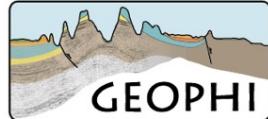




Istituto Nazionale
di Oceanografia
e di Geofisica
Sperimentale



SUBSURFACE
GEOLOGY AND
GEOPHYSICS

STRUTTURA PREPOSTA AL MONITORAGGIO



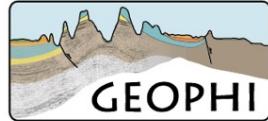
"SAN POTITO E COTIGNOLA STOCCAGGIO"

"Esecuzione di prove di iniezione nel giacimento BB1 di San Potito finalizzate all'ampliamento della capacità di stoccaggio mediante superamento della originaria pressione statica di fondo"

Prima Relazione trimestrale
Maggio - Luglio 2025



Istituto Nazionale
di Oceanografia
e di Geofisica
Sperimentale



SUBSURFACE
GEOLOGY AND
GEOPHYSICS

STRUTTURA PREPOSTA AL MONITORAGGIO



Istituto Nazionale
di Oceanografia
e di Geofisica
Sperimentale



SUBSURFACE
GEOLOGY AND
GEOPHYSICS

STRUTTURA PREPOSTA AL MONITORAGGIO

La presente relazione rendiconta l'attività della struttura preposta al monitoraggio (SPM) presso la concessione di stoccaggio di gas metano denominata "SAN POTITO & COTIGNOLA STOCCAGGIO", per conto di Stogit Adriatica S.p.A (società del Gruppo Snam, <https://www.stogitatadiatrica.it/>), per il periodo compreso tra maggio e luglio 2025 (prima relazione trimestrale).

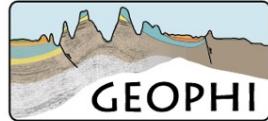
La SPM è composta dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) e dalla Società Geophi S.r.l.

La relazione consta nell'unione della parte riguardante il monitoraggio sismico, affidato a OGS, e la parte riguardante il monitoraggio delle pressioni di poro e delle deformazioni indotte, affidato a Geophi S.r.l.

Trieste, 17 Settembre 2025



Istituto Nazionale
di Oceanografia
e di Geofisica
Sperimentale



SUBSURFACE
GEOLOGY AND
GEOPHYSICS

STRUTTURA PREPOSTA AL MONITORAGGIO



National Institute
of Oceanography
and Applied
Geophysics

stogit
Adriatica



Concessione “San Potito e Cotignola Stoccaggio”
Prove di stoccaggio in sovrappressione nei livelli
BB1-Upper e BB1-Lower del Cluster A

Monitoraggio della sismicità

I^a relazione trimestrale

Firmato digitalmente da

**MATTEO
PICOZZI**

Signature date and time:
2025/09/24 08:41:43

Report
31 Luglio 2025

Autore:

Denis Sandron, Eduardo Diez Zaldivar, Adelaide Romano, Mariangela Guidarelli,
Marco Romanelli

Direttore: Prof. Matteo Picozzi

Indice

1	Introduzione.....	5
2	Inquadramento giuridico	5
2.1	Approvazione del progetto	5
2.2	Identificazione della SPM	7
2.3	Approvazione dell'accordo quadro	8
2.4	Insediamento del Comitato.....	9
2.5	Stesura del DGOM	10
2.6	Inizio delle attività.....	10
3	Inquadramento territoriale	11
3.1	Geologia	11
3.2	Sismicità storica, strumentale e pregressa	14
3.3	Pericolosità sismica	17
4	Rete di Monitoraggio	19
4.1	La rete di monitoraggio sismica	19
4.2	Individuazione dei domini	22
4.3	Analisi di rumore	23
5	Processamento dati	27
5.1	SeisComP	27
5.2	Metodo di localizzazione	30
6	Attività sismica rilevata	32
6.1	Eventi sismici localizzati.....	32
7	Servizi Web.....	38
7.1	Sito WEB	38
7.1	WEB Service.....	38
8	Conclusioni.....	39
9	Riferimenti.....	40
10	Lista delle Figure	42
11	Appendice	44

1 INTRODUZIONE

La presente relazione rendiconta l'attività di monitoraggio sismico che l'OGS svolge presso la concessione di stoccaggio di gas metano denominata “SAN POTITO & COTIGNOLA STOCCAGGIO”, per conto di Stogit Adriatica S.p.A (società del Gruppo Snam, <https://www.stogitadriatica.it/>), per il periodo compreso tra maggio e luglio 2025 (prima relazione trimestrale).

L'attività di monitoraggio è prevista a seguito dell'approvazione del progetto per condurre prove di stoccaggio in sovrappressione, e secondo gli Indirizzi e Linee Guida (ILG) ministeriali elaborato in data 24/11/2014 dal gruppo di lavoro istituito presso l'allora Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE, 2014) per le attività antropiche potenzialmente in grado di indurre sismicità o deformazioni del suolo nel loro intorno.

2 INQUADRAMENTO GIURIDICO

Riportiamo qui di seguito i passaggi più significativi dell'iter burocratico che ha portato all'avvio delle attività delle prove in sovrappressione nel giacimento BB1 di San Potito:

- Approvazione del progetto
- Identificazione della SPM
- Approvazione dell’“Accordo Quadro”
- Insediamento del “Comitato”
- Stesura del “DGOM”
- Inizio attività

Tutta la documentazione è reperibile sul sito web dedicato:

<https://rete-sanpotito.ogs.it/>

2.1 Approvazione del progetto

Il progetto originario è intitolato: “Esecuzione di prove di iniezione nel giacimento BB1 di San Potito finalizzate all'ampliamento della capacità di stoccaggio mediante superamento della originaria pressione statica di fondo”.

Il programma dettagliato delle attività previste nell'ambito del primo anno di prove in sovrappressione, che verranno condotte nel giacimento BB1 di San Potito è descritto per esteso ne “Concessione “SAN POTITO & COTIGNOLA STOCCAGGIO” PROVE DI STOCCAGGIO IN SOVRAPPRESSIONE NEL GIACIMENTO DI SAN POTITO”; Programma delle Prove e Rendicontazione dei Risultati; Milano – 04 aprile 2023” redatto da Edison Stoccaggio, oggi Stogit Adriatica S.p.A, e da cui sono estratti alcuni brani e figure.

[...] “Lo stoccaggio nel giacimento di San Potito viene esercito mediante tre pozzi per la movimentazione del gas (SP-A1d, SP-A2d e a partire dal 2023 SP1-dirST) e due pozzi di monitoraggio delle pressioni di poro (SP-6d, SP-3d), la cui ubicazione in corrispondenza del tetto del serbatoio di stoccaggio è rappresentata in Fig. 2.1.

[...] Il pozzo di monitoraggio SP-6d consente il controllo delle pressioni nel settore occidentale del giacimento, mentre il pozzo SP-3d controlla le pressioni nel

settore orientale dello stesso. I punti di misura delle pressioni sono rappresentati nella sezione di Fig. 2.2.

L'obiettivo principale delle prove di iniezione in sovrappressione statica è quello di accertare la fattibilità dell'ampliamento della capacità di stoccaggio, in modo sicuro e compatibile con le caratteristiche geomeccaniche del giacimento e le diverse componenti ambientali impattate dalla sperimentazione.

Nel caso specifico di San Potito, tale accertamento verrà realizzato su un arco temporale di due anni, prevedendo di raggiungere un primo livello di sovrappressione pari al +7% della pressione statica originaria, mentre per il secondo anno il livello di sovrappressione sarà definito, di comune accordo con gli Enti preposti, sulla base dei risultati del primo anno di sperimentazione.”

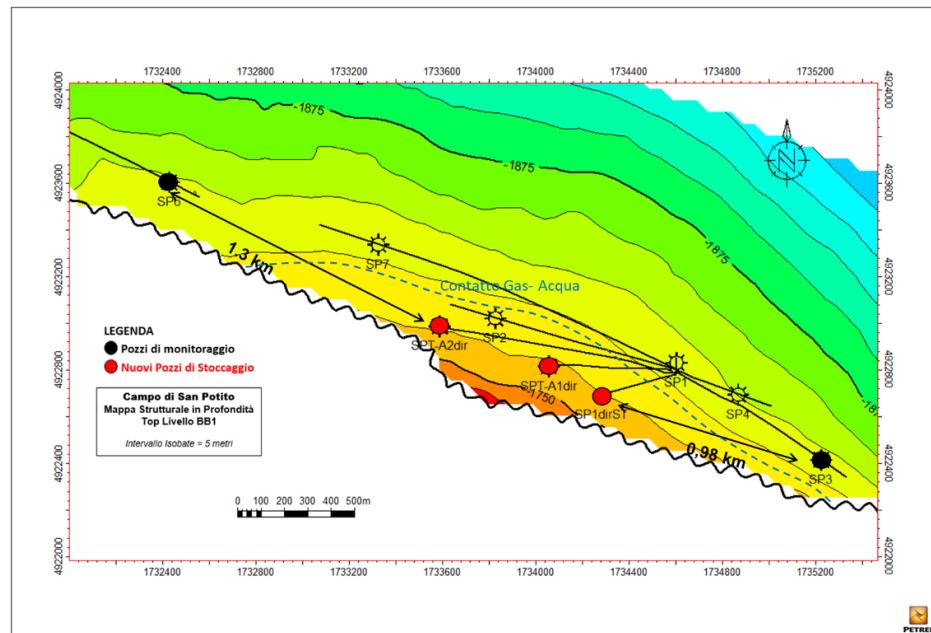


Fig. 2.1 – Posizione dei pozzi al tetto del giacimento BB1 di stoccaggio (per concessione di Edison Stoccaggio, oggi Stogit Adriatica S.p.A.).

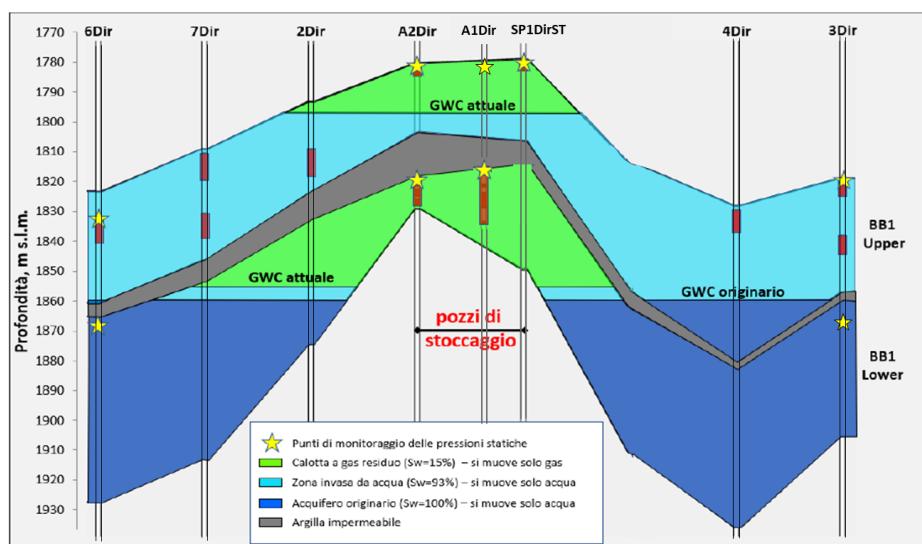


Fig. 2.2 – Posizione dei punti di misura delle pressioni statiche di giacimento (per concessione di Edison Stoccaggio, oggi Stogit Adriatica S.p.A.).

2.2 Identificazione della SPM

Nella seduta della CIRM (Commissione per gli idrocarburi e le risorse minerarie - organo tecnico consultivo del Ministero dello sviluppo economico) del 13 marzo 2024 è stato discusso [anche] l'argomento dell'approvazione dell'Ente Terzo che svolgerà le funzioni di Struttura Preposta al Monitoraggio (SPM), in ottemperanza alle prescrizioni dell'Autorizzazione 27.07.2023 per la realizzazione del Progetto “Esecuzione di prove di iniezione nel giacimento BB1 di San Potito finalizzate all'ampliamento della capacità di stoccaggio mediante superamento della originaria pressione statica di fondo”.

Dalla stessa è scaturito che la SPM designata per il giacimento di stoccaggio “SAN POTITO”, è individuata e composta dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) e dalla Società Geophi S.r.l.

I compiti di OGS e GEOPHI, in qualità di organo tecnico del MASE, sono:

- a) esaminare e valutare il progetto di monitoraggio proposto dal Concessionario;
- b) eseguire l'elaborazione, l'analisi e l'interpretazione finale dei dati del monitoraggio sismico, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro;
- c) provvedere alla trasmissione dei dati grezzi provenienti dalle reti di monitoraggio al MASE;
- d) redigere, con la collaborazione dei soggetti previsti (“...il Concessionario, l'UNMIG, la Regione e, ove ricorra, il MATTM”, Cap. 9.1 ILG), il “Documento di Gestione Operativa dei Monitoraggi (“DGOM”) riportato nel Cap. 9 degli ILG, prima dell'avvio delle prove di iniezione [...]
- e) assicurare le attività, di sua competenza, di disseminazione e comunicazione dei monitoraggi effettuati in accordo con quanto previsto al Cap. 8 degli ILG.

OGS e GEOPHI nel rispetto degli obblighi di riservatezza – anche commerciale – dei dati:

- a) acquisiscono dal Concessionario e analizzano in modo indipendente i dati di movimentazione gas, geologici e di sottosuolo, nonché tutti i dati reputati utili ai fini del monitoraggio, unitamente ai risultati e agli esiti dei monitoraggi fin qui condotti;
- b) acquisiscono in real-time ed in modo indipendente i dati non elaborati delle reti, effettuando dei sopralluoghi, ove lo ritenga necessario;
- c) verificano sistematicamente la funzionalità delle reti di monitoraggio ed elaborano e interpretano i dati grezzi (raw data) [...];
- d) redigono e distribuiscono ai componenti del Comitato la “Relazione trimestrale” con i risultati del monitoraggio, a firma dei rappresentanti OGS e GEOPHI responsabili del monitoraggio, per presa d'atto e condivisione da parte dello stesso Comitato.

La documentazione ufficiale è reperibile sul sito dedicato:

<https://rete-sanpotito.ogs.it/>.

2.3 Approvazione dell'accordo quadro

È stato siglato un Accordo Quadro (AQ) per “per l'applicazione degli Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro – (ILG) alla esecuzione di prove di iniezione nel livello BB1 del giacimento “San Potito” finalizzate all'ampliamento della capacità di stoccaggio mediante superamento della originaria pressione statica di fondo nella concessione di stoccaggio di gas naturale in sotterraneo denominata “SAN POTITO E COTIGNOLA STOCCAGGIO” in Emilia-Romagna” tra:

1. IL MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLE SICUREZZA ENERGETICA, DIREZIONE GENERALE FONTI ENERGETICHE E TITOLI ABILITATIVI (“DGFTA”), EX DIREZIONE GENERALE INFRASTRUTTURE E SICUREZZA - (EX “DGIS”), in persona del Direttore Generale, e
2. LA REGIONE EMILIA ROMAGNA in persona della Presidente facente funzioni, e
3. IL COMUNE DI BAGNACAVALLO (“COMUNE di BAGNACAVALLO”), in persona del Sindaco pro-tempore, e
4. IL COMUNE DI LUGO (“COMUNE di LUGO”), in persona della Sindaca pro-tempore, e
5. L'ISTITUTO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA SPERIMENTALE (OGS), in persona del Direttore della Sezione CRS, Prof. Matteo Picozzi, e
6. LA SOCIETÀ GEOPHI S.R.L., in persona del Responsabile per il monitoraggio e le analisi delle deformazioni superficiali del suolo, Dott. Alessio Ponza, e, per accettazione
7. LA SOCIETÀ EDISON STOCCAGGIO, in persona del Titolare della Concessione, ing. Leonardo Penzo

in data 23/09/2024.

L'AQ è stato stipulato allo scopo di applicare il monitoraggio previsto dagli ILG ma anche al fine di perfezionare gli ILG stessi e proporre eventuali adattamenti/modifiche di adeguamento degli stessi.

La documentazione ufficiale è reperibile sul sito dedicato:

<https://rete-sanpotito.ogs.it/>.

2.4 Insediamento del Comitato

Per le finalità dell'Accordo Quadro (AQ), è stato istituito il “Comitato” composto:

- a) da una rappresentanza della DG FTA - ex DGIS del Ministero, con diritto di un solo voto di Ente;
- b) da una rappresentanza della REGIONE, con diritto di un solo voto di Ente;
- c) da una rappresentanza del COMUNE di BAGNACAVALLO con diritto di un solo voto di Ente;
- d) da una rappresentanza del COMUNE di LUGO con diritto di un solo voto di Ente;
- e) da una rappresentanza della SPM con diritto di un solo voto di Ente;
- f) da una rappresentanza di SOCIETÀ EDISON STOCCAGGIO con diritto di un solo voto di Ente.

Il Comitato si è insediato il 07/11/2024 e si riunisce almeno una volta ogni sei mesi durante il periodo di validità del AQ (art. 4, commi 2 e 3).

Il Comitato svolge i seguenti compiti:

- a) redige e approva il regolamento sul proprio funzionamento entro 30 giorni dalla riunione di insediamento del Comitato (art. 5, comma 2) e verifica periodicamente che l'attività di monitoraggio sia condotta in base a quanto previsto dagli ILG e tenendo conto di quanto riportato nelle premesse del presente AQ;
- b) redige e approva il “Protocollo di trasmissione dati” di cui all'art. 8, comma 2, del presente AQ entro 30 giorni dalla riunione di insediamento del Comitato (art. 5, comma 2);
- c) ratifica il Documento di Gestione Operativa del Monitoraggio (DGOM) prima dell'avvio delle prove di iniezione nel livello BB1 del giacimento “San Potito” finalizzate all'ampliamento della capacità di stoccaggio mediante superamento della originaria pressione statica di fondo, ancorché nella sua versione preliminare/provvisorio e i suoi successivi eventuali aggiornamenti;
- d) segue i monitoraggi e i risultati degli stessi, riportati nella Relazione trimestrale redatta dalla SPM, di cui all'art. 6, comma 2, lettera e), la cui distribuzione e pubblicazione avviene a seguito della sua trasmissione da parte della SPM.

La documentazione ufficiale è reperibile sul sito dedicato:

<https://rete-sanpotito.ogs.it/>.

2.5 Stesura del DGOM

IL DGOM è il documento che definisce le modalità operative di gestione del monitoraggio e di interazione tra i vari soggetti coinvolti. All'interno di questo documento sono indicate le decisioni concordate tra le parti e sono descritti gli elementi più significativi per la conduzione del monitoraggio nonché, in raccordo con le Amministrazioni competenti, le modalità di comunicazione e informazione al pubblico delle eventuali variazioni dei livelli di attivazione delle azioni da intraprendere (cfr. Capitolo 9.2 ILG).

Il DGOM è stato stilato congiuntamente tra il concessionario committente Edison Stoccaggio S.p.a., oggi Stogit Adriatica S.p.A., OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale e GEOPHI S.r.l., questi ultimi quali soggetti tecnici scientifici qualificati e costituenti la Struttura Preposta al Monitoraggio (“SPM”).

Esso è altresì redatto in collaborazione con i soggetti componenti il Comitato di cui all'art. 5 dell'AQ, che lo hanno approvato e ratificato prima dell'avvio delle prove di iniezione nel livello BB1 del giacimento “San Potito” in data 20/02/2025.

La documentazione ufficiale e' reperibile sul sito dedicato:

<https://rete-sanpotito.ogs.it/>.

2.6 Inizio delle attività

L'inizio delle operazioni, comunicato da Stogit Adriatico, è datato 28 aprile 2025.

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Riportiamo qui di seguito brevemente un inquadramento dell'area dal punto di vista geologico, della sismicità storica nonché della pericolosità sismica.

3.1 Geologia

La descrizione dal punto di vista geologico dell'area di interesse è stata trattata per esteso nel documento “Progettazione della rete di monitoraggio microsismico e della rete geodetica di raffittimento presso l'impianto di stoccaggio gas denominato “San Potito e Cotignola Stoccaggio” (Ra)” (Cocorullo & Russo, 2018) e da cui sono estratti alcuni brani e figure riportate di seguito.

[...] “I fogli geologici della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50000 che racchiudono l'area di interesse sono il n. 222 Lugo e il n. 239 Faenza” (Servizio Geologico d'Italia, 2007 e 2009).

[...] “Come mostrato in Fig. 3.1, il Foglio 222 Lugo si estende in un settore caratterizzato da una prima fascia di pieghe e sovrascorimenti sepolti, prossima al margine appenninico e circa parallela ad esso, e da una seconda fascia più esterna con forma arcuata (rispettivamente “pieghe romagnole e ferraresi”): tra queste due fasce si estende, nella parte centrale e settentrionale, un'ampia sinclinale, con asse orientato NO-SE.

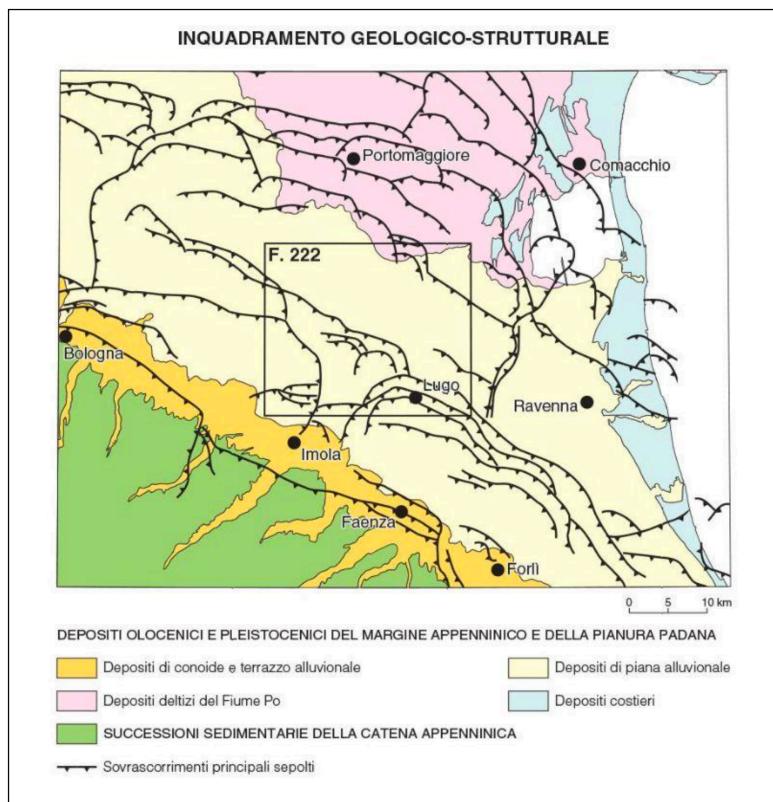


Fig. 3.1– (da Cocorullo & Russo, 2018) “dettaglio dell'inquadramento geologico-strutturale: Foglio 222 Lugo. Sono riportate le tracce dei principali sovrascorimenti sepolti; i depositi affioranti del margine appenninico e della pianura padana sono distinti sulla base dei principali domini deposizionali (modificato da REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1999 e REGIONE EMILIA-ROMAGNA & CNR, 2002)”.

