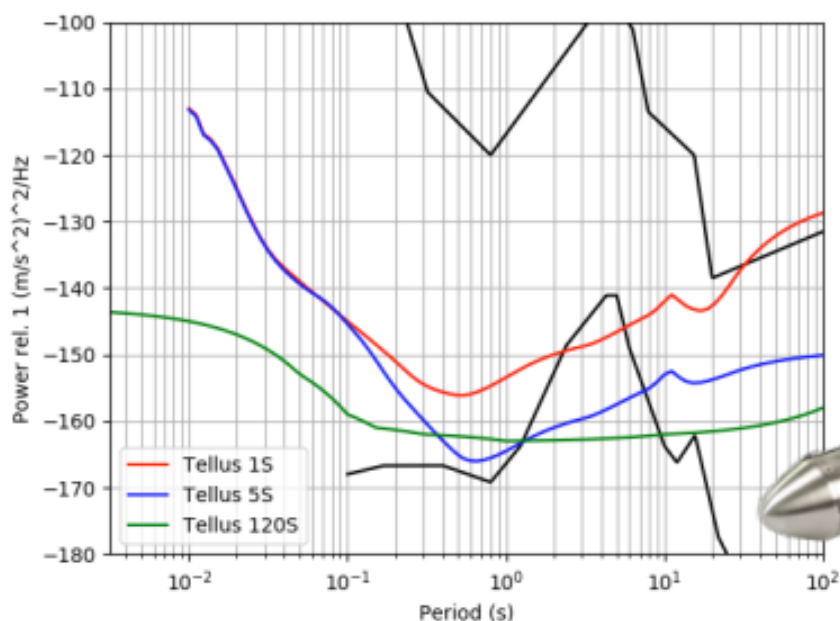
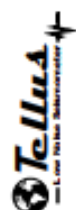
PHYSICAL

CONNECTOR Teledyne AG, 10-pin,

VELOCITY OUTPUT Differential 15 or 40Vpp

OUTPUT IMPEDANCE 2 x 100 Ω

INTERFACE





REL-MON-01 - Progettazione della rete di
monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo
ad opera di:
ISAMGEO

02 APRILE 2026

Datasheet per MODEM/Router IOT per le stazioni sismiche

FLYER // RUT950

KEY FEATURES

HARDWARE

Mobile	4G/LTE (Cat 4), 3G, 2G
CPU	Atheros, MIPS 74Kc, 550 MHz
Memory	16 MBytes Flash, 128 MBytes RAM
Powering option	4 pin power socket, 9-30 VDC
SIM	2 x External SIM holders (2FF)
Antenna connectors	2 x SMA for mobile, 2 x RP-SMA for WiFi
Ethernet	4 x 10/100 Ethernet ports: 1 x WAN (configurable as LAN), 3 x LAN
WiFi	IEEE 802.11b/g/n, Access point (AP), Station (STA)
Inputs/Outputs	On 4 pin socket: 1 x Digital input, 1 x Digital open collector output
Status LEDs	1 x Bi-Color connection type, 5 x Signal strength, 4 x Ethernet, 1 x Power
Operating temperature	-40 °C to 75 °C
Housing	Aluminium housing with DIN rail mounting option, plastic panels with flat mounting option
Dimensions (W x H x D)	109 x 50 x 103 mm
Weight	263 g

SOFTWARE

Operating system	RutOS (OpenWrt based Linux OS)
Mobile features	Auto APN, Band lock, SIM switch, Operator black/white list, Data/SMS limits
Network	Fallover (Network backup), VLAN, QoS, Load Balancing
Routing	Static routes, Dynamic routes (BGP, OSPFv2, RIPv1/v2, NHRP), Routing rules
VPN and tunneling	OpenVPN, IPsec, GRE, PPTP, L2TP, Stunnel, DMVPN, SSTP
Monitoring and management	WEB UI, CLI, SSH, SMS, TR-069, SNMP, JSON-RPC, MQTT, RMS
Connection monitoring	Ping Reboot, Wget reboot, Periodic Reboot, LCP and ICMP for link inspection
Cloud solutions	RMS, FOTA, Telenor, Azure IoT Hub, Cloud of Things, Cumulocity, ThingWorx
Hotspot	External/Internal Radius, SMS OTP, MAC authentication, Walled Garden
Supported Hotspot platforms	IronWiFi, HotspotSystem, Cloud4Wi, SAI + WiFi, MugiCloud, Purple.ai
SMS features	SMS status, SMS configuration, Send/Read SMS via HTTP POST/GET, EMAIL to SMS, SMS to Email, SMS to HTTP, SMS to SMS, scheduled SMS, SMS autoreply, SMPP
Services	DDNS, VRRP, Wake On Lan (WOL), WEB filter, UPNP, Traffic Logging