La struttura tettonica di Cotignola è costituita da un'anticlinale di rampa a vergenza prograda (verso NE) e dai suoi margini (Fig. 3.2). Essa è localizzata nella pianura prossimale al margine appenninico romagnolo, ha una forma allungata nel senso NO-SE e si correla alla serie di strutture che verso SE affiorano nell'alto di Cesena. L'alto strutturale di Cotignola viene tagliato da un retro scorrimento tardivo (Pliocenico), forse radicato su un livello di scollamento più profondo, responsabile della progressiva inclinazione della struttura Messiniana verso NE, con il risultato di portare al culmine della struttura anticlinalica le successioni grossolane depositate sul fianco meridionale durante il Messiniano superiore e Pliocene inferiore.

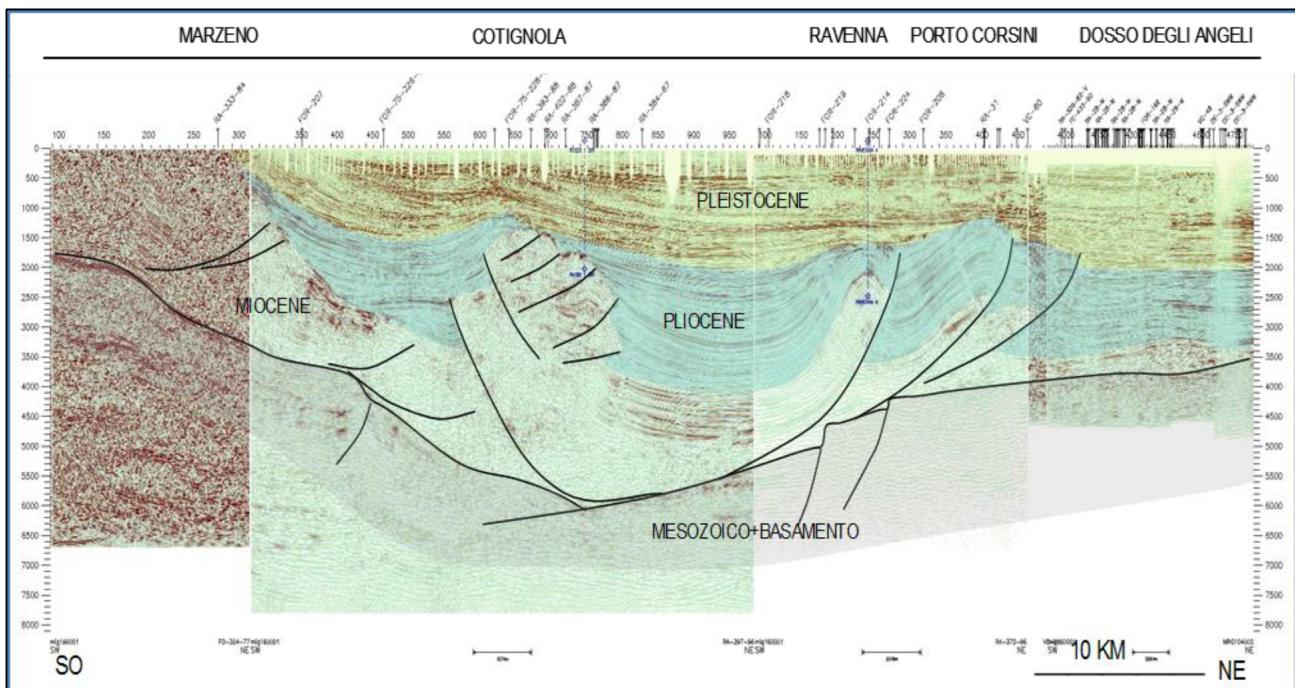


Fig. 3.2– (da Cocorullo & Russo, 2018) "sezione sismica regionale (SW-NE) attraverso l'alto di Cotignola (fonte ENI)"

In Fig. 3.3 si evidenzia che la prima importante superficie di onlap al tetto delle strutture tettoniche che sutura la fase parossistica che le ha generate corrisponde approssimativamente alla base del Pliocene medio, raggiunge la profondità di circa 3000 m nel nucleo della sinclinale per poi risalire a profondità di circa 1000 m nelle zone di alto strutturale. Si nota anche che le geometrie della successione quaternaria riflettono in buona parte l'andamento delle strutture plioceniche ed in particolare si sottolinea:

- una marcata risalita dei riflettori sismici verso il margine appenninico;
 - l'espansione stratigrafica della successione del Quaternario dal margine appenninico verso la pianura aperta e l'assottigliamento della successione in corrispondenza degli alti strutturali di Cotignola-Bagnacavallo e di Alfonsine-Longastrino;
 - l'individuazione di più aree depocentrali: un'area limitata e discontinua a tergo del thrust meridionale, in corrispondenza di Granarolo, un'area ampia compresa tra i due thrust, in corrispondenza di Fusignano, ed un'area, solo parzialmente

intercettata, a fronte del thrust settentrionale in corrispondenza del margine delle Valli di Comacchio.

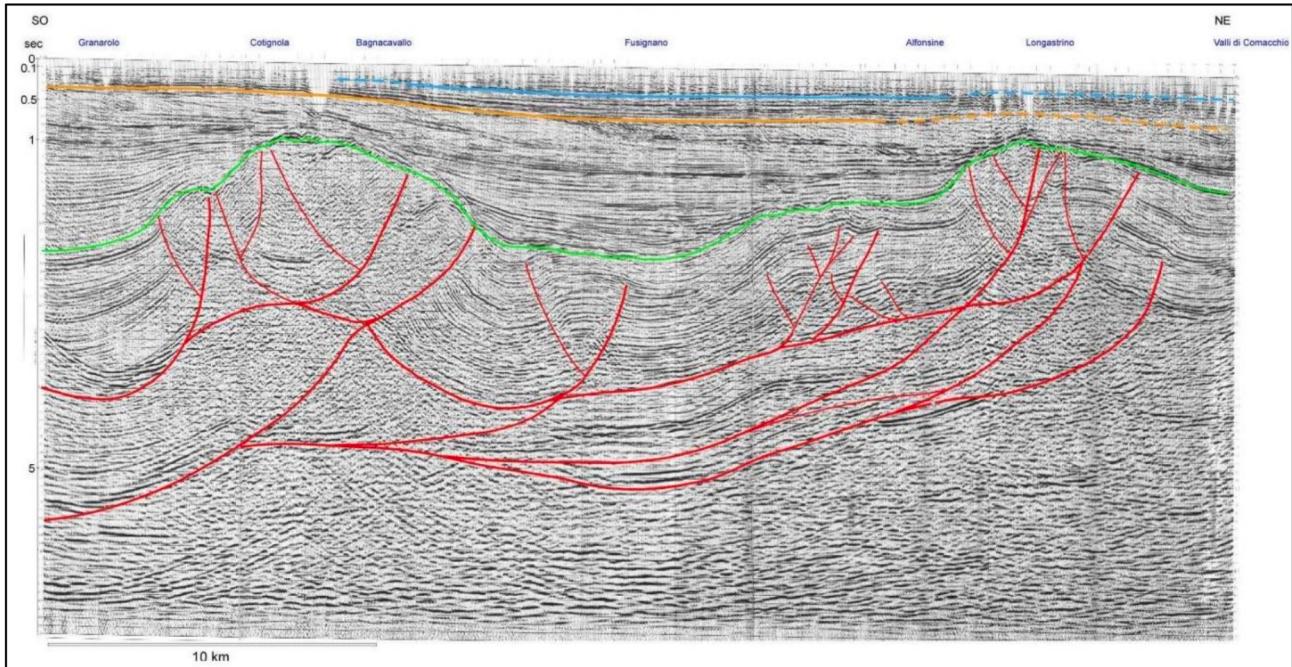


Fig. 3.3 – (da Cocorullo & Russo, 2018) “linea sismica interpretata che mostra le principali caratteristiche del sottosuolo del foglio 222 e delle aree limitrofe. La superficie di onlap regionale della base del Pliocene medio (linea verde) evidenzia la geometria dei bacini sedimentari plio-pleistocenici. Dati autorizzati per la divulgazione ENI-AGIP”.

La deformazione dell'anticlinale è progredita insieme alla subsidenza e alla sedimentazione, con interruzioni documentate da alcune superfici di inconformità probabilmente legate ai principali abbassamenti del livello del mare.

[...] la stratigrafia generale può essere riassunta in diversi gruppi di unità che sono state coerentemente osservate in tutto il bacino della Pianura Padana [19], partendo dal più recente fino al più antico:

- una sequenza quaternaria composta da depositi alluvionali, argille, limi e sabbie (sedimenti alluvionali, Sabbie di Asti, Ravenna Fm);
- un gruppo Pliocenico caratterizzato principalmente da argilla, limo e sabbia (Argille del Santerno, Porto Corsini Fm, Porto Garibaldi Fm);
- un gruppo Messiniano costituito da sabbia, argilla e arenaria con gesso (Gessoso-Solfifera Fm, Colombacci Fm);
- un gruppo flyschoide costituito da sequenze terrigene sin e post-orogeniche (Marne di Gallare, Marnoso-Arenacea e unità Cervarola);
- una sequenza Meso-Cenozoica calcareo marnosa (Scaglia Fm e Maiolica Fm) presente ovunque al di sotto delle unità di bacino di avanfossa.

3.2 Sismicità storica, strumentale e pregressa

In Fig.3.4 sono riportati i terremoti storici estratti dal catalogo CPTI15 (Rovida et al., 2022) e in Tab. 3.1 sono elencati quelli di magnitudo maggiore di M5.5.

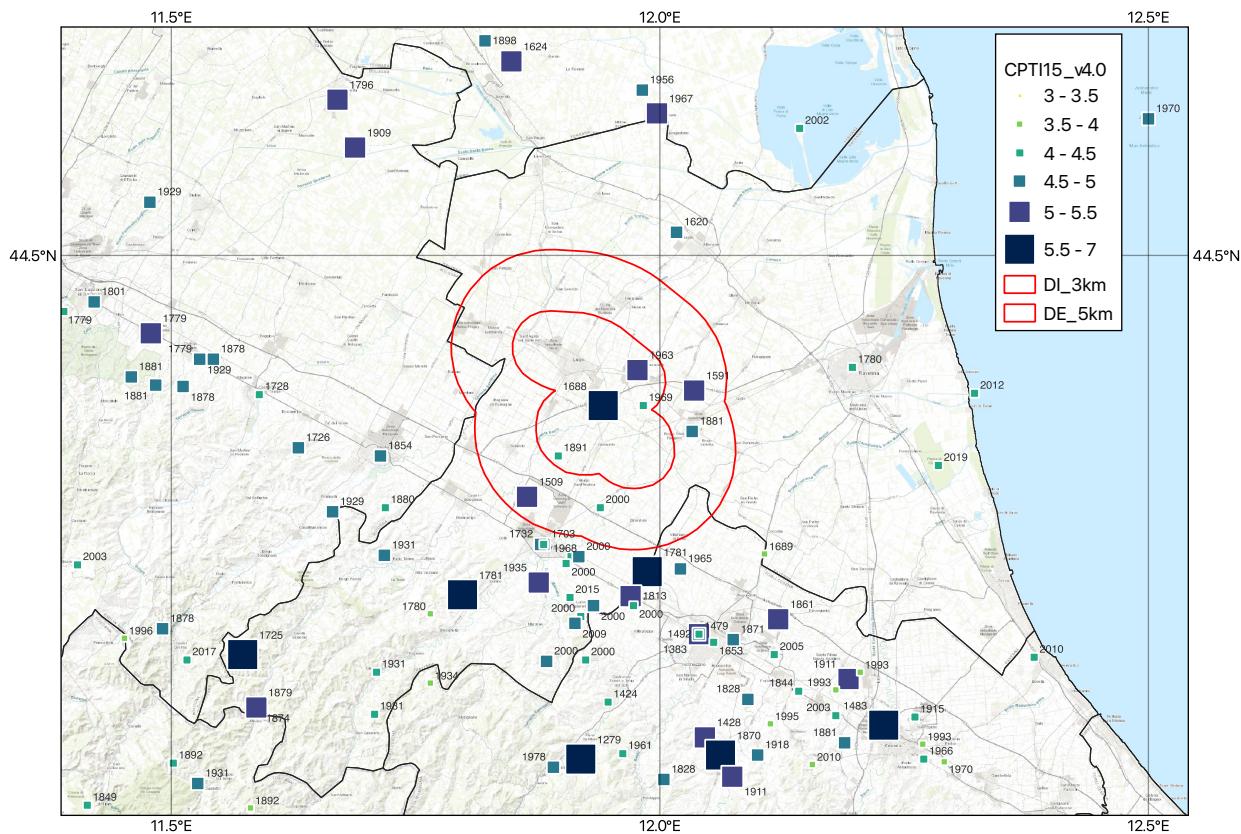


Fig. 3.4 – Eventi estratti dal catalogo CPTI15 con ricerca circolare incentrata su Cotignola e con raggio 75 km.

Tab. 3.1 Terremoti estratti dal catalogo CPTI15 (Rovida et al., 2022) con magnitudo maggiore di M5.5 in un raggio di 75 km da Cotignola.

Year	M	Da	Ho	Mi	Se	Lat.	Lon.	EpicentralArea	Io	Mw
1919	6	29	15	6	13	43.957	11.482	Mugello	10	6.38
1781	4	4	21	20		44.251	11.798	Faentino	9-10	6.12
1661	3	22	12	50		44.021	11.898	Appennino forlivese	9	6.05
1542	6	13	2	15		44.006	11.385	Mugello	9	6.02
1768	10	19	23			43.943	11.904	Appennino forlivese	9	5.99
1584	9	10	20	30		43.862	11.992	Appennino forlivese	9	5.97
1918	11	10	15	12	28	43.917	11.933	Appennino forlivese	9	5.96
1688	4	11	12	20		44.39	11.942	Romagna	8-9	5.84
1916	5	17	12	50		44.119	12.748	Riminese	8	5.82
1875	3	17	23	51		44.209	12.659	Costa romagnola	8	5.74
1483	8	11	19	40		44.155	12.229	Romagna	8	5.69
1725	10	29	17	40		44.207	11.573	Appennino tosco-emiliano	8	5.67
1786	12	25	1			43.991	12.565	Riminese	8	5.66

1505	1	3	2			44.507	11.23	Bolognese	8	5.62
1781	7	17	9	40		44.268	11.987	Faentino	8	5.61
1870	10	30	18	34		44.133	12.062	Forlivese	8	5.61
1672	4	14	15	45		43.941	12.576	Riminese	8	5.59
1279	4	30				44.13	11.919	Appennino forlivese	7-8	5.52

Tra gli eventi storici, che ricadono all'interno del dominio esteso, sono da segnalare: a) M5.84, 1688 a Cotignola; b) M5.23, 1963 e M5.13, 1591 intorno a Bagnocavallo; c) M5.02, 1509 a San Pietro in laguna.

In Fig. 3.5 è riportata la sismicità estratta dal catalogo ISIDE (ISIDE Working Group, 2007). L'attività è prevalentemente concentrata alle pendici degli apennini.

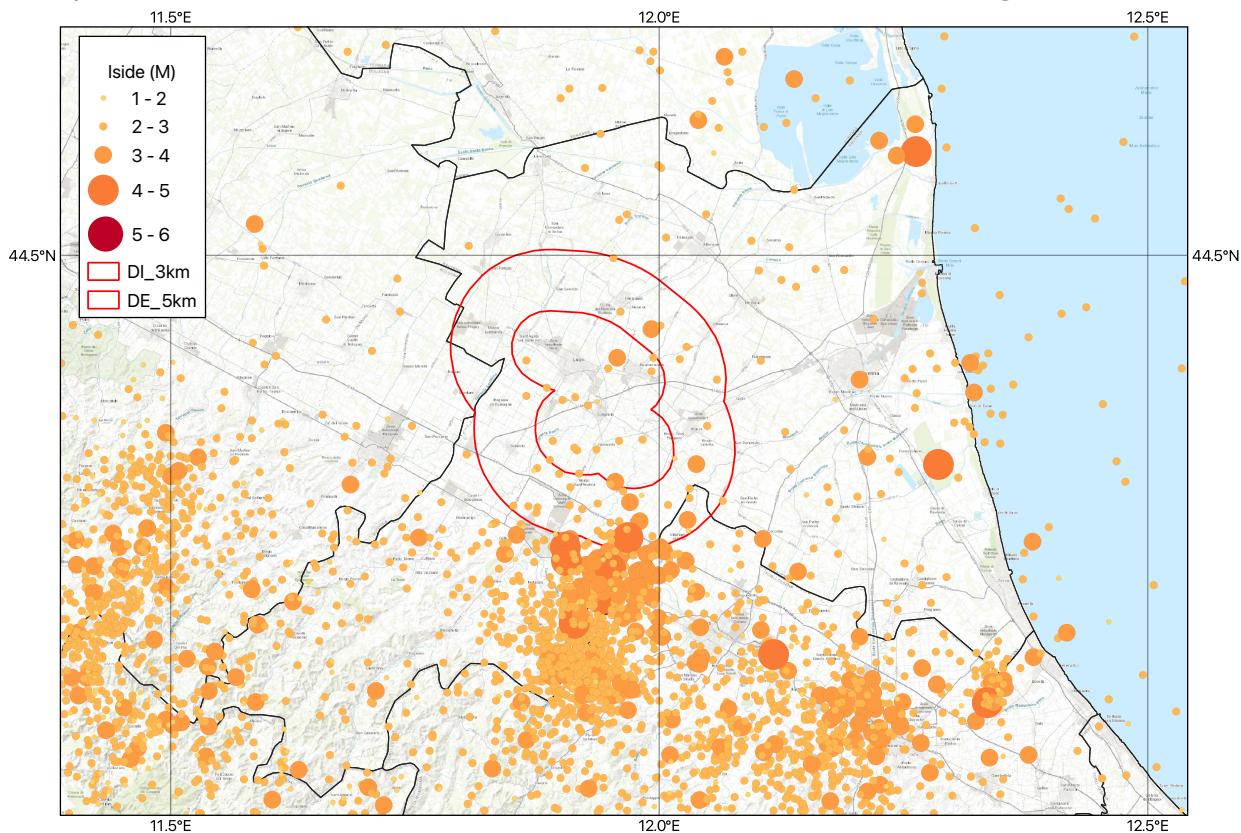


Fig. 3.5 – Eventi estratti da ISIDE (ISIDE Working Group, 2007) con ricerca circolare incentrata su Cotignola e con raggio 75 km.

Tra gli eventi registrati, che ricadono all'interno del dominio esteso e appena al di fuori del suo bordo meridionale, da segnalare la sequenza di Faenza del maggio 2000 (Tab. 3.2).

Tab. 3.2 Terremoti estratti dal catalogo ISIDE (ISIDE Working Group, 2007) con magnitudo maggiore di M4.0 in un raggio di 75 km da Cotignola.

Time	Lat.	Lon.	Depth/Km	Md	EventLocationName
2000-05-02T08:48:49.520000	44.286	11.972	9.8	4	7 km E Faenza (RA)

2000-05-06T22:07:04.330000	44.286	11.904	10	4.2	2 km E Faenza (RA)
2000-05-08T12:29:56.700000	44.27	11.95	10	4.3	6 km E Faenza (RA)
2000-05-09T17:51:21.020000	44.22	12.003	13.7	4	3 km W Forlì (FC)
2000-05-10T16:52:11.570000	44.248	11.942	13.1	4.5	6 km SE Faenza (RA)
2000-05-11T10:57:47.580000	44.295	11.854	4.8	4	3 km W Faenza (RA)
2000-05-11T11:57:15.750000	44.293	11.968	5.1	4.1	7 km E Faenza (RA)
2000-05-12T11:26:39.050000	44.276	11.905	3.9	4.1	2 km SE Faenza (RA)

In Fig. 3.6 sono riportate, per la zona di interesse, le sorgenti sismogenetiche dal database DISS. I riquadri in viola rappresentano la sorgente sismogenetica individuale, una rappresentazione semplificata e tridimensionale di un piano di faglia rettangolare. In verde la sorgente sismogenetica composita, una rappresentazione semplificata e tridimensionale di una faglia crostale contenente un numero impreciso di sorgenti sismogenetiche che non possono essere individuate.

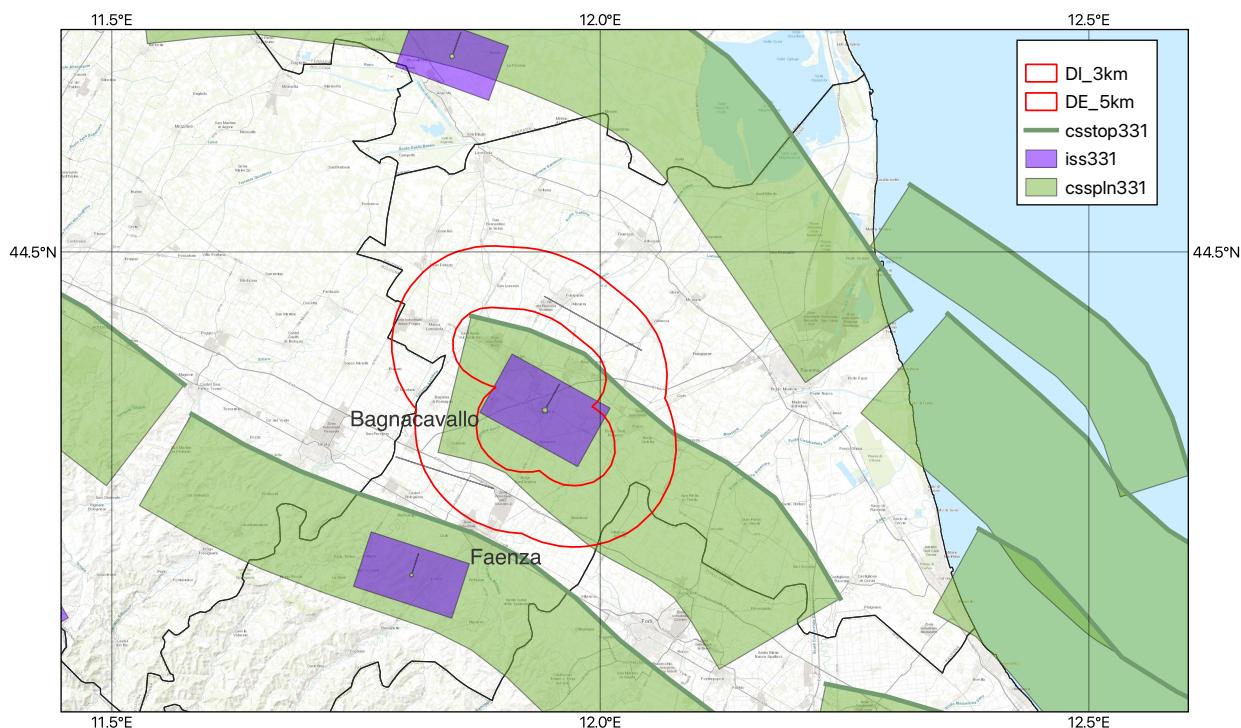


Fig. 3.6 – Mappa delle sorgenti sismogenetiche (DISS). All'interno del DI la sorgente di Bagnocavallo.

La sorgente sismogenetica individuale di Bagnocavallo (ITIS100) è coerente con i danni maggiori ($I_{max}=IX$) riportati a Cotignola, Bagnacavallo, Solarolo, Russi e Lugo a seguito del terremoto di magnitudo $Mw5.84$ dell'11 aprile 1688 (Tab. 3.1). Un ulteriore vincolo per il bordo sud-orientale della sorgente è dato dall'aftershock nei pressi di Russi il 18 aprile 1688. Le caratteristiche sono: $9.1 \text{ km} \times 6.0 \text{ km}$ (Wells and Coppersmith, 1994); profondità $2.5 - 5.0 \text{ km}$; geometria $119^\circ/25^\circ/90^\circ$ (strike, dip, rake). Questa sorgente appartiene alle pieghe romagnole, le pieghe più interne dell'Arco ferrarese-romagnolo, che rappresentano la propagazione più esterna del cuneo compressivo appenninico.

3.3 Pericolosità sismica

In Fig.3.7 sono riportati, per l'area di monitoraggio, i valori su griglia di pericolosità sismica espressi in termini di accelerazione massima del suolo (%g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s, ovvero cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

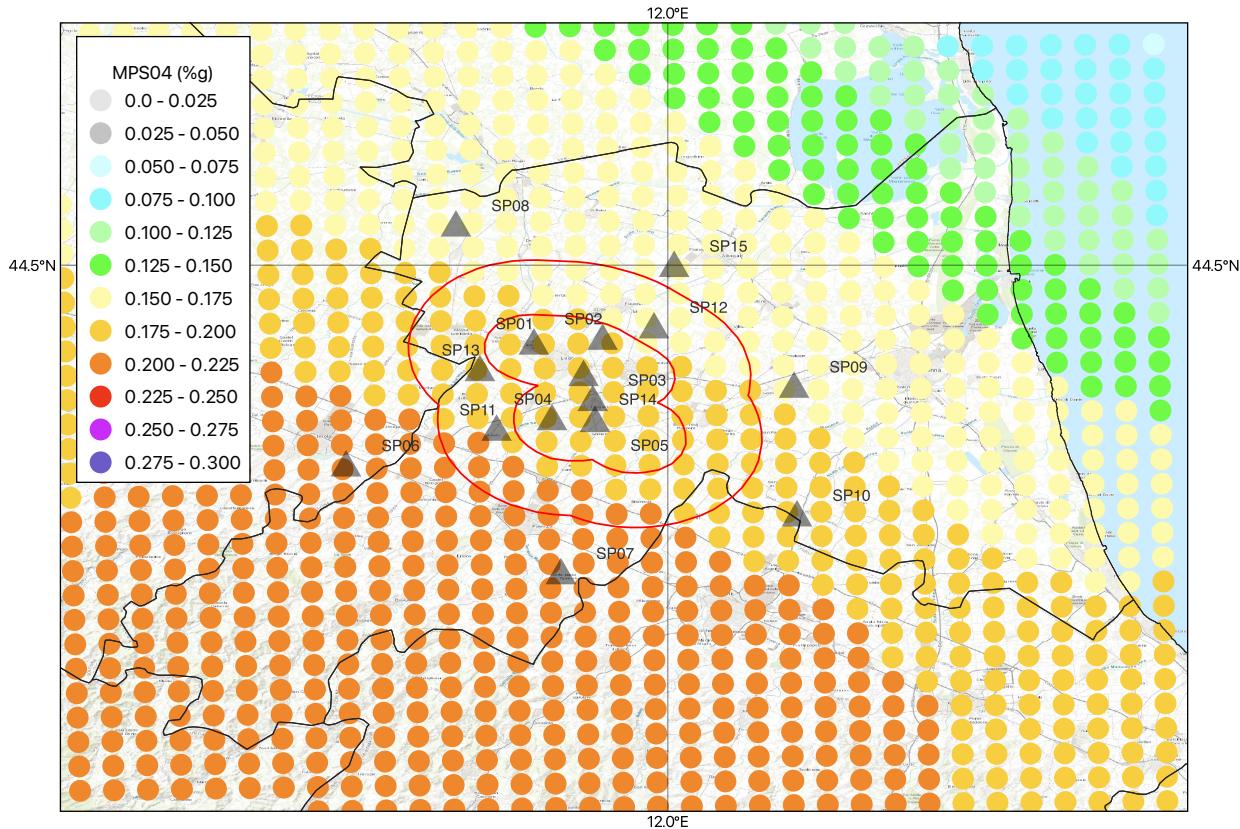


Fig. 3.7– Valori di PGA (%g) estratti dalla mappa MPS04 (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni). Da <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Secondo la classificazione sismica nazionale, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n. 1164 del 23 luglio 2018, i comuni di Cotignola, Lugo, Bagnacavallo ricadono nella Zona 2, caratterizzata da sismicità media.

Zona 2 indica la potenziale presenza di forti terremoti, con accelerazioni orizzontali attese tra 0.15 g e 0.25 g.

Questa classificazione implica che, pur non essendo tra le aree più pericolose d'Italia (zona 1), è comunque necessario adottare criteri antisismici nella progettazione edilizia.

Uno studio dedicato al calcolo della pericolosità sismica per l'Appennino settentrionale sulla base di una nuova zonazione sismogenetica, che considera come sorgenti sismogenetiche i piani inclinati (dipping), definiti sulla base di tutte le informazioni sismotettoniche finora disponibili, (Martelli et al., 2017) evidenzia dei valori di accelerazione leggermente superiori (0.05-0.1) a quelli della mappa MPS04 (Fig. 3.8a). Per contro i risultati del nuovo modello probabilistico di pericolosità sismica per l'Italia, MPS19 (Meletti et al., 2021) mostra, almeno nell'area dello stoccaggio, valori leggermente inferiori (0.150 - 0.175 %g) (Fig. 3.8b)

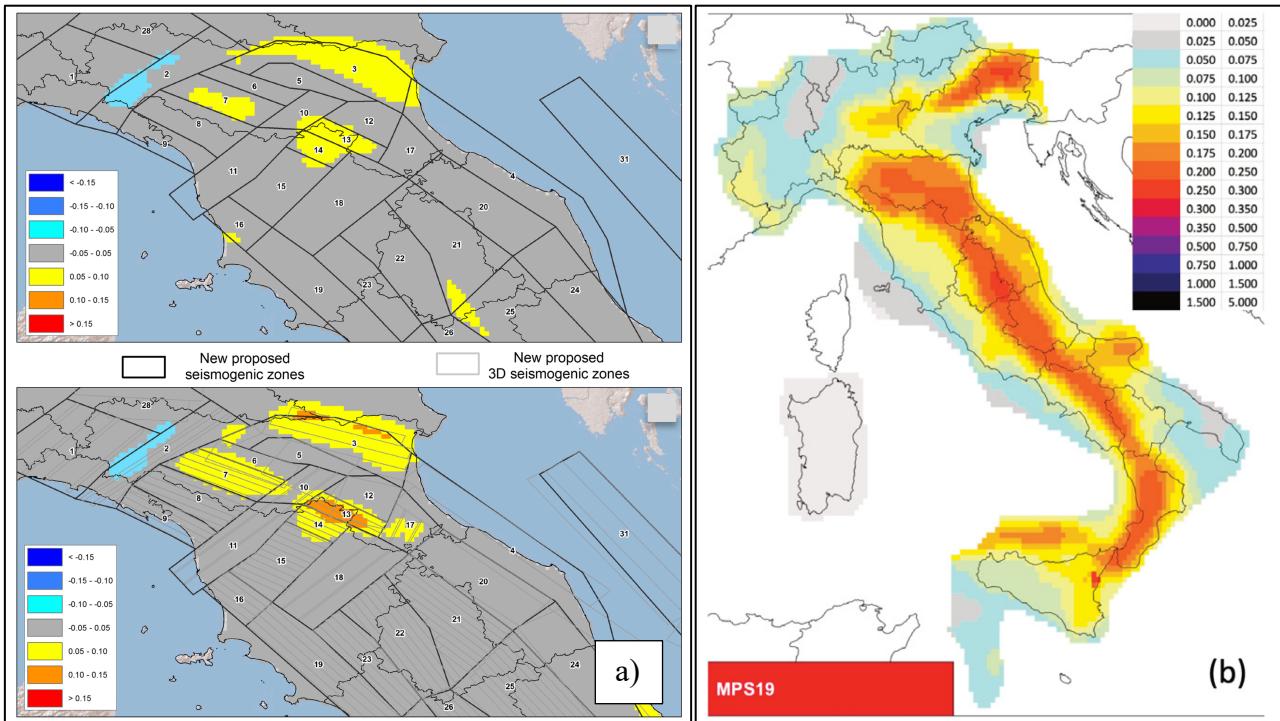


Fig. 3.8 – a) confronto tra le nuove stime di pericolosità e quelle di MPS04 (da Martelli et al., 2017), b) valori di PGA (%g) della mappa MPS19 (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni). Da Meletti et al., 2021.

4 RETE DI MONITORAGGIO

4.1 La rete di monitoraggio sismica

La rete sismica di San Potito e Cotignola è stata realizzata dalla Solgeo Srl. Una commissione di esperti dell'Università di Bologna ha valutato in modo ampiamente positivo il progetto di realizzazione della rete stessa (Mancini et al., 2018), quest'ultimo descritto in maniera dettagliata rispettivamente in Cocorullo & Russo, 2018 e Di Fronzo, 2018.

La Rete di Monitoraggio Sismico di San Patito (RMSP) è composta da quindici stazioni sismometriche e da una stazione geodetica GNSS permanente. Le stazioni sono indicate con la sigla SP.

Si possono identificare due gruppi di stazioni:

- un nucleo interno composto da 8 stazioni con sensori di corto periodo in foro (SP01, SP02, SP03, SP04, SP05, SP11, SP13 e SP14) che circondano l'area di stoccaggio e ricadono nel Dominio Interno.
- un gruppo esterno composto da 7 stazioni (SP06, SP07, SP08, SP09, SP10, SP12 e SP15) situate a varie distanze tra 10 e 20 km dal nucleo centrale.

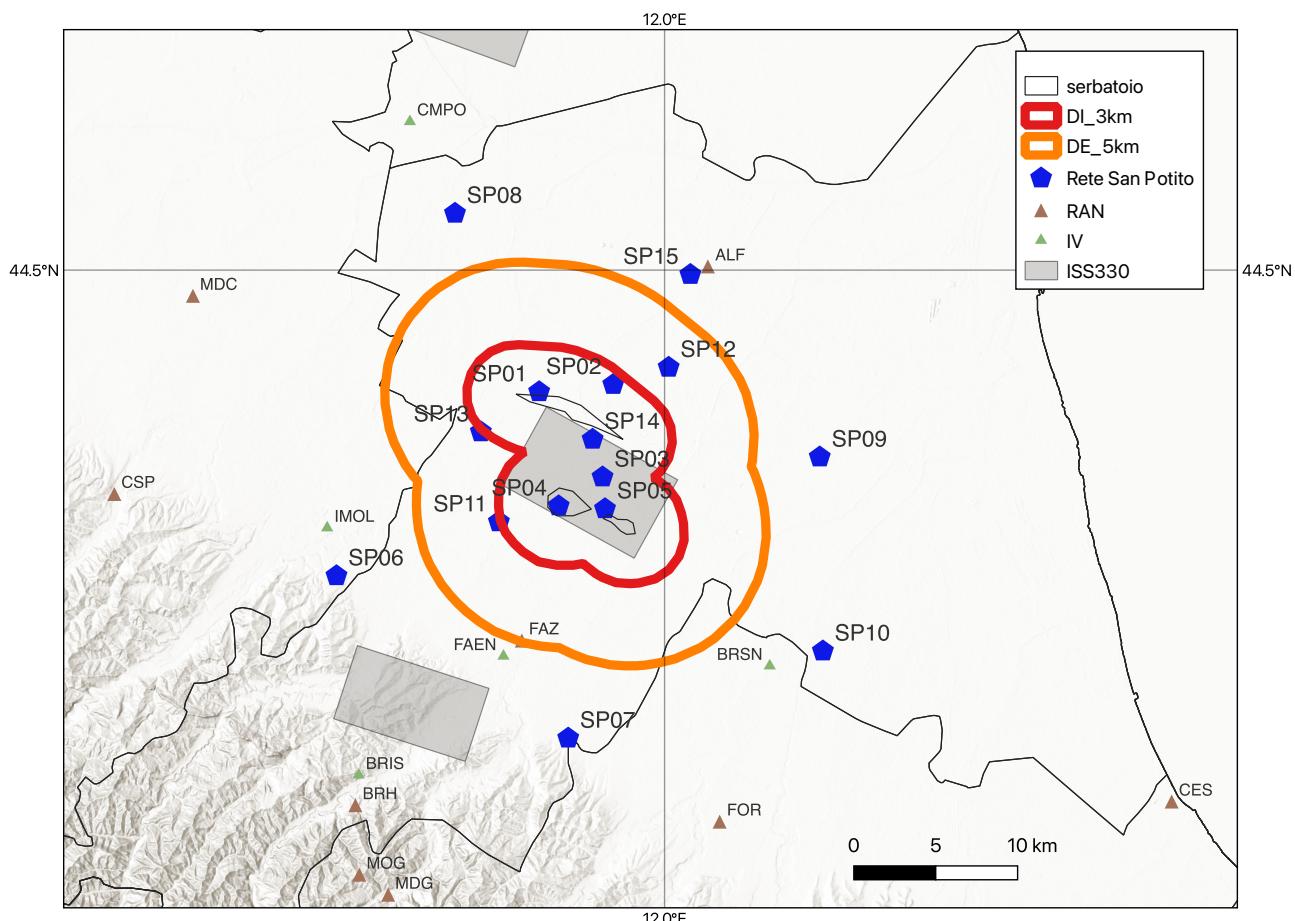


Fig. 4.1– Rete di San Potito (pentagoni blu). In marrone le stazioni della rete accelerometrica nazionale (RAN), in verde quelli della rete INGV (IV).

La Fig. 4.1 mostra la mappa con la posizione delle stazioni e i contorni in superficie delle aree corrispondenti ai Domini di Rilevazione.

Le stazioni della rete accelerometrica nazionale (RAN, triangoli marrone) e della rete INGV (IV, triangoli verdi) non sono utilizzate ai fini del monitoraggio.

Tab. 4.1 Elenco delle stazioni della rete "San Potito e Cotignola" (SP) con: Codice stazione (Sta_Id); tipo di data logger; tipo di strumento (sismometro, SS e accelerometro, numeri di serie SA); parametri geografici (Lat, Lon, profondità, altitudine); data di inizio attività.

Stat_Id	Datalogger	Sensors	Latitude (N)	Longitude (E)	Depth (m)	Elevation (m)	Date on
SP01	SARA SL06-BB	SS08(2233)	44.433748	11.904231	0.5	10	17/12/2018
		---			---		
SP02	SOLGEO DYMAS 24	SS10BH(2637)	44.437697	11.960797	0.5	7	10/10/2018
		SA10(2647)					
SP03	SOLGEO DYMAS 24	SS10BH(2642)	44.387289	11.952630	0.5	14	09/10/2018
		SA10(2648)					
SP04	SOLGEO DYMAS 24	SS10BH(2638)	44.371509	11.919130	0.5	17	27/09/2018
		SA10(2645)					
SP05	SOLGEO DYMAS 24	SS10BH(2639)	44.369958	11.954506	0.5	14	27/09/2018
		SA10(2646)					
SP06	SOLGEO DYMAS 24	SS02(2635)	44.333389	11.749564	0.5	66	23/10/2018
		SA10(2649)					
SP07	SOLGEO DYMAS 24	SS02(2636)	44.244694	11.926417	0.5	48	20/11/2018
		SA10(2650)					
SP08	SOLGEO DYMAS 24	SS02(2632)	44.530917	11.840028	0.5	3	24/09/2018
		SA10(1070)					
SP09	SOLGEO DYMAS 24	SS02(1642)	44.398181	12.118394	0.5	1	24/10/2018
		SA10(2742)					
SP10	SOLGEO DYMAS 24	SS02(2634)	44.398181	12.120789	0.5	10	21/11/2018
		SA10(2743)					
SP11	SOLGEO DYMAS 24	SS10BH(2643)	44.362811	11.873497	0.5	24	12/10/2018
		SA10(2651)					
SP12	SOLGEO DYMAS 24	SS02(2630)	44.447058	12.003094	0.5	3	27/09/2018
		SA10(2628)					
SP13	SOLGEO DYMAS 24	SS10BH(2640)	44.411881	11.859742	0.5	14	25/10/2018
		SA10(2744)					
SP14	SOLGEO DYMAS 24	SS10BH(2170)	44.407844	11.945058	0.5	13	21/11/2018
		SA10(2745)					
SP15	SOLGEO DYMAS 24	SS02(2633)	44.497611	12.019667	0.5	5	25/09/2018
		SA10(2629)					

Le stazioni sono dotate di strumenti professionali di fabbricazione SARA electronic instruments s.r.l. e SOLGEO. In particolare, i sensori sono il sismometro a banda larga SARA SS08, il sismometro di superficie a corto periodo SARA SS02 e il sismometro da foro SARA SS10BH (<https://www.sara.pg.it/>).

Per coprire l'intera gamma dinamica e sfruttare le capacità dei data logger, sono stati installati anche gli accelerometri SARA SA10 per registrare forti terremoti in cui il segnale ottenuto dai sismometri potrebbe essere saturato in ampiezza. Si tratta di uno strumento di tipo force-balance feedback con una risposta piatta all'accelerazione del suolo da DC a 100 Hz e una risposta di fase stabile all'interno di questa banda passante.

I digitalizzatori sono SOLGEO DYMAS24 e SARA SL06, digitalizzatori multicanale e a 24 bit. Le loro caratteristiche principali sono la robustezza, il basso consumo

energetico e la compatibilità con i protocolli SeedLink e MiniSeed (<https://www.solgeo.it>).

La Figura 4.2 mostra gli strumenti utilizzati nelle stazioni della rete RMSP.



Fig. 4.2– Foto degli strumenti installati nella rete SP: a) sismometro a banda larga SARA SS08; b) sismometro da foro a breve periodo SARA SS10BH; c) sismometro di superficie a breve periodo SARA SS02; d) accelerometro a bilanciamento di forza SARA SA10; e) digitalizzatore SARA SL06; f) digitalizzatore SOLGEO DYMAS24.

I sensori in foro sono stati dotati di un sistema di accoppiamento sviluppato da SARA, che consiste in una lama di acciaio che viene messa in tensione da due flange integrate nel sensore (Figura 4.2b). La tensione della lama viene regolata in modo che il sensore possa scorrere nel tubo con un peso adeguato. Una volta raggiunto il fondo del foro, il peso viene rimosso dall'alto.

La stazione SP01 è caratterizzata da un array di sismometri in pozzo (6 sismometri a corto periodo installati tra i -35 e i -285 m) e un sismometro broadband.

Tutti i canali di acquisizione hanno una frequenza di campionamento pari a 200 Hz. I dati registrati dalle stazioni sono trasmessi direttamente al centro di acquisizione presso la sede OGS di Trieste.

I dati acquisiti vengono archiviati in tempo reale in formato mseed su sistemi di archiviazione di rete ridondanti.

La completa operatività della rete è stata raggiunta nel mese di dicembre 2018.

4.2 Individuazione dei domini

Dopo un'analisi dei domini di rilevazione stabiliti dalla Solgeo Srl, OGS ne ha proposto una loro ridefinizione (Romano et al., 2024; rapporto interno OGS). Come indicato sugli ILG (MISE, 2014), i volumi che devono essere interessati dal monitoraggio sismico delle attività antropiche sono due: Dominio Interno (DI) e Dominio Esteso (DE). In particolare, per le attività di stoccaggio, il DI è il volume comprendente il giacimento e un'ulteriore fascia nel suo intorno fino ad una distanza di 2-3 km, e il DE è il volume che si estende oltre il DI per una fascia compresa tra 5-10 km.