RMS


RMS

REMOTE MANAGEMENT SYSTEM

COMPATIBLE WITH RUT950

MANAGEMENT | ALERTS | CONFIGURATION | ACCESS | FOTA



	<p>REL-MON-01 - Progettazione della rete di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo ad opera di:</p> <p>ISAMGEO</p>	<p>02 APRILE 2026</p>
---	--	-----------------------

APPENDICE C – Specifiche Tecniche del Sistema di Monitoraggio GNSS

Si veda documento 'Geoguard-specifiche_tecniche'.

GeoGuard

EARTH MONITORING SERVICES



Specifiche tecniche (v.2.5.1)

Versione 2.5.1. Ultimo aggiornamento: 2025/10/10

1. GNSS – GEOGUARD MONITORING UNIT

Box	Gewiss IP66 GW46002F (310 x 425 x 160 mm), peso 13.8 kg batteria inclusa, staffe e supporti esclusi
Alimentazione	<p><u>AC 220 V (Rete elettrica):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Alimentatore AC/DC 220 V AC (86-230V 50Hz) → 24 V DC, potenza nominale 60 W. - Corrente massima assorbita lato 24 V: 2.5 A. - Batteria tampone integrata 24 Ah per continuità di servizio. <p><u>DC 110 V (alimentazione diretta da linea continua):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Accetta tensioni in ingresso comprese tra 90 – 120 V DC, convertite internamente a 24 V DC. - Potenza nominale 60 W. <p><u>PV:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pannello da 30 – 80 W, regolatore di carica MPPT 6 A integrato. - Batteria 24 Ah @ 12 V per funzionamento autonomo.
<u>Consumo</u> (GMU versione base)	<p><u>Consumo elettrico (lato elettronica GMU):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Tensione nominale: 12 V DC - Consumo medio: 1.5 – 2 W - Consumo massimo: 5 W (0.4 A @ 12 V) <p><u>Autonomia tipica con batteria 24 Ah @ 12 V</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - fino a 6 giorni in condizioni nominali (2 W) - fino a 2.5 giorni in condizioni di massimo carico (5 W)
Ricevitore GNSS e antenna	<p>Ogni GMU può montare fino a 2 ricevitori GNSS, singola o doppia frequenza.</p> <p><u>Versione Doppia frequenza:</u> u-blox ZED-F9T Segnali acquisiti: L1C/A, L2C, L1OF, L2OF, E1B/C, E5b, B1I, B2I; costellazioni GPS/QZSS, GLONASS, GALILEO Formato dati grezzi GNSS: ubx, RINEX Rate acquisizione: >= 1 sec</p> <p><u>Tallysman Antenna TW3972XF (calibrata):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Architettura: Pre-filtered - Dimensioni: 66.5 mm (dia.) x 21 mm (h.) - Peso: 185g - Case: Radome: LEXAN™ EXL9330, Base: Zamac Metal - Fissaggio: Through hole (M18 x 1 thread) - Guadagno LNA: 37 dB typ., 35 dB min. - Rumore: 2.5 dB typ. - Temperatura operativa: -40 °C to +85 °C - Classe protezione: IP69K

	<p><u>Versione Singola frequenza:</u> u-blox NEO-M8T Acquired signals: GPS L1C/A, SBAS L1C/A, QZSS L1C/A, QZSS L1 SAIF, GLONASS L1OF, BeiDou B1, Galileo E1B/C) Formato dati grezzi GNSS: ubx, RINEX Rate acquisizione: >= 1 sec</p> <p>Tallysman Antenna TW3740:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Architettura: Pre-filtered - Dimensioni: 66.5 mm (dia.) x 21 mm (h.) - Peso: 150g - Case: Radome: LEXAN™ EXL9330, Base: Zamac Metal - Fissaggio: Through hole (M18 x 1 thread) - Guadagno LNA: 40 dB typ., 38 dB min. - Rumore: 3.0 dB typ.
Modulo di trasmissione	<p><u>SARA- U201</u> 3G UMTS/HSDPA/HSUPA Modem 800/850/900/1900/2100 mhZ 19,5,8,2,1 Bands</p> <p>Modem esterno 4G/5G installabile nel box a richiesta.</p>
Modulo di processamento	<p><u>Microprocessore Cortex-A7 core up to 528 MHz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - DDR3L SDRAM 4Gb, 256Mx16, 933MHz - QSPI NOR 256 Mb - Micro Secure Digital - Modem 3G (PCB 4G READY) con uSIM - N.1 Ethernet - RJ45 - N.1 Porta USB + N.1 USB Console - N.1 Serial Line RS485 - N.4 Analog Input - N.1 PT100 Input (2-3-4 fili) - N.2 Digital Output - N.2 Digital Input