La Fig. 4.3 rappresenta in pianta l'estensione dei domini definiti dalla Solgeo Srl e quella dei domini proposti dall'OGS.

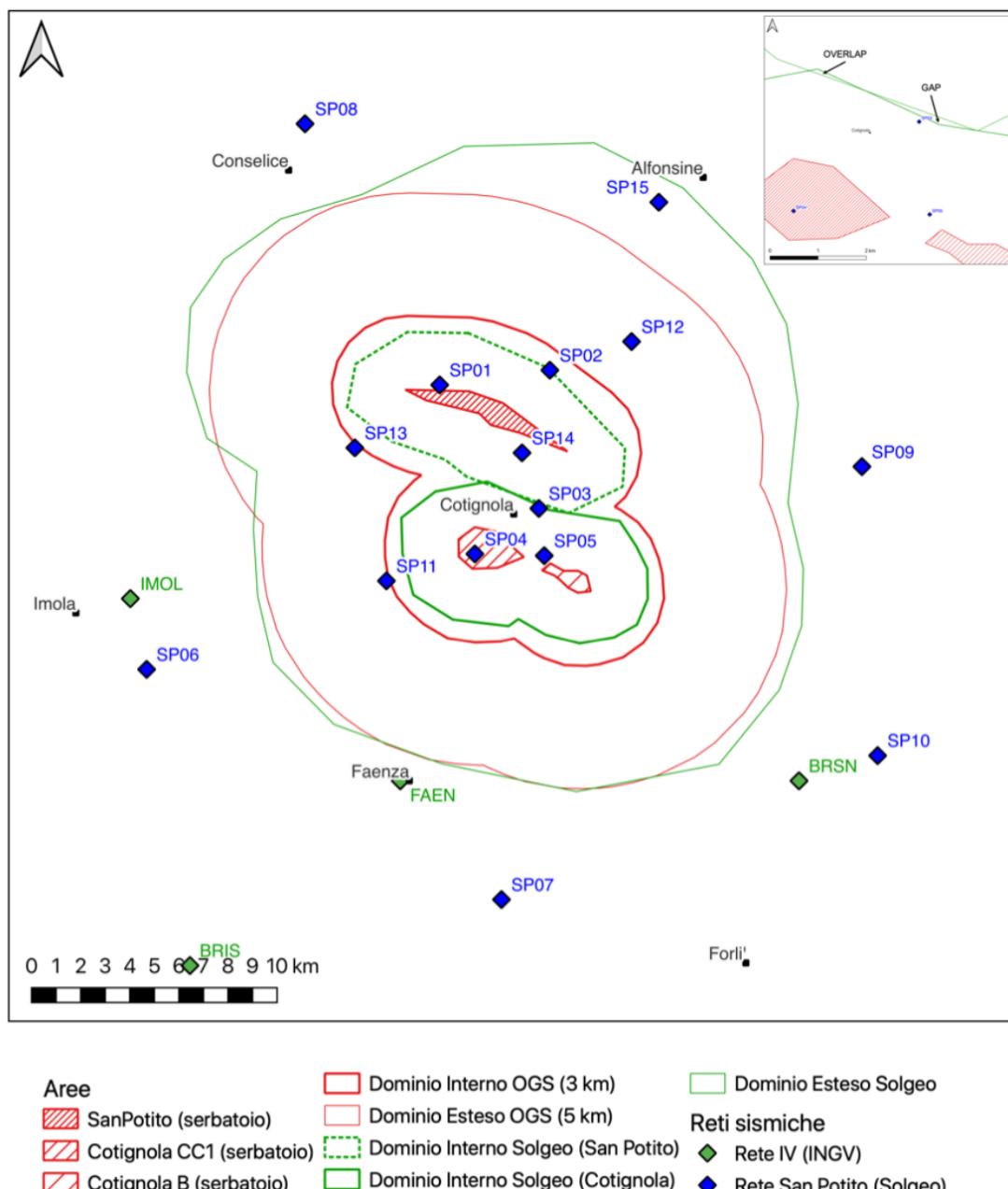


Fig. 4.3 – Mappa della Rete Sismica di San Potito e Cotignola e dei domini di rilevazione della microsismicità (da Romano et al., 2024; rapporto interno OGS).

I domini definiti dalla Solgeo Srl comprendono tre aree: due DI, uno per il reservoir di San Potito e uno per i due reservoir di Cotignola, e un DE che li contiene entrambi, tutti caratterizzati da fasce irregolari con distanze variabili rispettivamente dai bordi dei giacimenti e dei DI. I due DI non sono perfettamente adiacenti, ma in un punto si sovrappongono (overlap nel riquadro di Fig. 4.3) e in un'altra zona lasciano un vuoto (gap nel riquadro di Fig. 4.3) che appare non adeguato, anche alla luce di una eventuale azione da intraprendere in caso vi si localizzino dei terremoti. In entrambi i casi (DI, DE) i limiti dei domini previsti da Solgeo Srl sono stati impostati per lo più sulla distanza minima prevista dalle Linee Guida.

OGS ha proposto una ridefinizione dei domini come segue:

- un unico DI, con associato un buffer omogeneo di 3 km dai bordi dei tre giacimenti, in grado di racchiuderli tutti;
- un DE, con buffer omogeneo di 5 km dal bordo del DI.

La geometria di acquisizione della rete microsismica e l'estensione del DE definito dalla Solgeo Srl fanno sì che le localizzazioni dei terremoti al suo interno siano sufficientemente vincolate da GAP azimutali abbastanza ridotti solo grazie all'utilizzo delle stazioni della rete locale (con codice SP), alcune clusterizzate sul DI e le altre intorno al DE.

Nel caso di un DE più ampio (ad esempio fino al valore massimo di 10 km indicato dagli ILG), la maggior parte delle stazioni con codice SP andrebbero a ricadere al suo interno, rendendo indispensabile ricorrere all'utilizzo delle stazioni della RSN per le localizzazioni dei terremoti in quest'area. Tuttavia, i dati delle stazioni della RSN non disponibili in real-time. OGS ha scelto un DE con buffer di 5 km che quasi completamente ricalca quello definito dalla Solgeo Srl.

Per quanto riguarda l'estensione dei domini in profondità, si è tenuto conto della profondità dei reservoir (-1800 m per San Potito, -970 m per Cotignola B e -860 m per Cotignola CC1) e della scelta logistica di contenere tutti e tre i reservoir in un unico DI, non solo in pianta; pertanto, considerato che il reservoir più profondo si trova a ~2000 m, il DI si estende fino a -5000 m e il DE fino a -10000 m.

4.3 Analisi di rumore

Una stima della capacità di detection teorica della microsismicità è stata condotta sui dati di rumore sismico che caratterizzano le singole stazioni (Diez et al., 2024; rapporto interno OGS).

Ogni sensore sismico in funzione registra ovunque rumore di fondo, che può essere definito come la parte del segnale continuo che non può essere propriamente associata a un terremoto. Questa inevitabile interferenza può essere di origine strumentale e provenire dalle stesse apparecchiature che la compongono, di origine elettromagnetica a causa della scarsa schermatura dei componenti, oppure di origine antropica per le attività che si svolgono in prossimità del sito di registrazione (industria, agricoltura, traffico veicolare, elettrodomestici) e di origine naturale per fenomeni sia diretti (vento, pioggia) che indiretti (mareggiate, fiumi).

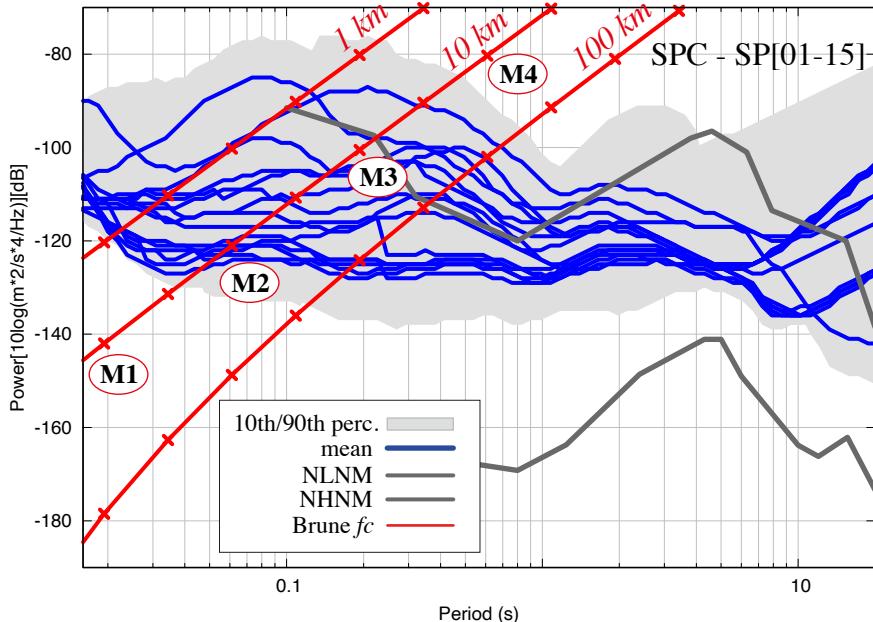


Fig. 4.4 – I livelli di rumore "medi" delle stazioni della rete SP (linee blu) su un canale a banda larga a componente verticale (HHZ) dopo un mese di registrazione continua (luglio 2022). Le curve di riferimento standard "New High Noise Model" (NHNM) e "New Low Noise Model" (NLNM) sono indicate in grigio scuro (Peterson, 1993). Le linee rosse mostrano le frequenze angolari e le ampiezze delle onde P (Brune, 1970) per terremoti di magnitudo [M1-M3] e distanze [1, 10, 100 km] (da Diez et al., 2024; rapporto interno OGS).

Una descrizione completa delle caratteristiche di rumore di una stazione sismica richiede l'acquisizione e l'elaborazione di segnali su lunghi intervalli di tempo, preferibilmente in modo continuo. Lo studio ha utilizzato sia le registrazioni della forma d'onda che gli eventi sismici ottenuti dalla rete RMSP durante un mese di funzionamento (dati forniti da Solgeo) e i dati corrispondenti ai livelli di rumore "medio" delle stazioni della rete RMSP, su una componente verticale a banda larga e su un canale a corto periodo (HHZ ed EHZ rispettivamente), sono mostrati in Figura 4.4 e confrontati con le curve di riferimento standard (linee grigio scuro).

Dal punto di vista del rumore sismico e della sua distribuzione nel dominio del tempo, anche se tutte le stazioni mostrano un comportamento all'interno dell'intervallo ottimale e un andamento omogeneo tra di esse, la rete RMSP può essere considerata con livelli di rumore elevati in alcune bande di periodo.

Nella fascia di periodo compresa tra 0.06 e 0.3 secondi (dove sono attesi i segnali corrispondenti a terremoti locali di bassa energia), il valore PSD è generalmente compreso tra -80 dB e -112 dB. Tuttavia, il comportamento del rumore varia notevolmente in ogni stazione, a seconda delle condizioni locali, cioè del tipo di installazione del sensore e del rumore antropico locale.

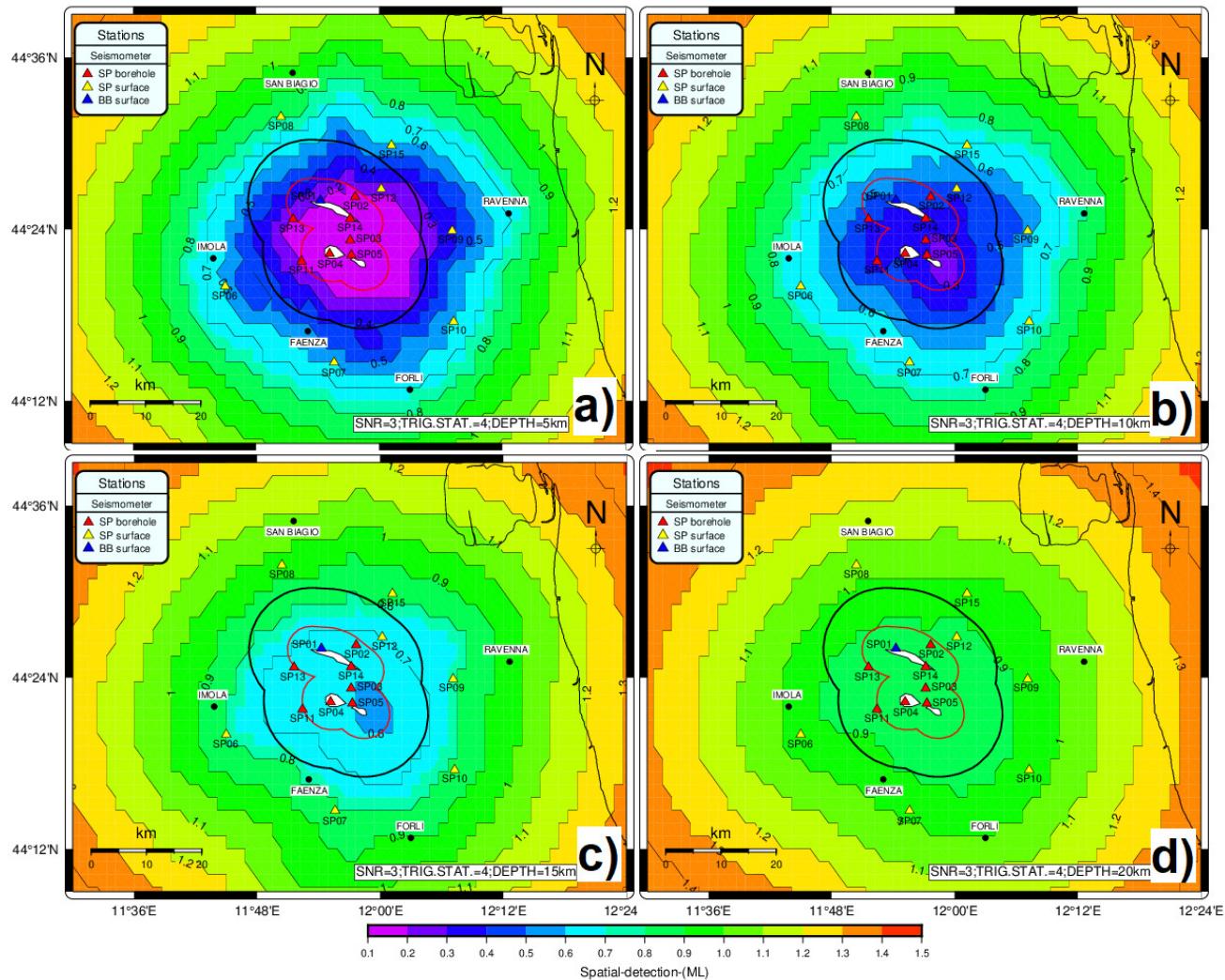


Fig. 4.5 – Mappa di rilevamento per la rete RMSP in base alla profondità e per gli stessi set di parametri SNR (rapporto segnale/rumore, pari a 3) e thrsDet (numero di stazioni per dichiarare il rilevamento, pari a 4). La linea di contorno della magnitudo è definita su una griglia con un passo di $0,0015^\circ$ (da Diez et al., 2024; rapporto interno OGS).

Questi livelli di rumore molto diversi nelle singole stazioni determinano la soglia di rilevamento dell'intera rete RMSP, che si possono riassumere:

- in termini generali, l'area di studio presenta un elevato grado di antropizzazione e un notevole spessore dei sedimenti nella regione;
- le funzioni PSD del rumore nelle stazioni della rete mostrano di rientrare negli standard stabiliti dai modelli NLNM e NHNM (Peterson, 1993) in tutta la gamma di frequenze di interesse;
- il rumore sismico di fondo è il fattore che influenza maggiormente le prestazioni complessive della rete e la soglia di rilevamento si deteriora in modo significativo (cioè, la magnitudo minima di rilevamento aumenta) quanto più forte è il rumore sismico;
- Il nostro studio suggerisce che $ML \sim 0.1$ è la magnitudo minima rilevabile per i terremoti localizzati con precisione (cioè determinati da almeno quattro stazioni e con $SNR = 3$) che si verificano sul 100% dell'area del bacino e sul 90% del dominio interno (ID) (Fig. 4.5);

- sulla base degli stessi criteri, i valori minimi stimati per la magnitudo rilevabile nel Dominio Esteso (DE) sono compresi tra $ML \sim 0.6 - 1.2$.
- La rete è in grado di rilevare eventi con $ML \sim 0.1$ quasi per l'intera area di allerta (compreso il dominio esteso (DE) intorno al deposito), con un numero di stazioni attivate pari al 33% (Fig. 4.6).

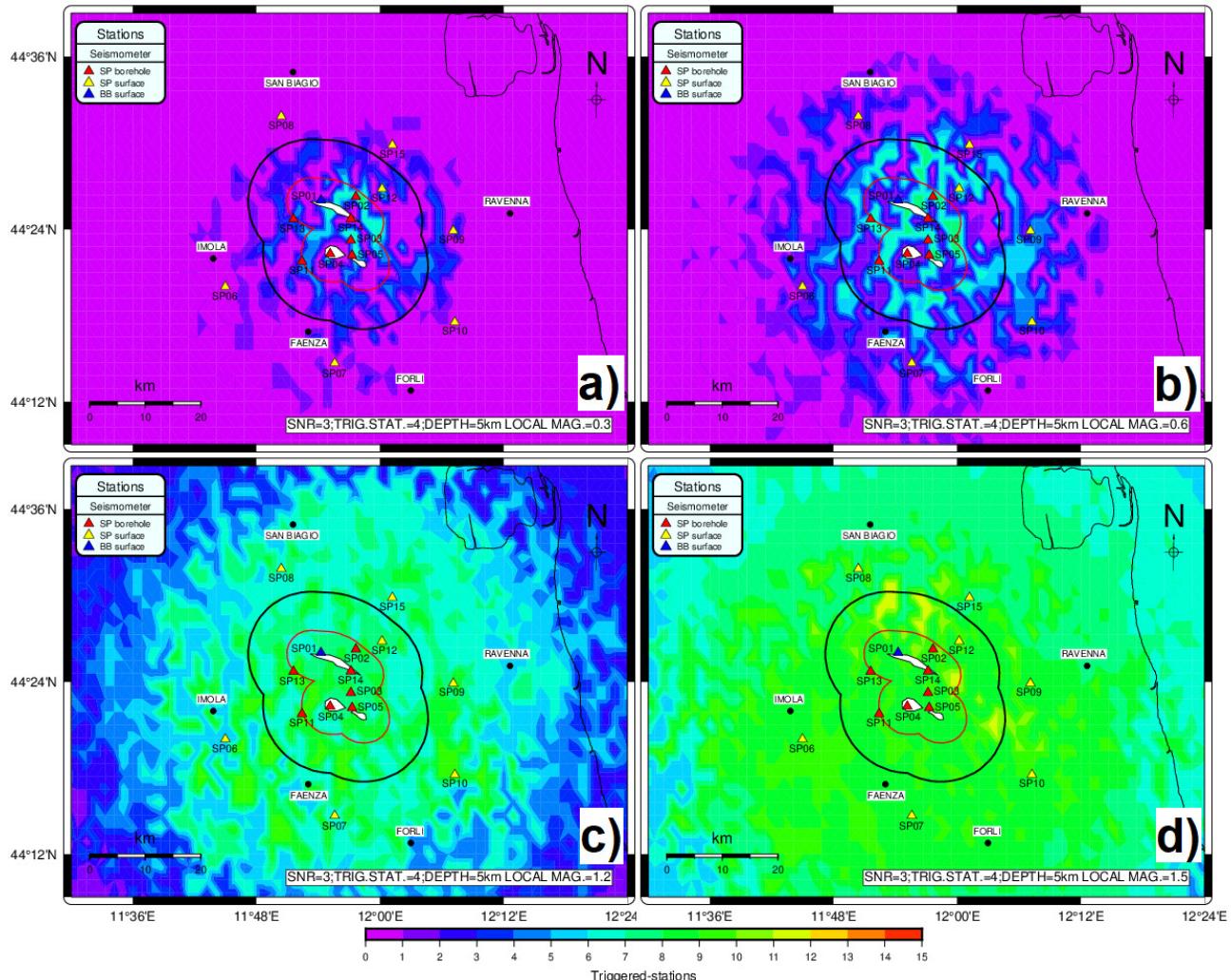


Fig. 4.6 – La mappa di rilevamento delle stazioni per la rete RMSP con: il SNR=3 (rapporto segnale/rumore) e thrsDet=4 (numero di stazioni per dichiarare il terremoto). La curva di livello è definita su una griglia con un passo di $0,02^\circ$ e la profondità è fissata a 5 km.

5 PROCESSAMENTO DATI

Il sistema di acquisizione ed analisi dati in tempo si basa su SeisComP (<https://www.seiscomp.de>; Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences and gempa GmbH, 2008), un pacchetto software utilizzato in tutto il mondo e ritenuto oramai uno standard globale.

È un software composto da moduli automatici e interattivi. Ogni modulo svolge un compito specifico: i) l'acquisizione dei dati (forme d'onda); ii) l'elaborazione delle forme d'onda per identificare gli arrivi di fase; iii) l'elaborazione dei picking di fase per individuare gli eventi e localizzarli; iv) la fornitura di un'interfaccia utente grafica per la revisione manuale degli eventi e v) l'archiviazione dei dati.

5.1 SeisComP

scrttv (real-time trace view) visualizza i dati delle forme d'onda in formato miniSEED (Fig. 5.1) in tempo reale dalle stazioni. Inoltre, vengono visualizzati i “picks” automatici di fase sottoforma di linee rosse verticali.

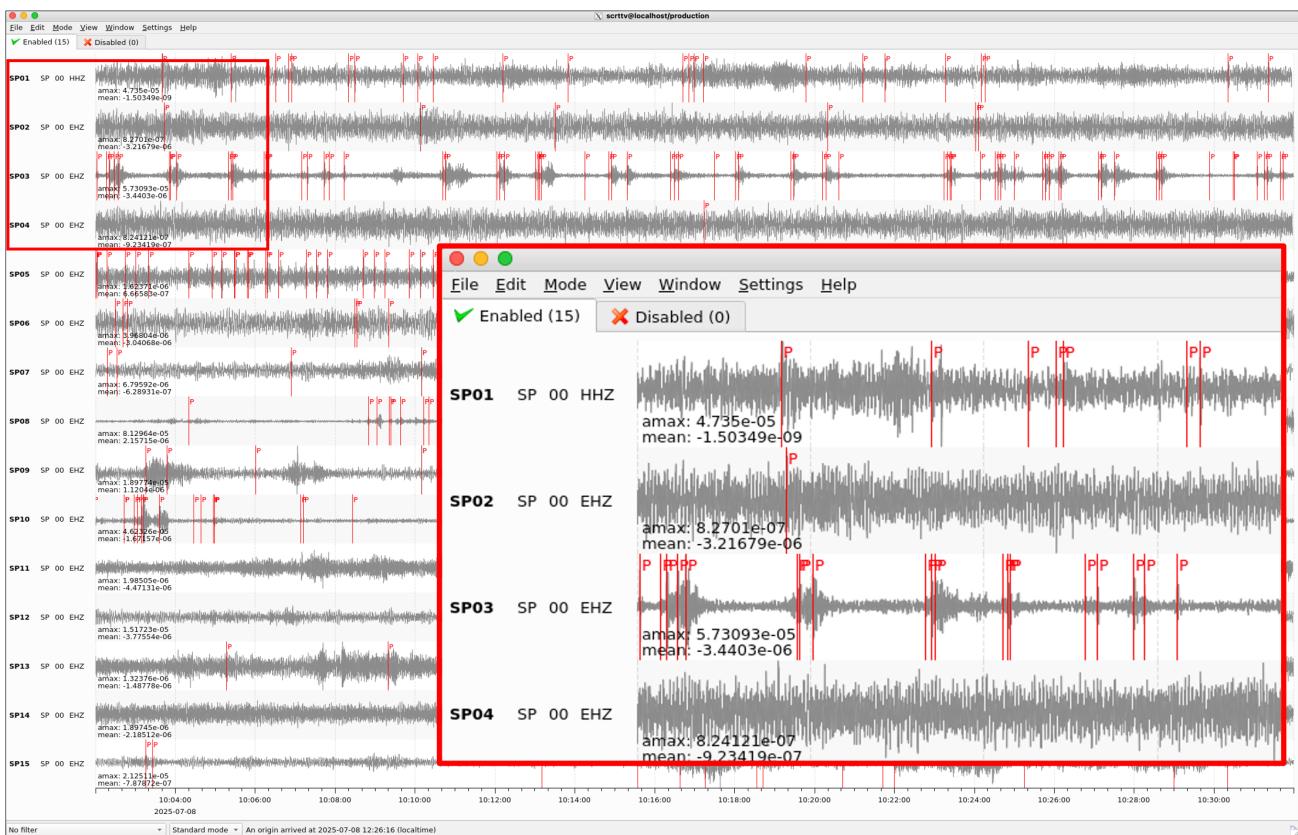


Fig. 5.1 – scrttv. Tracce in continuo dalle stazioni della rete di San Potito.

scmv (map view) visualizza gli epicentri (automatici) dei terremoti (pallini rossi), lo stato di attivazione delle stazioni (stazioni in nero non sono attive), il livello del moto del suolo (velocità in nm/s) oppure un indice di qualità delle stazioni.

Stazioni lampeggianti in rosso indicano la ricezione di nuovi picks e se un nuovo pick è associato a un evento, il colore lampeggiante passa da rosso a verde.

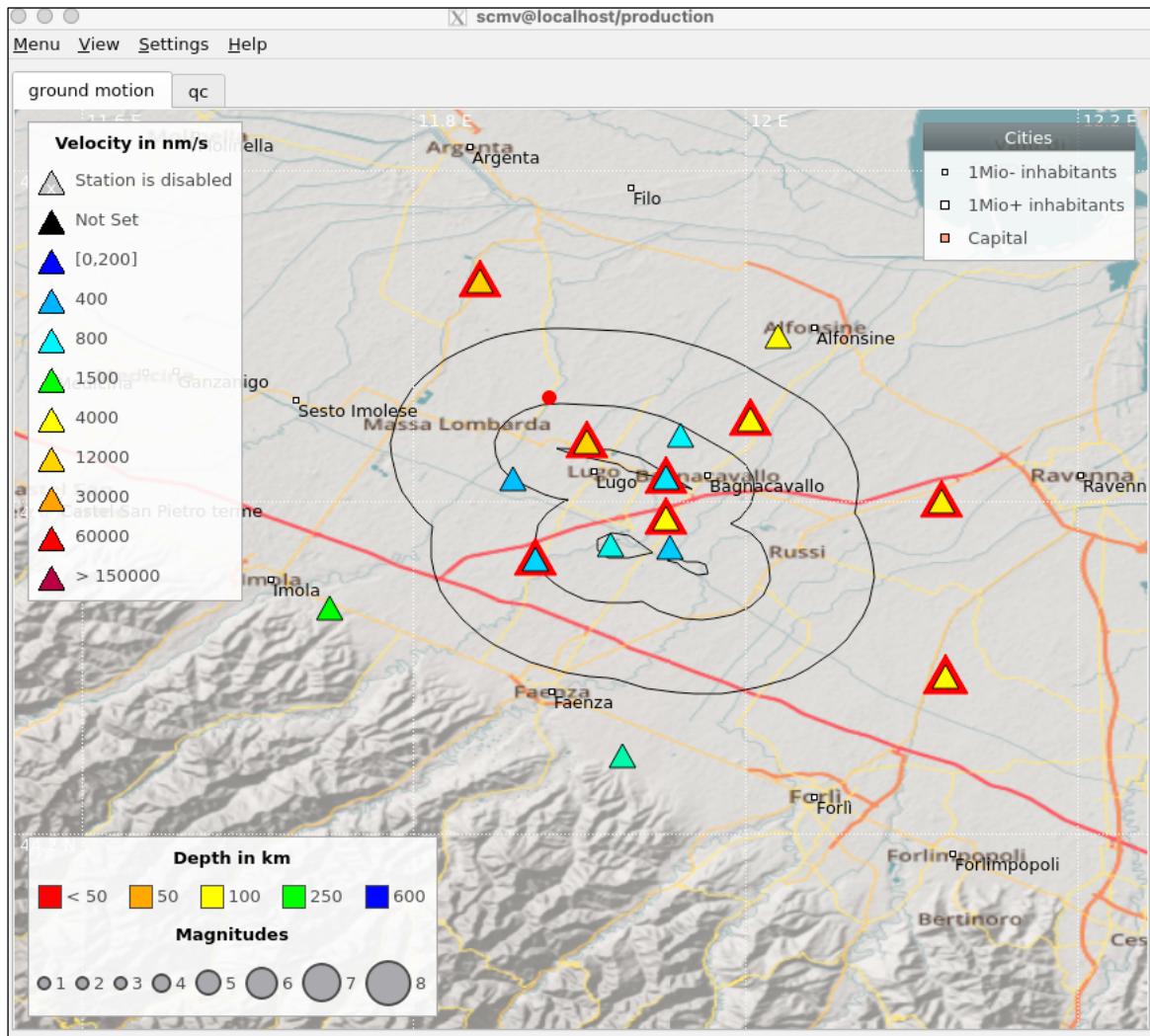


Fig. 5.2 – scmv. I colori delle stazioni sono in funzione del moto del suolo (nm/s, legenda). Stazioni contornate di rosso indicano l'arrivo di pick (sono in fase di trigger). Il pallino rosso indica un evento localizzato.

scolv (origin locator view) è il principale strumento interattivo per rivedere o revisionare le informazioni sull'origine e sull'evento. Fornisce quindi l'intera funzionalità per analizzare i parametri dei terremoti: i) picking di fase e arrivi; ii) posizione dell'ipocentro e tempo origine con l'incertezza; iii) meccanismo focale dalle polarità del primo arrivo; iv) magnitudo.

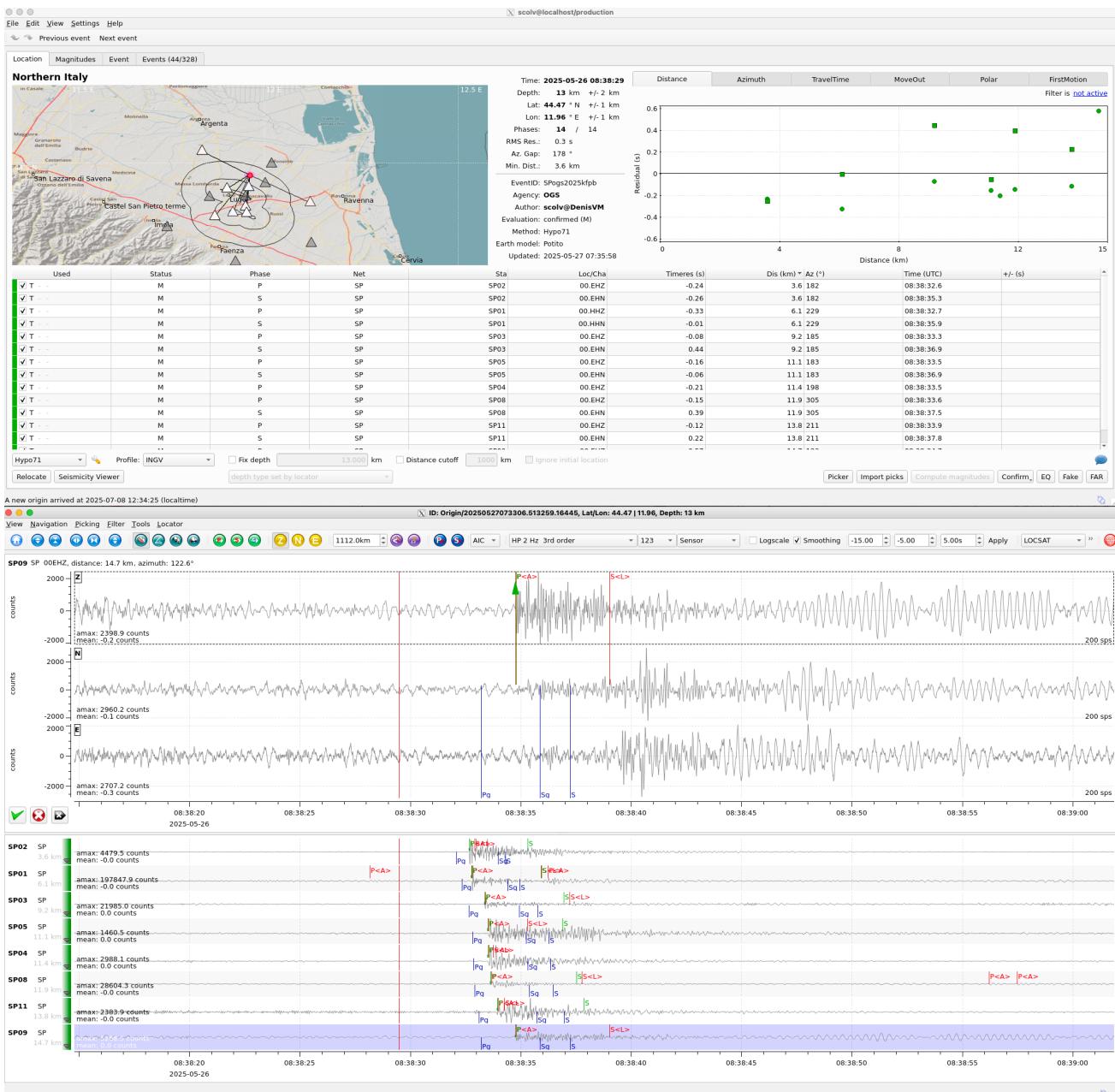


Fig. 5.3 – SeisComP scolv panel.

5.2 Metodo di localizzazione

La fase di “detection” avviene con il modulo `scautopick` che filtra il segnale registrato e implementa l'algoritmo STA/LTA (Short Term Average/Long Term Average) (Trnkoczy, 1999; 2002). Vengono così individuati dei tempi (trigger) in corrispondenza delle anomalie della forma d'onda, sotto forma di variazioni di ampiezza, candidati a essere interpretati come tempi di arrivo della fase P. L'algoritmo STA/LTA è uno dei più utilizzati: calcola i valori medi dell'ampiezza assoluta di un segnale sismico in due finestre temporali che si spostano continuamente; la finestra di breve durata (STA) è sensibile agli eventi sismici, quella di lunga durata (LTA) fornisce informazioni sull'ampiezza del rumore sismico. Il trigger è attivo nel momento in cui viene superata la soglia di trigger, e fino a quando non viene raggiunta la soglia di de-trigger.

I picks, le ampiezze e le caratteristiche associate vengono forniti a moduli per la localizzazione della sorgente, come `scautoloc`.

Le localizzazioni automatiche vengono eseguite con il plugin LOCSAT di SeisComP che è un localizzatore basato sul tempo di percorrenza per calcolare il tempo origine e le coordinate dell'ipocentro dai picks di fase. SeisComP viene fornito con due serie di tabelle dei tempi di percorrenza predefinite (`tab`, `iasp91`). La localizzazione automatica è effettuata in tempo reale e si aggiorna mentre vengono identificati nuovi pick sulle tracce in arrivo sullo streaming in real-time: si creano quindi, per ogni evento, diverse origini, e lo stesso software propone quella che ritiene la migliore in base a diversi parametri.

L'operatore interviene successivamente e ha la possibilità di rilocare l'evento modificando o facendo nuovamente manualmente i pick e assegnandone le incertezze, cambiando il localizzatore e il modello di velocità, escludendo alcune stazioni oppure aggiungendo quelle che non sono state utilizzate nella prima fase perché non avevano pick automatici.

Dopo la rivisitazione dei picking automatici e la loro eventuale modifica, i localizzatori disponibili sono: i) NonLinLoc (Lomax et al., 2000; <http://alomax.free.fr/nlloc>), ii) FixedHypocenter (localizzatore per il ri-calcolo del tempo sorgente con ipocentro fisso) e iii) con il tradizionale Hypo71PC (Lee & Lahr, 1975).

Per quest'ultimo sono disponibili diversi modelli crostali tra cui il modello crostale “dedicato” per la RMSP che è schematizzato in Tab. 5.1. Per i dettagli sul modo in cui è stato ricavato si rimanda al documento sulla progettazione della rete (Solgeo, Progettazione di una rete di monitoraggio microsismico provvisoria presso l'impianto di stoccaggio gas denominato “San Potito e Cotignola Stoccaggio (Ra)”, 2017).

Tab. 5.1 Modello crostale “dedicato” per la RMSP (da Solgeo, Progettazione di una rete di monitoraggio microsismico provvisoria presso l’impianto di stoccaggio gas denominato “San Potito e Cotignola Stoccaggio (Ra)”, 2017)

Prof. (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)
0-0.5	2.015	0.877
0.5-1.25	2.014	0.927
1.25-1.5	2.411	1.295
1.5-2	2.607	1.370
2-3	2.928	1.541
3-4	3.322	1.845
4-6	4.080	2.686
6-8	5.030	2.687
8-12	5.713	2.753
12-	6.301	3.107

Per la localizzazione automatica degli eventi, sono utilizzati due ulteriori moduli: scanloc e sceval.

scanloc (<https://www.gempa.de/products/scanloc/>) potenzia il monitoraggio della sismicità naturale e indotta a distanze epicentrali locali e all'interno di reti sismiche di piccole dimensioni. scanloc utilizza un algoritmo di ricerca a cluster per associare i picks a una o più potenziali sorgenti sismiche. Mentre la ricerca dei cluster si basa solo sulle fasi P, in un secondo step vengono associate anche le fasi S. Per fornire una selezione di alta qualità delle fasi S, insieme a scanloc è impiegato un nuovo “picker” S. Il picker S permette di identificare le fasi S sulle componenti orizzontali o sulle componenti verticali se le orizzontali non sono disponibili.

sceval (<https://www.gempa.de/products/sceval/>) discrimina automaticamente i terremoti reali dalle soluzioni false. Il monitoraggio automatico affidabile dei terremoti di bassa magnitudo è una sfida a causa del basso numero e della possibile bassa qualità dei rilevamenti di fase disponibili. sceval valuta le soluzioni e trova i falsi o li contrassegna come reali se la soluzione rappresenta probabilmente un evento reale. In questo modo i cataloghi di terremoti possono raggiungere un'elevata completezza, pur essendo puliti dai falsi, e gli operatori possono concentrarsi sull'analisi degli eventi più rilevanti

6 ATTIVITÀ SISMICA RILEVATA

La data ufficiale di inizio della sperimentazione è il 28 aprile 2025 come da comunicazione via pec della società Stogit Adriatica.

Tuttavia, sono riportati qui di seguito in mappa (Fig. 6.1) e in tabella (tab. 6.1) tutti i terremoti registrati dalla rete RMSP che ricadono nell'area di “San Potito e Cotignola Stoccaggio” e in un buffer esterno al Dominio Esteso, dal 31 marzo 2025 al 31 luglio 2025.

6.1 Eventi sismici localizzati

Gli eventi sismici localizzati e rivisti da un sismologo sono complessivamente 26 in un range di magnitudo compresa tra -0.1 e 1.7 la cui distribuzione è rappresentata in Fig. 6.2. Pur essendo un catalogo molto ridotto, Fig. 6.3 mostra la legge di Gutenberg–Richter, che esprime la relazione fra la magnitudo e il numero totale di terremoti almeno di quella magnitudo in una data regione e periodo di tempo.

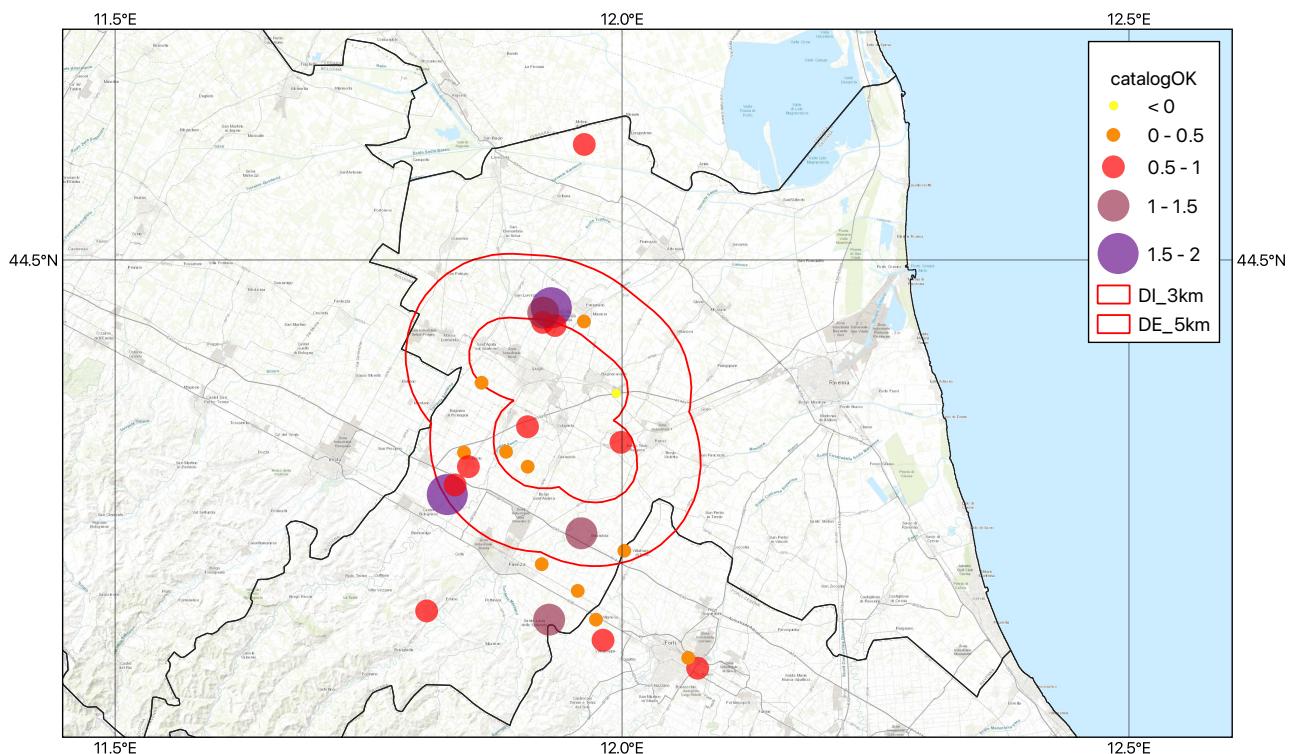


Fig. 6.1 - Eventi sismici registrati dalla rete RMSP che ricadono nell'area di “San Potito e Cotignola Stoccaggio”, rivisti da un sismologo.

Il valore della costante b (coefficiente angolare della retta, 0.92 in Fig. 6.3) è tipicamente molto prossimo a 1,0 nelle regioni sismicamente attive. Il valore di b può variare tra 0,5 e 2 in funzione della localizzazione della sorgente. Una considerevole eccezione si verifica durante gli sciami sismici quando il valore di b può arrivare fino a 2,5, il che indica una proporzione molto alta di piccole scosse rispetto alle grandi scosse. Un valore b significativamente differente da 1,0 può

indicare un problema con un insieme di dati; per esempio, è incompleto o contiene errori nel calcolo della magnitudo.

Il valore a (1.72 in Fig. 6.3) è di minore interesse scientifico e indica semplicemente il tasso di sismicità totale della regione.

Tab. 6.1 Eventi sismici localizzati e rivisti da un sismologo. Depth: profondità ipocentrale, MAG: magnitudo locale Richter, EpiDist.SP01: distanza epicentrale dalla stazione SP01, HypoDist.SP01: distanza hypocentrale dalla stazione SP01.