2. INTERFACCIA UTENTE

REST API	
Dati e risultati	<ul style="list-style-type: none"> - file di osservazione RINEX v4; - posizioni calcolate in diverse modalità e sistemi di riferimento; - modelli di serie temporali; - telemetrie delle GMU; - metadati delle GMU; - dati da sensori esterni.
Modalità di accesso	Diversi livelli di accesso, diversi ruoli (amministratore, read only, alarms viewer, ecc.)
Applicazione WEB	
Architetture	<ul style="list-style-type: none"> - piattaforma cloud; - basata su micro servizi; - altamente scalabile; - accesso verificato e protetto; - crittografia SSL.
Web address	https://cloud.geoguard.eu
Funzionalità	Interrogazioni: <ul style="list-style-type: none"> - Siti di monitoraggio - stato del network - gestione delle GMU - allarmi - mappa globale
Opzioni del visualizzatore di posizioni	<ul style="list-style-type: none"> - intervalli di date - modalità (relativa, assoluta) - frequenza delle soluzioni - sistema di riferimento - punto di riferimento (local master)
Informazioni del visualizzatore di posizioni	<ul style="list-style-type: none"> - ruolo, tipo, alimentazione, soglie di allerta - riassunto movimenti - grafici di dettaglio sulle serie temporali - sovrapposizione di modelli
Gestione delle GMU	<ul style="list-style-type: none"> - informazioni sui punti monitorati; - localizzazione; - allarmi; - telemetria: <ul style="list-style-type: none"> - bilancio energetico; - voltaggio batteria; - livello batteria; - radiazione solare; - temperatura; - rate di trasferimento dati; - tempo di funzionamento - utilizzo della memoria; - utilizzo CPU;

	<ul style="list-style-type: none"> - traffico del modem; - numero di satelliti; - dati GNSS raccolti.
Esportazione	<ul style="list-style-type: none"> - report in formato PDF; - dati e risultati in formato .csv , .xls; - dati e interrogazioni sui risultati via API REST; - canali telegram - cartelle condivise Microsoft oneDrive - server sftp GeoGuard o terze parti

3. ELABORAZIONE DATI GNSS

Formato dati GNSS	Ublox UBX, Rinex 2, Rinex 2.11, Rinex 3.0, Rinex 4.0
Frequenza di campionamento dati GNSS	≥ 0.1 sec
Frequenza del processamento	1h, 2h, 6h, 24h
Modalità di processamento	Post-Processamento in modalità relativa, PPP
Software di gestione	Breva GNSS management
Software di pre-processamento	Breva GNSS preprocessing
Software di processamento	<ul style="list-style-type: none"> -Bernese GPS Software 5.4 -Breva processing engine
Dati/prodotti ancillari usati	<ul style="list-style-type: none"> - orbite e clock GNSS (broadcast, ultra-rapid, rapid, final) - correzioni Ocean Loading - dati da CORS di terze parti - Sinex forniti da IGS/EPN - mappe ionosferiche regionali - offset/variazioni dei centri di fase ATX
Strategie di risoluzione delle ambiguità	ROUND, SIGMA, QIF, LAMBDA
Prodotti derivati	Coordinate (formato SINEX), ZTD/ZWD/PWV (formato SINEX)
Precisione (rms) singola base (~1km)* (* valori con ottima visibilità del cielo)	Soluzioni 24h: orizzontale 0.7mm + 1 ppm, verticale 2mm + 1ppm Soluzioni 01h: orizzontale 1.2mm + 1 ppm, verticale 2.5mm + 1ppm
Sistemi di riferimento	Globale (ECEF, geografico, UTM), Locale (ENU, definito dall'utente)
Modelli di interpolazione di serie temporali	Media, Lineare, Spline, Analisi in frequenza