Date	Time	LAT	LON	Depth (km)	MAG	EpiDist. SP01 (km)	HypoDist. SP01 (km)
2025-03-31	10:20:45	44.414	11.861	9.00	0.5	3.57	9.68
2025-04-01	01:30:57	44.372	11.999	12.37	0.7	10.17	16.01
2025-04-24	17:20:07	44.364	11.844	23.00	0.4	8.58	24.55
2025-04-27	06:57:05	44.267	11.956	25.72	0.3	18.66	31.78
2025-05-13	22:54:40	44.335	11.828	1.16	1.8	12.01	12.07
2025-05-16	06:49:53	44.307	11.960	5.00	1.1	14.48	15.32
2025-05-17	19:18:24	44.383	11.907	16.37	1.0	5.26	17.19
2025-05-21	10:15:09	44.365	11.886	16.00	0.3	7.31	17.59
2025-05-23	00:16:09	44.354	11.907	7.00	0.4	8.47	10.99
2025-05-24	23:38:49	44.342	11.835	5.00	0.8	11.06	12.14
2025-05-26	08:38:30	44.466	11.930	12.39	1.7	4.66	13.24
2025-05-26	10:43:18	44.454	11.934	14.17	0.7	3.80	14.67
2025-05-26	10:59:12	44.456	11.922	12.18	0.6	3.38	12.64
2025-05-26	13:33:58	44.463	11.922	14.34	1.1	4.06	14.90
2025-05-26	20:18:12	44.457	11.962	13.00	0.3	5.77	14.22
2025-06-02	01:43:44	44.406	11.994	29.14	-0.1	7.93	30.20
2025-06-07	11:04:36	44.354	11.848	22.00	0.8	9.41	23.93
2025-06-20	23:40:17	44.253	11.807	2.60	0.7	21.03	21.19
2025-06-21	03:16:42	44.232	11.981	10.00	1.0	22.94	25.02
2025-06-22	03:32:54	44.286	11.921	10.00	0.1	16.10	18.95
2025-06-24	14:40:22	44.212	12.075	9.83	0.8	27.95	29.63
2025-06-25	10:15:33	44.295	12.002	10.00	0.1	17.06	19.78
2025-06-28	23:18:35	44.246	11.974	19.00	0.4	21.29	28.53
2025-06-29	10:56:45	44.219	12.065	20.55	0.2	26.88	33.84
2025-07-09	08:30:17	44.246	11.928	5.00	1.3	20.58	21.18
2025-07-10	10:33:20	44.581	11.963	18.18	0.9	17.52	25.25

Fig. 6.4 mostra la distribuzione nello spazio dei terremoti del catalogo mentre in Fig. 6.5 è plottata la distribuzione degli eventi suddivisi per classi di profondità ipocentrale. Si nota come in alcuni casi (5, 10 km) la profondità è fissata ad un intero mentre il valore medio è pari a 13.2 km. Sono valori che collocano la sismicità al di sotto del reservoir.

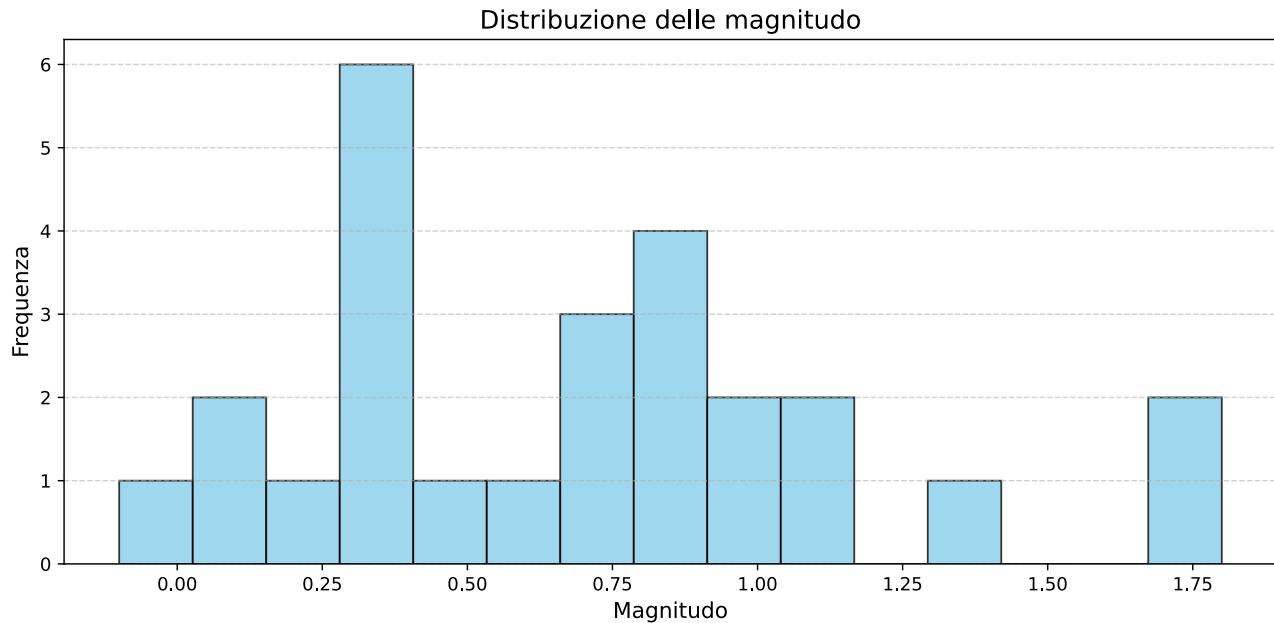


Fig. 6.2 – Distribuzione dei valori della magnitudo.

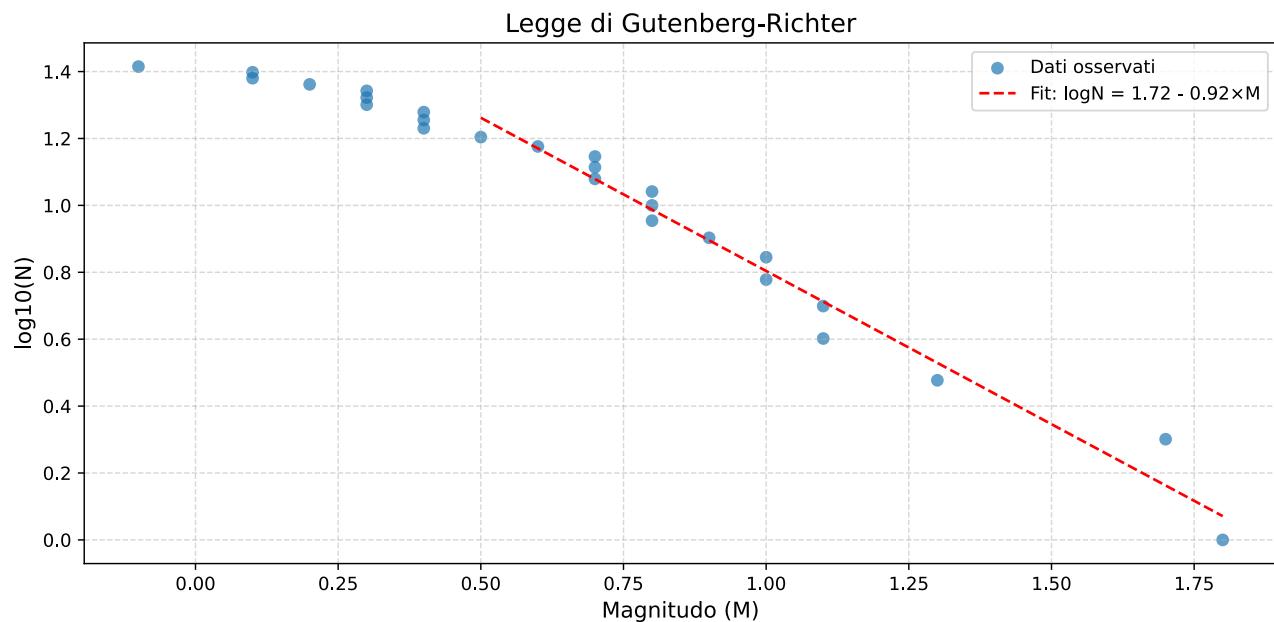


Fig. 6.3 – Gutenberg-Richter.

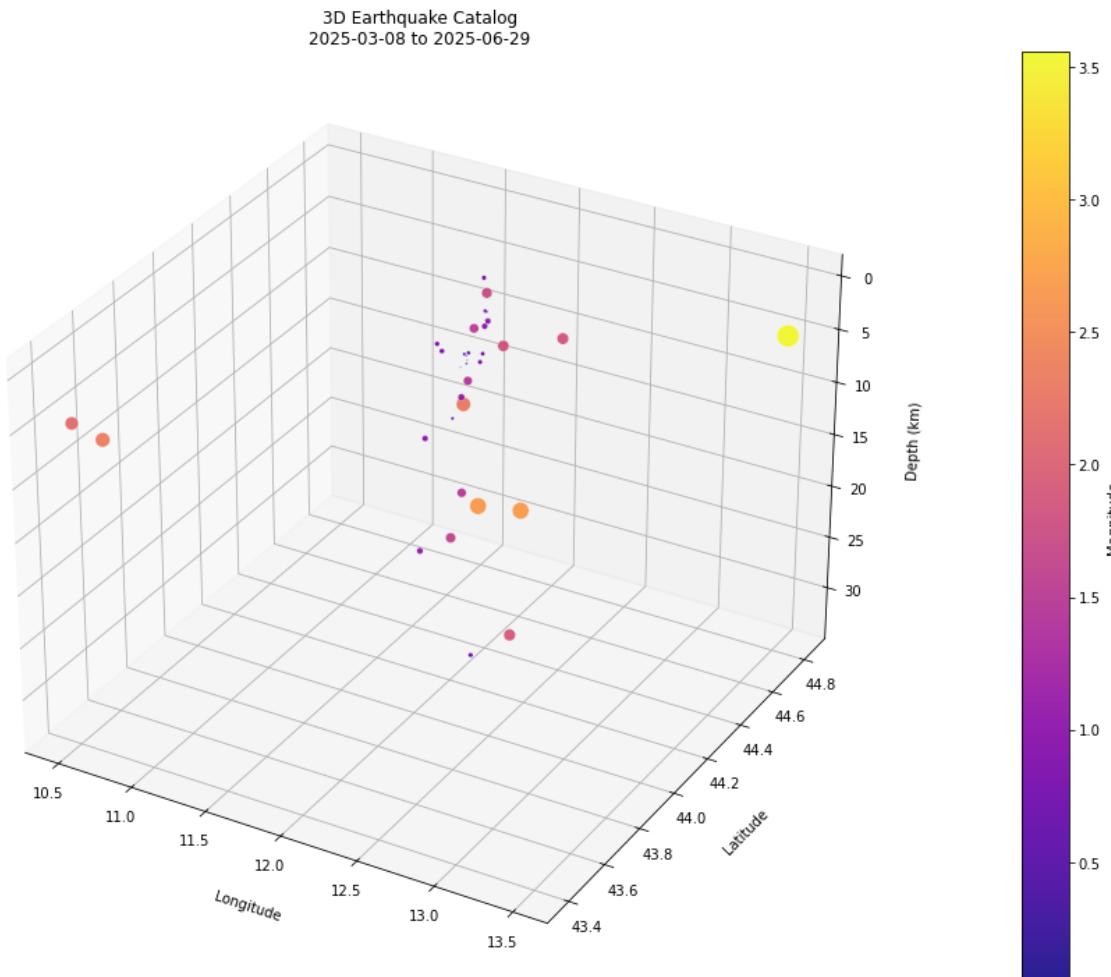


Fig. 6.4 – Mappa 3D degli eventi presenti nel catalogo.

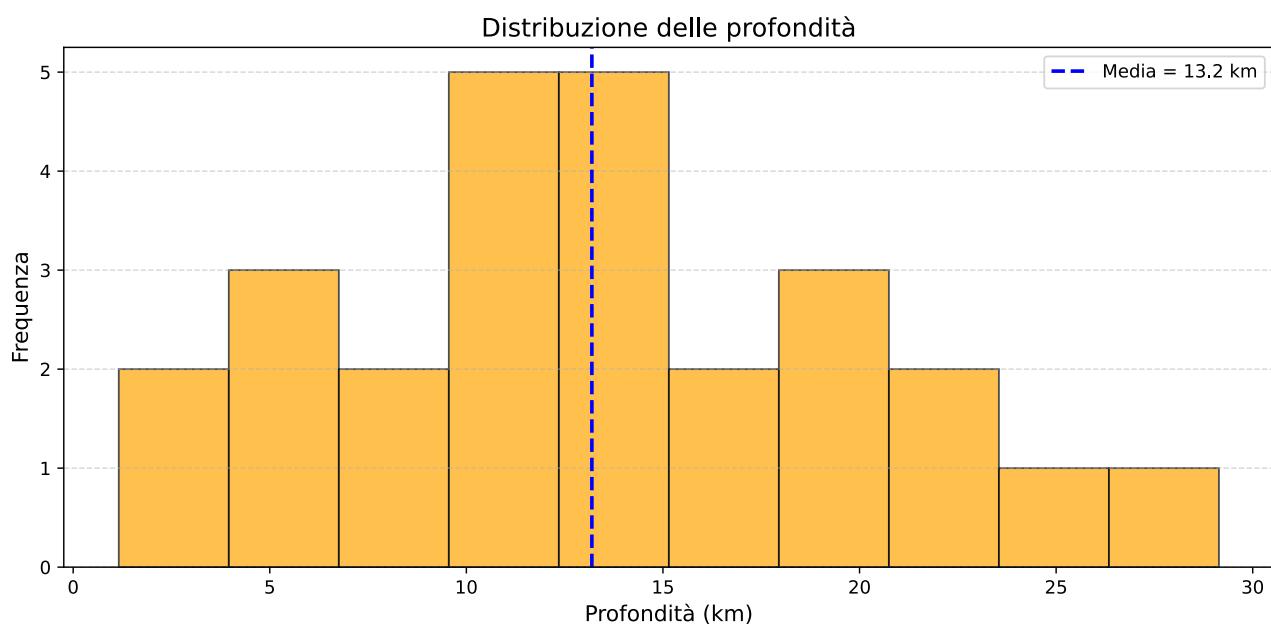


Fig. 6.5 – Distribuzione dei valori della profondità.

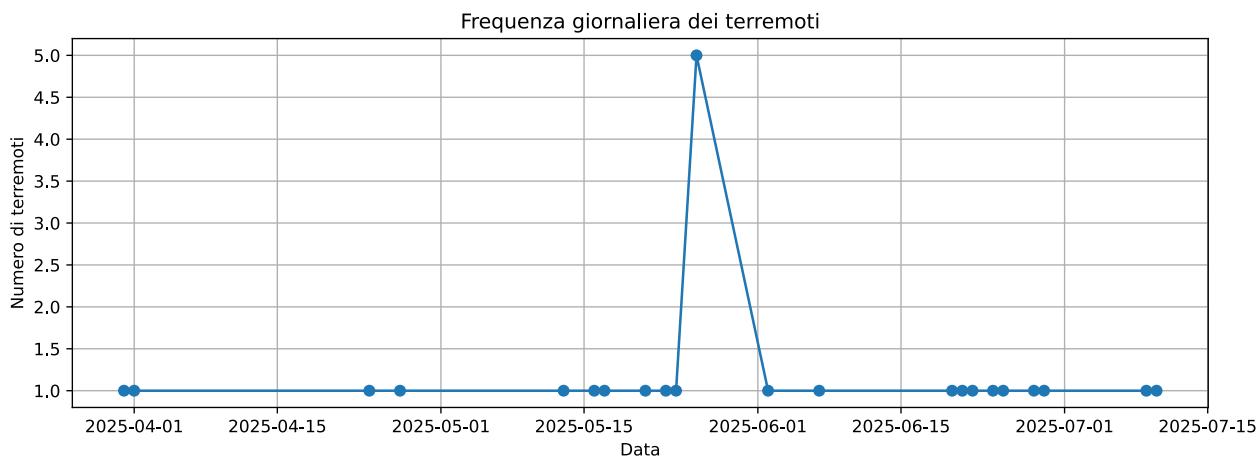


Fig. 6.6 – Frequenza giornaliera dei terremoti.

È stato applicato DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), un metodo di clustering (Ester et al., 1996) basato sulla nozione di densità, per individuare cluster spaziali di terremoti e per identificare sciami sismici o zone attive.

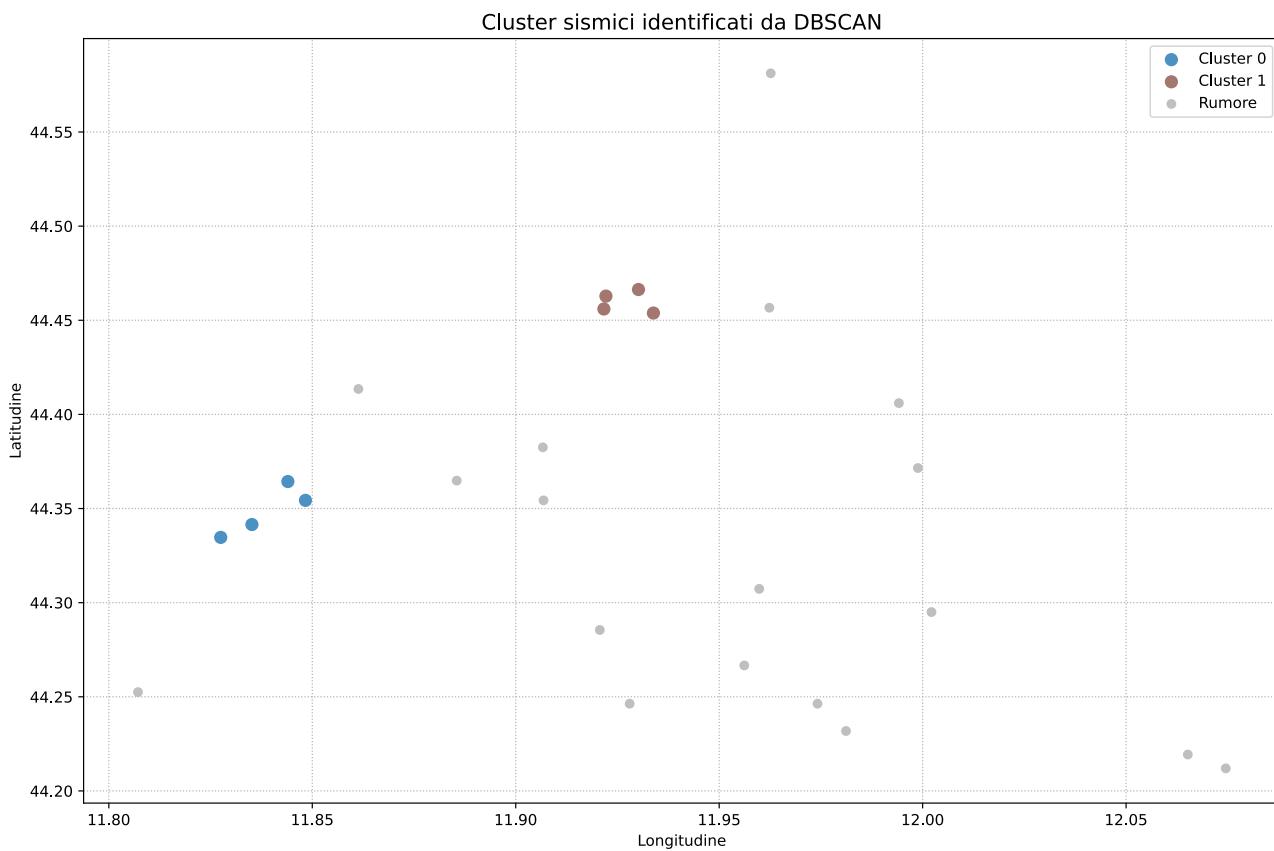


Fig. 6.7 – Cluster sismici identificati da DBSCAN.

Sono stati individuati due cluster:

cluster	n	M (media)	M (max)	Prof. (media)
0	4	0.95	1.8	12.79
1	4	1.025	1.7	13.27

Il primo riguarda una “micro” sequenza del 26 maggio con 4 eventi di cui il più energetico di M1.7 localizzati nei pressi della frazione Bizzuno del comune di Lugo.

2025-05-26	08:38:30	44.466	11.930	12.39	1.7	4.66	13.24
2025-05-26	10:43:18	44.454	11.934	14.17	0.7	3.80	14.67
2025-05-26	10:59:12	44.456	11.922	12.18	0.6	3.38	12.64
2025-05-26	13:33:58	44.463	11.922	14.34	1.1	4.06	14.90

Il secondo, meno circoscritto nel tempo, riguarda la zona compresa tra Castel Bolognese (M1.8 del 13 maggio e M0.8 del 24 maggio) e Solarolo (M0.4 del 24 aprile e M0.8 del 7 giugno).

7 SERVIZI WEB

7.1 Sito WEB

È stato creato un sito web dedicato alla rete di monitoraggio di "SAN POTITO E COTIGNOLA STOCCAGGIO" e raggiungibile all'indirizzo:

<https://rete-sanpotito.ogs.it/>



Monitoraggio di "SAN POTITO E COTIGNOLA STOCCAGGIO"

Struttura Preposta al Monitoraggio

"Esecuzione di prove di iniezione nel giacimento BB1 di San Potito finalizzate all'ampliamento della capacità di stoccaggio mediante superamento della originaria pressione statica di fondo"

Nella seduta della CIRM del 13 marzo 2024 è stato discusso anche l'argomento dell'"Approvazione dell'Ente Terzo che svolgerà le funzioni di Struttura Preposta al Monitoraggio (SPM), in ottemperanza alle prescrizioni dell'Autorizzazione 27.07.2023 per la realizzazione del Progetto "Esecuzione di prove di iniezione nel giacimento BB1 di San

Fig. 7.1 – Home page del sito web dedicato alla rete di monitoraggio di "SAN POTITO E COTIGNOLA STOCCAGGIO" (<https://rete-sanpotito.ogs.it/>)

7.1 WEB Service

OGS fornisce i suoi dati tramite un Web Services basato sulle specifiche FDSN (<https://www.fdsn.org/webservices/>).

Al momento vengono distribuite le informazioni relative ai segnali sismici tramite un servizio web basato sul DataSelect (<https://www.fdsn.org/webservices/fdsnws-event-1.2.pdf>) come mostrato in Fig. 7.2. Si possono quindi scaricare i dati della forma d'onda, per i canali e le finestre temporali richiesti, in formato MSEED (<http://scp-srv.core03.ogs.it:8080/fdsnws/datasel ect/1/builder>).

SeisComP FDSNWS DataSelect - URL Builder

Time constraints

Start Time

End Time

Channel constraints

Network AB,C?

Station ABC,D*

Location 00

Channel BH?

Service specific constraints

Quality B C

Minimum Length (s) 0.0

Longest Only

Authentication

Output control

Format

No Data 404

URL

<http://scp-srv.core03.ogs.it:8080/fdsnws/dataselct/1/query?nodata=404>

Fig. 7.2 - WebService interface (<http://scp-srv.core03.ogs.it:8080/fdsnws/dataselct/1/builder>).

8 CONCLUSIONI

La presente relazione rendiconta l'attività di monitoraggio sismico che l'OGS svolge presso la concessione di stoccaggio di gas metano denominata "SAN POTITO & COTIGNOLA STOCCAGGIO", per conto di Stogit Adriatica S.p.A (società del Gruppo Snam, <https://www.stogitadriatica.it/>), per il periodo compreso tra maggio e luglio 2025.

Gli eventi sismici localizzati e rivisti da un sismologo sono complessivamente 26 in un range di magnitudo compresa tra -0.1 e 1.7.

Il valore medio della profondità è pari a 13.2 km (in alcuni casi la profondità è stata fissata ad un intero dall'operatore).

9 RIFERIMENTI

- Brune J., 1970: Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes – Journal of Geophysical Research, 75, 4997-5009
- Cocorullo C & Russo L, 2018: Progettazione della rete di monitoraggio microsismico e della rete geodetica di raffittimento presso l'impianto di stoccaggio gas denominato “San Potito e Cotignola Stoccaggio” (Ra). Cod S17MN03, Version Rev. 3.1 - 24 May 2018.
- Diez Eduardo; Denis Sandron; Adelaide Romano; Mariangela Guidarelli; Marco Romanelli; Fabio Franceschinel; 2024: Some considerations on background noise and detection capability of the “San Potito-Cotignola seismic monitoring network”. <https://hdl.handle.net/20.500.14083/29643>
- Di Fronzo F, 2018: Manuale HW rete di monitoraggio microsismico e geodetico di San Potito e Cotignola (RA). Cod S18MN07, Version Rev. 0 - 19 dicembre 2018.
- 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). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.1>
- Ester, Martin; Kriegel, Hans-Peter; Sander, Jörg; Xu, Xiaowei, 1996. Simoudis, Evangelos; Han, Jiawei; Fayyad, Usama M. (eds.). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96). AAAI Press pp. 226–231.
- Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences and gempa GmbH (2008). The SeisComP seismological software package. doi:10.5880/GFZ.2.4.2020.003
- ISIDe Working Group, 2007: Italian Seismological Instrumental and Parametric Database (ISIDe). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/ISIDE>
- Lee W & Lahr J (1975). Hypo71 (Revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes (Vol. Open File Report 75-311). United States Geological Survey.
- Lomax A, Virieux J, Volant P, Berge-Thierry C (2000). Probabilistic Earthquake Location in 3D and Layered Models. In: Thurber, C.H., Rabinowitz, N. (eds) Advances in Seismic Event Location. Modern Approaches in Geophysics, vol 18. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9536-0_5
- Mancini P, Gandolfi S, Gasperini P, 2018: Elaborazione di pareri sulla progettazione di una rete microsismica e geodetica presso il cmapo di stoccaggio gas naturale di San Potito-Cotignola, in concessione a Edison Stoccaggio Spa – Parere finale. Bologna, 30 maggio 2018.
- Martelli L, M. Santulin, F. Sani, A. Tamaro, M. Bonini, A. Rebez, G. Corti, D. Slepko, 2017: Seismic hazard of the Northern Apennines based on 3D seismic sources. J Seismol DOI 10.1007/s10950-017-9665-1
- Meletti Carlo, Warner Marzocchi, Vera D'Amico, Giovanni Lanzano, Lucia Luzi, Francesco Martinelli, Bruno Pace, Andrea Rovida, Matteo Taroni, Francesco Visini & the MPS19 Working Group, 2021: The new Italian Seismic Hazard Model (MPS19) ANNALS OF GEOPHYSICS, 64, 1, SE112, 2021, doi:10.4401/ag-8579
- MiSE, 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.mase.gov.it/wp-content/uploads/2018/07/85_238.pdf
- Peterson J., 1993: Observations and modeling of seismic background noise - U.S. Geol. Surv. Open File Rep., 93-322.
- Romano M. Adelaide, Mariangela Guidarelli, Denis Sandron, Eduardo Diez, Marco Romanelli, Paolo Bernardi, Fabio Franceschinel, 2024: Alcune considerazioni sul monitoraggio microsismico operato da Solgeo Srl per conto di Edison Stoccaggio Spa presso la concessione di stoccaggio di gas metano denominato San Potito e Cotignola (Bagnacavallo, RA)

<https://hdl.handle.net/20.500.14083/30923>

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2022). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4>

Servizio Geologico d'Italia – Progetto CARG, 2009. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, foglio 222 Lugo

Servizio Geologico d'Italia – Progetto CARG, 2007. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, foglio 239 Faenza

Solgeo (2017). Progettazione di una rete di monitoraggio microsismico provvisoria presso l'impianto di stoccaggio gas denominato “San Potito e Cotignola Stoccaggio (Ra)”.

Trnkoczy, A. (1999; 2002). Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm. In P. Bormann, New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2) (p. 20). Potsdam: IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences. doi:10.2312/GFZ.NMSOP-2_IS8.1

Wells D. L. and Coppersmith K. J., 1994: New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4, pp. 974-1002

10 LISTA DELLE FIGURE

Fig. 2.1 – Posizione dei pozzi al tetto del giacimento BB1 di stoccaggio (per concessione di Edison Stoccaggio, oggi Stogit Adriatica S.p.A.).....	6
Fig. 2.2 – Posizione dei punti di misura delle pressioni statiche di giacimento (per concessione di Edison Stoccaggio, oggi Stogit Adriatica S.p.A.).....	6
Fig. 3.1– (da Cocorullo & Russo, 2018) “dettaglio dell'inquadramento geologico-strutturale: Foglio 222 Lugo. Sono riportate le tracce dei principali sovrascorimenti sepolti; i depositi affioranti del margine appenninico e della pianura padana sono distinti sulla base dei principali domini deposizionali (modificato da REGIONE EMILIA-ROMAGNA,1999 e REGIONE EMILIA-ROMAGNA & CNR, 2002)”.	11
Fig. 3.2– (da Cocorullo & Russo, 2018) " sezione sismica regionale (SW-NE) attraverso l'alto di Cotignola (fonte ENI)"	12
Fig. 3.3 – (da Cocorullo & Russo, 2018) “linea sismica interpretata che mostra le principali caratteristiche del sottosuolo del foglio 222 e delle aree limitrofe. La superficie di onlap regionale della base del Pliocene medio (linea verde) evidenzia la geometria dei bacini sedimentari plio-pleistocenici. Dati autorizzati per la divulgazione ENI-AGIP”.	13
Fig. 3.4 – Eventi estratti dal catalogo CPTI15 con ricerca circolare incentrata su Cotignola e con raggio 75 km.	14
Fig. 3.5 – Eventi estratti da ISIDe (ISIDe Working Group, 2007) con ricerca circolare incentrata su Cotignola e con raggio 75 km.	15
Fig. 3.6 – Mappa delle sorgenti sismogenetiche (DISS). All'interno del DI la sorgente di Bagnocavallo.	16
Fig. 3.7– Valori di PGA (%g) estratti dalla mappa MPS04 (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni). Da http://esse1.mi.ingv.it/	17
Fig. 3.8 – a) confronto tra le nuove stime di pericolosità e quelle di MPS04 (da Martelli et al., 2017), b) valori di PGA (%g) della mappa MPS19 (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni). Da Meletti et al., 2021.	18
Fig. 4.1– Rete di San Potito (pentagoni blu). In marrone le stazioni della rete accelerometrica nazionale (RAN), in verde quelli della rete INGV (IV).	19
Fig. 4.2– Foto degli strumenti installati nella rete SP: a) sismometro a banda larga SARA SS08; b) sismometro da foro a breve periodo SARA SS10BH; c) sismometro di superficie a breve periodo SARA SS02; d) accelerometro a bilanciamento di forza SARA SA10; e) digitalizzatore SARA SL06; f) digitalizzatore SOLGEO DYMAS24.....	21
Fig. 4.3 – Mappa della Rete Sismica di San Potito e Cotignola e dei domini di rilevazione della microsismicità (da Romano et al., 2024; rapporto interno OGS).	22
Fig. 4.4 – I livelli di rumore "medi" delle stazioni della rete SP (linee blu) su un canale a banda larga a componente verticale (HZ) dopo un mese di registrazione continua (luglio 2022). Le curve di riferimento standard "New High Noise Model" (NHNM) e "New Low Noise Model" (NLNM) sono indicate in grigio scuro (Peterson, 1993). Le linee rosse mostrano le frequenze angolari e le ampiezze delle onde P (Brune, 1970) per terremoti di magnitudo [M1-M3] e distanze [1, 10, 100 km] (da Diez et al., 2024; rapporto interno OGS).	24
Fig. 4.5 – Mappa di rilevamento per la rete RMSP in base alla profondità e per gli stessi set di parametri SNR (rapporto segnale/rumore, pari a 3) e thrsDet (numero di stazioni per dichiarare il rilevamento, pari a 4). La linea di contorno della magnitudo è definita su una griglia con un passo di 0,0015° (da Diez et al., 2024; rapporto interno OGS).	25
Fig. 4.6 – La mappa di rilevamento delle stazioni per la rete RMSP con: il SNR=3 (rapporto segnale/rumore) e thrsDet=4 (numero di stazioni per dichiarare il terremoto). La curva di livello è definita su una griglia con un passo di 0,02° e la profondità è fissata a 5 km.	26

Fig. 5.1 – scrttv. Tracce in continuo dalle stazioni della rete di San Potito.	27
Fig. 5.2 – scmv. I colori delle stazioni sono in funzione del moto del suolo (nm/s, legenda). Stazioni contornate di rosso indicano l'arrivo di pick (sono in fase di trigger). Il pallino rosso indica un evento localizzato.	28
Fig. 5.3 – SeisComP scolv panel.	29
Fig. 6.1 - Eventi sismici registrati dalla rete RMSP che ricadono nell'area di "San Potito e Cotignola Stoccaggio", rivisti da un sismologo.	32
Fig. 6.2 – Distribuzione dei valori della magnitudo.	34
Fig. 6.3 – Gutenberg–Richter.	34
Fig. 6.4 – Mappa 3D degli eventi presenti nel catalogo.	35
Fig. 6.5 – Distribuzione dei valori della profondità.	35
Fig. 6.6 – Frequenza giornaliera dei terremoti.	36
Fig. 6.7 – Cluster sismici identificati da DBSCAN.	36
Fig. 7.1 – Home page del sito web dedicato alla rete di monitoraggio di "SAN POTITO E COTIGNOLA STOCCAGGIO" (https://rete-sanpotito.ogs.it/)	38
Fig. 7.2 - WebService interface (http://scp-srv.core03.ogs.it:8080/fdsnws/datasel ect/1/builder).	39

11 APPENDICE

Riportiamo qui di seguito la lettura delle fasi per ciascuno dei terremoti del catalogo.

Alert SPogs2025ghkg: determined by 8 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel Potito (with start solution, 8 stations used, weight 8):

Northern Italy MLc=0.9 2025/03/31 10:20:45.1 44.41 N 11.86 E 9 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP13	SP	25/03/31	10:20:47.7	0.0	0.0	-0.1	0.0	216	0.0	0.4	0.0
SP11	SP	25/03/31	10:20:50.0	0.0	0.0	-0.5	0.1	170	0.0	0.0	0.0
SP04	SP	25/03/31	10:20:48.8	0.0	0.0	0.5	0.1	135	0.0	0.6	0.0
SP02	SP	25/03/31	10:20:49.0	0.0	0.0	0.5	0.1	71	0.0	0.5	0.0
SP05	SP	25/03/31	10:20:48.9	0.0	0.0	0.2	0.1	123	0.0	0.4	0.0
SP12	SP	25/03/31	10:20:48.9	0.0	0.0	-0.2	0.1	72	0.0	1.4	0.0
SP15	SP	25/03/31	10:20:49.2	0.0	0.0	-0.5	0.1	53	0.0	1.5	0.0
SP07	SP	25/03/31	10:20:50.6	0.0	0.0	0.1	0.2	165	0.0	1.2	0.0

RMS-ERR: 0.39

Event created: 2025/03/31 10:20:53

This origin created: 2025/04/05 13:44:46

Alert SPogs2025gioh: determined by 12 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel Potito (with start solution, 12 stations used, weight 12):

Northern Italy ML=0.7 2025/04/01 01:30:57.2 44.37 N 12.00 E 12 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP05	SP	25/04/01	01:31:00.4	0.0	0.0	-0.1	0.0	267	0.0	0.6	0.0
SP03	SP	25/04/01	01:31:00.5	0.0	0.0	-0.1	0.0	295	0.0	1.3	0.0
SP04	SP	25/04/01	01:31:00.8	0.0	0.0	-0.0	0.1	270	0.0	0.7	0.0
SP04	SP	25/04/01	01:31:03.5	0.0	0.0	-0.1	0.1	270	0.0	0.7	0.0
SP02	SP	25/04/01	01:31:01.1	0.0	0.0	0.1	0.1	338	0.0	0.7	0.0
SP02	SP	25/04/01	01:31:03.8	0.0	0.0	-0.1	0.1	338	0.0	0.7	0.0
SP12	SP	25/04/01	01:31:01.1	0.0	0.0	0.1	0.1	2	0.0	1.5	0.0
SP12	SP	25/04/01	01:31:04.2	0.0	0.0	0.2	0.1	2	0.0	1.5	0.0
SP11	SP	25/04/01	01:31:01.4	0.0	0.0	0.1	0.1	264	0.0	0.7	0.0
SP13	SP	25/04/01	01:31:01.7	0.0	0.0	0.2	0.1	292	0.0	0.7	0.0
SP15	SP	25/04/01	01:31:01.7	0.0	0.0	-0.1	0.1	7	0.0	1.6	0.0
SP08	SP	25/04/01	01:31:02.9	0.0	0.0	-0.1	0.2	324	0.0	1.6	0.0

RMS-ERR: 0.12

Event created: 2025/04/01 01:31:03
 This origin created: 2025/04/05 13:33:31

Alert SPogs2025hzue: determined by 14 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 14 stations used, weight 14):

Northern Italy ML=0.4 2025/04/24 17:20:06.2 44.33 N 11.86 E 25 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP11	SP	25/04/24	17:20:10.5	0.0	0.0	-0.1	0.0	20	0.0	0.5	0.0
SP11	SP	25/04/24	17:20:13.9	0.0	0.0	0.1	0.0	20	0.0	0.5	0.0
SP04	SP	25/04/24	17:20:10.6	0.0	0.0	-0.1	0.1	49	0.0	0.6	0.0
SP04	SP	25/04/24	17:20:13.7	0.0	0.0	-0.3	0.1	49	0.0	0.6	0.0
SP05	SP	25/04/24	17:20:10.8	0.0	0.0	-0.0	0.1	63	0.0	0.9	0.0
SP05	SP	25/04/24	17:20:14.2	0.0	0.0	-0.0	0.1	63	0.0	0.9	0.0
SP13	SP	25/04/24	17:20:11.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0	0.0	0.3	0.0
SP13	SP	25/04/24	17:20:14.6	0.0	0.0	0.5	0.1	0	0.0	0.3	0.0
SP06	SP	25/04/24	17:20:11.4	0.0	0.0	0.6	0.1	269	0.0	0.8	0.0
SP06	SP	25/04/24	17:20:13.7	0.0	0.0	-0.5	0.1	269	0.0	0.8	0.0
SP07	SP	25/04/24	17:20:09.9	0.0	0.0	-1.0	0.1	152	0.0	0.8	0.0
SP07	SP	25/04/24	17:20:15.2	0.0	0.0	0.8	0.1	152	0.0	0.8	0.0
SP02	SP	25/04/24	17:20:11.5	0.0	0.0	0.4	0.1	35	0.0	0.3	0.0
SP02	SP	25/04/24	17:20:14.5	0.0	0.0	-0.3	0.1	35	0.0	0.3	0.0

RMS-ERR: 0.44

Event created: 2025/04/24 17:20:13
 This origin created: 2025/06/26 08:20:35

Alert SPogs2025iemd: determined by 12 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 12 stations used, weight 12):

Northern Italy ML=0.4 2025/04/27 06:57:04.8 44.26 N 11.85 E 25 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP07	SP	25/04/27	06:57:09.4	0.0	0.0	0.1	0.1	109	0.0	1.0	0.0
SP07	SP	25/04/27	06:57:12.8	0.0	0.0	0.3	0.1	109	0.0	1.0	0.0
SP04	SP	25/04/27	06:57:09.3	0.0	0.0	-0.3	0.1	24	0.0	0.4	0.0
SP04	SP	25/04/27	06:57:12.8	0.0	0.0	-0.4	0.1	24	0.0	0.4	0.0
SP05	SP	25/04/27	06:57:09.3	0.0	0.0	-0.5	0.1	35	0.0	0.5	0.0
SP05	SP	25/04/27	06:57:12.8	0.0	0.0	-0.6	0.1	35	0.0	0.5	0.0
SP13	SP	25/04/27	06:57:10.1	0.0	0.0	0.2	0.1	2	0.0	0.4	0.0
SP13	SP	25/04/27	06:57:14.3	0.0	0.0	0.6	0.1	2	0.0	0.4	0.0
SP02	SP	25/04/27	06:57:10.3	0.0	0.0	-0.1	0.2	24	0.0	0.6	0.0
SP02	SP	25/04/27	06:57:14.9	0.0	0.0	0.3	0.2	24	0.0	0.6	0.0

SP09	SP	25/04/27	06:57:10.8	0.0	0.0	-0.2	0.2	55	0.0	1.7	0.0
SP09	SP	25/04/27	06:57:16.2	0.0	0.0	0.7	0.2	55	0.0	1.7	0.0

RMS-ERR: 0.39

Event created: 2025/04/27 06:57:12
 This origin created: 2025/06/26 08:22:19

Alert SPogs2025jixt: determined by 5 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 5 stations used, weight 5):

Northern Italy ML=1.8 2025/05/13 22:54:39.5 44.33 N 11.83 E 1 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP04	SP	25/05/13	22:54:41.5	0.0	0.0	0.3	0.1	61	0.0	2.0	0.0
SP13	SP	25/05/13	22:54:41.2	0.0	0.0	-0.1	0.1	17	0.0	2.2	0.0
SP13	SP	25/05/13	22:54:42.5	0.0	0.0	-0.1	0.1	17	0.0	2.2	0.0
SP07	SP	25/05/13	22:54:42.0	0.0	0.0	-0.0	0.1	142	0.0	2.7	0.0
SP07	SP	25/05/13	22:54:43.8	0.0	0.0	-0.1	0.1	142	0.0	2.7	0.0

RMS-ERR: 0.16

Event created: 2025/05/13 22:54:46
 This origin created: 2025/06/24 07:52:45

Alert SPogs2025jpyq: determined by 6 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 6 stations used, weight 6):

Northern Italy ML=0.8 2025/05/17 19:18:27.6 44.44 N 12.00 E 1 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP02	SP	25/05/17	19:18:28.4	0.0	0.0	0.1	0.0	265	0.0	0.4	0.0
SP02	SP	25/05/17	19:18:28.8	0.0	0.0	0.0	0.0	265	0.0	0.4	0.0
SP15	SP	25/05/17	19:18:29.2	0.0	0.0	0.3	0.1	12	0.0	1.0	0.0
SP15	SP	25/05/17	19:18:29.5	0.0	0.0	-0.4	0.1	12	0.0	1.0	0.0
SP09	SP	25/05/17	19:18:30.2	0.0	0.0	0.5	0.1	117	0.0	1.2	0.0
SP09	SP	25/05/17	19:18:30.8	0.0	0.0	-0.4	0.1	117	0.0	1.2	0.0

RMS-ERR: 0.34

Event created: 2025/05/17 19:18:34
 This origin created: 2025/06/24 07:50:45

Alert SPogs2025jwos: determined by 6 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 6 stations used, weight 6):

Northern Italy ML=0.4 2025/05/21 10:15:10.6 44.37 N 11.92 E 9 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP04	SP	25/05/21	10:15:12.6	0.0	0.0	0.2	0.0	216	0.0	0.5	0.0
SP05	SP	25/05/21	10:15:12.7	0.0	0.0	0.2	0.0	98	0.0	0.4	0.0
SP02	SP	25/05/21	10:15:13.3	0.0	0.0	0.2	0.1	24	0.0	0.4	0.0
SP02	SP	25/05/21	10:15:14.4	0.0	0.0	-0.3	0.1	24	0.0	0.4	0.0
SP06	SP	25/05/21	10:15:13.9	0.0	0.0	-0.1	0.1	252	0.0	1.0	0.0
SP07	SP	25/05/21	10:15:13.9	0.0	0.0	-0.1	0.1	178	0.0	1.0	0.0

RMS-ERR: 0.20

Event created: 2025/05/21 10:15:16

This origin created: 2025/06/24 07:48:34

Alert SPogs2025jzlz: determined by 8 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 8 stations used, weight 8):

Northern Italy ML=0.4 2025/05/23 00:16:09.0 44.35 N 11.91 E 7 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP04	SP	25/05/23	00:16:10.5	0.0	0.0	0.1	0.0	27	0.0	0.3	0.0
SP05	SP	25/05/23	00:16:10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	66	0.0	0.1	0.0
SP05	SP	25/05/23	00:16:11.7	0.0	0.0	-0.1	0.0	66	0.0	0.1	0.0
SP03	SP	25/05/23	00:16:10.8	0.0	0.0	0.1	0.0	45	0.0	1.1	0.0
SP13	SP	25/05/23	00:16:11.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	330	0.0	0.1	0.0
SP07	SP	25/05/23	00:16:11.9	0.0	0.0	0.0	0.1	173	0.0	0.8	0.0
SP06	SP	25/05/23	00:16:11.9	0.0	0.0	-0.0	0.1	259	0.0	0.9	0.0
SP09	SP	25/05/23	00:16:12.7	0.0	0.0	-0.1	0.2	74	0.0	1.2	0.0

RMS-ERR: 0.07

Event created: 2025/05/23 00:16:12

This origin created: 2025/06/19 19:33:18

Alert SPogs2025kcdf: determined by 8 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 8 stations used, weight 8):

Northern Italy ML=1.7 2025/05/24 11:15:10.6 44.33 N 12.12 E 2 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP10	SP	25/05/24	11:15:13.3	0.0	0.0	1.8	0.0	179	0.0	1.6	0.0
SP09	SP	25/05/24	11:15:10.1	0.0	0.0	-2.1	0.1	359	0.0	1.7	0.0

SP05	SP	25/05/24	11:15:14.6	0.0	0.0	1.1	0.1	289	0.0	1.4	0.0
SP04	SP	25/05/24	11:15:14.9	0.0	0.0	0.9	0.2	287	0.0	1.3	0.0
SP04	SP	25/05/24	11:15:15.7	0.0	0.0	-0.8	0.2	287	0.0	1.3	0.0
SP07	SP	25/05/24	11:15:12.1	0.0	0.0	-2.1	0.2	239	0.0	2.1	0.0
SP07	SP	25/05/24	11:15:17.2	0.0	0.0	0.2	0.2	239	0.0	2.1	0.0
SP13	SP	25/05/24	11:15:16.1	0.0	0.0	0.9	0.2	294	0.0	1.3	0.0

RMS-ERR: 1.41

Event created: 2025/05/24 11:15:18
 This origin created: 2025/06/19 19:28:49

Alert SPogs2025kdbt: determined by 7 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 7 stations used, weight 7):

Northern Italy ML=0.8 2025/05/24 23:38:50.0 44.40 N 11.75 E 1 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP06	SP	25/05/24	23:38:50.2	0.0	0.0	-1.3	0.1	181	0.0	0.8	0.0
SP11	SP	25/05/24	23:38:51.9	0.0	0.0	-0.2	0.1	113	0.0	0.1	0.0
SP11	SP	25/05/24	23:38:52.1	0.0	0.0	-1.6	0.1	113	0.0	0.1	0.0
SP01	SP	25/05/24	23:38:53.3	0.0	0.0	0.8	0.1	73	0.0	1.4	0.0
SP08	SP	25/05/24	23:38:55.0	0.0	0.0	1.8	0.1	26	0.0	0.8	0.0
SP07	SP	25/05/24	23:39:00.4	0.0	0.0	2.8	0.2	141	0.0	0.7	0.0
SP07	SP	25/05/24	23:38:52.1	0.0	0.0	-2.3	0.2	141	0.0	0.7	0.0

RMS-ERR: 1.73

Event created: 2025/05/24 23:38:58
 This origin created: 2025/07/03 19:49:45

Alert SPogs2025kfpb: determined by 14 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel Potito (with start solution, 14 stations used, weight 14):

Northern Italy ML=1.7 2025/05/26 08:38:29.4 44.47 N 11.96 E 13 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP02	SP	25/05/26	08:38:32.6	0.0	0.0	-0.2	0.0	182	0.0	1.4	0.0
SP02	SP	25/05/26	08:38:35.3	0.0	0.0	-0.3	0.0	182	0.0	1.4	0.0
SP01	SP	25/05/26	08:38:32.7	0.0	0.0	-0.3	0.1	229	0.0	2.8	0.0
SP01	SP	25/05/26	08:38:35.9	0.0	0.0	-0.0	0.1	229	0.0	2.8	0.0
SP03	SP	25/05/26	08:38:33.3	0.0	0.0	-0.1	0.1	185	0.0	1.9	0.0
SP03	SP	25/05/26	08:38:36.9	0.0	0.0	0.4	0.1	185	0.0	1.9	0.0
SP05	SP	25/05/26	08:38:33.5	0.0	0.0	-0.2	0.1	183	0.0	1.0	0.0
SP05	SP	25/05/26	08:38:36.9	0.0	0.0	-0.1	0.1	183	0.0	1.0	0.0
SP04	SP	25/05/26	08:38:33.5	0.0	0.0	-0.2	0.1	198	0.0	1.4	0.0

SP08	SP	25/05/26	08:38:33.6	0.0	0.0	-0.1	0.1	305	0.0	2.0	0.0
SP08	SP	25/05/26	08:38:37.5	0.0	0.0	0.4	0.1	305	0.0	2.0	0.0
SP11	SP	25/05/26	08:38:33.9	0.0	0.0	-0.1	0.1	211	0.0	1.3	0.0
SP11	SP	25/05/26	08:38:37.8	0.0	0.0	0.2	0.1	211	0.0	1.3	0.0
SP09	SP	25/05/26	08:38:34.7	0.0	0.0	0.6	0.1	123	0.0	1.7	0.0

RMS-ERR: 0.28

Event created: 2025/05/26 08:38:35
 This origin created: 2025/05/27 07:33:06

Alert SPogs2025kfte: determined by 12 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel Potito (with start solution, 12 stations used, weight 12):

Northern Italy ML=0.8 2025/05/26 10:43:17.9 44.47 N 11.93 E 10 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP02	SP	25/05/26	10:43:20.8	0.0	0.0	-0.2	0.0	148	0.0	0.3	0.0
SP02	SP	25/05/26	10:43:23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	148	0.0	0.3	0.0
SP12	SP	25/05/26	10:43:21.4	0.0	0.0	0.1	0.1	117	0.0	1.1	0.0
SP14	SP	25/05/26	10:43:21.1	0.0	0.0	-0.2	0.1	164	0.0	0.7	0.0
SP14	SP	25/05/26	10:43:23.9	0.0	0.0	-0.0	0.1	164	0.0	0.7	0.0
SP15	SP	25/05/26	10:43:21.5	0.0	0.0	0.1	0.1	71	0.0	1.5	0.0
SP13	SP	25/05/26	10:43:21.4	0.0	0.0	-0.2	0.1	218	0.0	0.5	0.0
SP13	SP	25/05/26	10:43:24.4	0.0	0.0	0.1	0.1	218	0.0	0.5	0.0
SP08	SP	25/05/26	10:43:21.9	0.0	0.0	0.3	0.1	312	0.0	1.3	0.0
SP03	SP	25/05/26	10:43:21.6	0.0	0.0	-0.1	0.1	169	0.0	1.4	0.0
SP03	SP	25/05/26	10:43:25.1	0.0	0.0	0.5	0.1	169	0.0	1.4	0.0
SP04	SP	25/05/26	10:43:21.8	0.0	0.0	-0.2	0.1	184	0.0	0.5	0.0

RMS-ERR: 0.20

Event created: 2025/05/26 10:43:23
 This origin created: 2025/05/27 08:07:07

Alert SPogs2025kftr: determined by 14 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel Potito (with start solution, 14 stations used, weight 14):

Northern Italy ML=0.6 2025/05/26 10:59:12.4 44.46 N 11.93 E 11 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP02	SP	25/05/26	10:59:15.2	0.0	0.0	-0.3	0.0	129	0.0	0.4	0.0
SP02	SP	25/05/26	10:59:17.9	0.0	0.0	-0.1	0.0	129	0.0	0.4	0.0
SP14	SP	25/05/26	10:59:15.5	0.0	0.0	-0.2	0.0	159	0.0	0.7	0.0
SP14	SP	25/05/26	10:59:18.3	0.0	0.0	0.1	0.0	159	0.0	0.7	0.0
SP12	SP	25/05/26	10:59:15.9	0.0	0.0	0.1	0.1	99	0.0	1.2	0.0

SP13	SP	25/05/26	10:59:15.8	0.0	0.0	-0.1	0.1	229	0.0	0.6	0.0
SP13	SP	25/05/26	10:59:18.9	0.0	0.0	0.2	0.1	229	0.0	0.6	0.0
SP15	SP	25/05/26	10:59:15.9	0.0	0.0	-0.2	0.1	57	0.0	1.2	0.0
SP15	SP	25/05/26	10:59:19.3	0.0	0.0	0.3	0.1	57	0.0	1.2	0.0
SP04	SP	25/05/26	10:59:16.2	0.0	0.0	-0.0	0.1	185	0.0	0.5	0.0
SP05	SP	25/05/26	10:59:16.2	0.0	0.0	-0.1	0.1	168	0.0	0.4	0.0
SP05	SP	25/05/26	10:59:19.4	0.0	0.0	0.2	0.1	168	0.0	0.4	0.0
SP08	SP	25/05/26	10:59:16.5	0.0	0.0	0.1	0.1	320	0.0	1.7	0.0
SP11	SP	25/05/26	10:59:16.6	0.0	0.0	0.1	0.1	203	0.0	0.7	0.0

RMS-ERR: 0.18

Event created: 2025/05/26 10:59:18
 This origin created: 2025/05/27 08:10:24

Alert SPogs2025kfyu: determined by 14 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel Potito (with start solution, 14 stations used, weight 14):

Northern Italy ML=1.2 2025/05/26 13:33:58.6 44.44 N 11.93 E 14 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP02	SP	25/05/26	13:34:01.8	0.0	0.0	-0.2	0.0	99	0.0	0.8	0.0
SP02	SP	25/05/26	13:34:04.5	0.0	0.0	-0.3	0.0	99	0.0	0.8	0.0
SP01	SP	25/05/26	13:34:01.9	0.0	0.0	-0.2	0.0	252	0.0	2.3	0.0
SP01	SP	25/05/26	13:34:05.1	0.0	0.0	0.2	0.0	252	0.0	2.3	0.0
SP14	SP	25/05/26	13:34:04.7	0.0	0.0	-0.2	0.0	156	0.0	1.1	0.0
SP14	SP	25/05/26	13:34:01.8	0.0	0.0	-0.4	0.0	156	0.0	1.1	0.0
SP12	SP	25/05/26	13:34:02.4	0.0	0.0	0.1	0.0	83	0.0	1.3	0.0
SP12	SP	25/05/26	13:34:05.5	0.0	0.0	0.3	0.0	83	0.0	1.3	0.0
SP03	SP	25/05/26	13:34:02.5	0.0	0.0	0.2	0.1	167	0.0	1.5	0.0
SP13	SP	25/05/26	13:34:02.4	0.0	0.0	0.0	0.1	242	0.0	0.9	0.0
SP04	SP	25/05/26	13:34:02.7	0.0	0.0	0.2	0.1	189	0.0	0.7	0.0
SP15	SP	25/05/26	13:34:02.5	0.0	0.0	-0.1	0.1	47	0.0	1.8	0.0
SP15	SP	25/05/26	13:34:06.0	0.0	0.0	0.2	0.1	47	0.0	1.8	0.0
SP11	SP	25/05/26	13:34:03.1	0.0	0.0	0.3	0.1	209	0.0	0.7	0.0

RMS-ERR: 0.24

Event created: 2025/05/26 13:34:04
 This origin created: 2025/05/27 08:30:13

Alert SPogs2025kgmd: determined by 9 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 9 stations used, weight 9):

Northern Italy ML=0.4 2025/05/26 20:18:12.6 44.47 N 11.96 E 17 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP02	SP	25/05/26	20:18:15.6	0.0	0.0	-0.3	0.0	182	0.0	0.1	0.0
SP02	SP	25/05/26	20:18:18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	182	0.0	0.1	0.0
SP15	SP	25/05/26	20:18:16.2	0.0	0.0	0.2	0.1	54	0.0	1.0	0.0
SP03	SP	25/05/26	20:18:16.3	0.0	0.0	0.1	0.1	185	0.0	1.1	0.0
SP13	SP	25/05/26	20:18:16.1	0.0	0.0	-0.2	0.1	233	0.0	0.2	0.0
SP04	SP	25/05/26	20:18:16.5	0.0	0.0	0.1	0.1	198	0.0	0.2	0.0
SP08	SP	25/05/26	20:18:16.5	0.0	0.0	0.0	0.1	306	0.0	0.9	0.0
SP08	SP	25/05/26	20:18:19.2	0.0	0.0	-0.1	0.1	306	0.0	0.9	0.0
SP11	SP	25/05/26	20:18:16.9	0.0	0.0	0.2	0.1	211	0.0	0.4	0.0

RMS-ERR: 0.16

Event created: 2025/05/26 20:18:18

This origin created: 2025/07/03 19:07:50

Alert SPogs2025krvx: determined by 7 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 7 stations used, weight 7):

Northern Italy ML=-0.1 2025/06/02 01:43:47.3 44.35 N 11.93 E 10 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP04	SP	25/06/02	01:43:49.3	0.0	0.0	-0.0	0.0	344	0.0	0.0	0.0
SP05	SP	25/06/02	01:43:49.3	0.0	0.0	-0.1	0.0	45	0.0	-0.1	0.0
SP05	SP	25/06/02	01:43:50.8	0.0	0.0	0.0	0.0	45	0.0	-0.1	0.0
SP03	SP	25/06/02	01:43:49.5	0.0	0.0	0.1	0.0	26	0.0	0.9	0.0
SP11	SP	25/06/02	01:43:49.5	0.0	0.0	0.0	0.0	287	0.0	0.0	0.0
SP13	SP	25/06/02	01:43:49.9	0.0	0.0	-0.0	0.1	322	0.0	-0.0	0.0
SP07	SP	25/06/02	01:43:50.4	0.0	0.0	0.0	0.1	180	0.0	0.6	0.0

RMS-ERR: 0.04

Event created: 2025/06/02 01:43:52

This origin created: 2025/06/20 13:13:58

Alert SPogs2025lbrx: determined by 7 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 7 stations used, weight 7):

Northern Italy ML=0.9 2025/06/07 11:04:39.5 44.33 N 11.90 E 1 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP13	SP	25/06/07	11:04:41.2	0.0	0.0	-0.1	0.1	339	0.0	0.7	0.0
SP13	SP	25/06/07	11:04:42.5	0.0	0.0	-0.2	0.1	339	0.0	0.7	0.0
SP07	SP	25/06/07	11:04:41.7	0.0	0.0	0.3	0.1	169	0.0	1.1	0.0
SP01	SP	25/06/07	11:04:42.1	0.0	0.0	0.4	0.1	1	0.0	1.8	0.0
SP02	SP	25/06/07	11:04:41.6	0.0	0.0	-0.4	0.1	22	0.0	0.6	0.0

SP12	SP	25/06/07	11:04:42.7	0.0	0.0	0.3	0.1	32	0.0	1.3	0.0
SP10	SP	25/06/07	11:04:42.8	0.0	0.0	-0.2	0.2	105	0.0	1.3	0.0

RMS-ERR: 0.28

Event created: 2025/06/07 11:04:44
 This origin created: 2025/06/19 19:18:16

Alert SPogs2025marn: determined by 5 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 5 stations used, weight 5):

Northern Italy ML=1.0 2025/06/21 03:16:42.4 44.23 N 11.98 E 10 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP07	SP	25/06/21	03:16:44.3	0.0	0.0	-0.3	0.0	288	0.0	1.0	0.0
SP07	SP	25/06/21	03:16:46.2	0.0	0.0	0.0	0.0	288	0.0	1.0	0.0
SP10	SP	25/06/21	03:16:46.0	0.0	0.0	0.4	0.1	59	0.0	1.6	0.0
SP09	SP	25/06/21	03:16:46.8	0.0	0.0	-0.3	0.2	31	0.0	1.7	0.0
SP13	SP	25/06/21	03:16:47.4	0.0	0.0	0.2	0.2	334	0.0	0.8	0.0

RMS-ERR: 0.27

Event created: 2025/06/21 03:16:49
 This origin created: 2025/06/24 07:47:01

Alert SPogs2025mcno: determined by 8 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 8 stations used, weight 8):

Northern Italy ML=0.1 2025/06/22 03:32:53.7 44.29 N 11.92 E 10 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP07	SP	25/06/22	03:32:56.5	0.0	0.0	0.6	0.0	174	0.0	0.4	0.0
SP07	SP	25/06/22	03:32:57.1	0.0	0.0	-0.3	0.0	174	0.0	0.4	0.0
SP04	SP	25/06/22	03:32:56.1	0.0	0.0	-0.3	0.1	359	0.0	0.1	0.0
SP05	SP	25/06/22	03:32:56.1	0.0	0.0	-0.3	0.1	16	0.0	0.2	0.0
SP03	SP	25/06/22	03:32:57.3	0.0	0.0	0.6	0.1	13	0.0	0.8	0.0
SP06	SP	25/06/22	03:32:57.2	0.0	0.0	0.0	0.1	291	0.0	0.6	0.0
SP13	SP	25/06/22	03:32:57.5	0.0	0.0	0.3	0.1	341	0.0	-0.0	0.0
SP02	SP	25/06/22	03:32:57.1	0.0	0.0	-0.5	0.2	11	0.0	0.1	0.0

RMS-ERR: 0.43

Event created: 2025/06/22 03:33:00
 This origin created: 2025/06/24 07:46:19

Alert SPogs2025mhao: determined by 6 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 6 stations used, weight 6):

Northern Italy ML=0.8 2025/06/24 14:40:21.5 44.21 N 12.07 E 10 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP10	SP	25/06/24	14:40:24.5	0.0	0.0	0.3	0.1	22	0.0	1.3	0.0
SP10	SP	25/06/24	14:40:25.9	0.0	0.0	-0.4	0.1	22	0.0	1.3	0.0
SP07	SP	25/06/24	14:40:24.8	0.0	0.0	0.2	0.1	287	0.0	0.8	0.0
SP04	SP	25/06/24	14:40:25.4	0.0	0.0	-0.8	0.2	325	0.0	0.9	0.0
SP04	SP	25/06/24	14:40:29.8	0.0	0.0	0.1	0.2	325	0.0	0.9	0.0
SP14	SP	25/06/24	14:40:27.3	0.0	0.0	0.6	0.2	336	0.0	0.9	0.0

RMS-ERR: 0.44

Event created: 2025/06/24 14:40:32

This origin created: 2025/06/26 07:23:42

Alert SPogs2025mini: determined by 5 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 5 stations used, weight 5):

Northern Italy ML=0.0 2025/06/25 10:15:33.3 44.33 N 11.92 E 10 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP04	SP	25/06/25	10:15:35.7	0.0	0.0	0.1	0.0	357	0.0	0.5	0.0
SP04	SP	25/06/25	10:15:37.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	357	0.0	0.5	0.0
SP05	SP	25/06/25	10:15:35.4	0.0	0.0	-0.2	0.0	33	0.0	0.4	0.0
SP05	SP	25/06/25	10:15:37.4	0.0	0.0	0.1	0.0	33	0.0	0.4	0.0
SP02	SP	25/06/25	10:15:36.5	0.0	0.0	0.0	0.1	15	0.0	0.3	0.0

RMS-ERR: 0.13

Event created: 2025/06/25 10:15:45

This origin created: 2025/06/26 07:29:41

Alert SPogs2025mozr: determined by 5 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 5 stations used, weight 5):

Northern Italy ML=0.3 2025/06/28 23:18:37.8 44.29 N 12.01 E 0 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP07	SP	25/06/28	23:18:39.4	0.0	0.0	0.0	0.1	233	0.0	0.3	0.0
SP10	SP	25/06/28	23:18:39.6	0.0	0.0	-0.0	0.1	87	0.0	0.7	0.0
SP05	SP	25/06/28	23:18:39.8	0.0	0.0	-0.0	0.1	335	0.0	-0.1	0.0

SP04	SP	25/06/28	23:18:40.1	0.0	0.0	-0.1	0.1	323	0.0	-0.0	0.0
SP12	SP	25/06/28	23:18:41.4	0.0	0.0	0.1	0.2	359	0.0	0.5	0.0

RMS-ERR: 0.05

Event created: 2025/06/28 23:18:43
 This origin created: 2025/06/30 16:26:17

Alert SPogs2025mpws: determined by 6 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 6 stations used, weight 6):

Northern Italy ML=0.4 2025/06/29 10:56:43.8 44.20 N 12.11 E 27 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP07	SP	25/06/29	10:56:49.2	0.0	0.0	0.0	0.1	289	0.0	0.8	0.0
SP07	SP	25/06/29	10:56:53.1	0.0	0.0	0.1	0.1	289	0.0	0.8	0.0
SP05	SP	25/06/29	10:56:49.5	0.0	0.0	-0.3	0.2	327	0.0	0.5	0.0
SP04	SP	25/06/29	10:56:49.8	0.0	0.0	-0.2	0.2	322	0.0	0.8	0.0
SP02	SP	25/06/29	10:56:50.9	0.0	0.0	0.3	0.3	336	0.0	0.9	0.0
SP13	SP	25/06/29	10:56:50.9	0.0	0.0	0.1	0.3	320	0.0	1.0	0.0

RMS-ERR: 0.21

Event created: 2025/06/29 10:56:53
 This origin created: 2025/06/30 16:25:46

Alert SPogs2025nhyx: determined by 6 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel Potito (with start solution, 6 stations used, weight 6):

Northern Italy ML=1.3 2025/07/09 08:30:17.0 44.25 N 11.93 E 5 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP07	SP	25/07/09	08:30:17.3	0.0	0.0	-1.6	0.0	216	0.0	1.5	0.0
SP07	SP	25/07/09	08:30:22.8	0.0	0.0	2.5	0.0	216	0.0	1.5	0.0
SP04	SP	25/07/09	08:30:20.2	0.0	0.0	-1.4	0.1	357	0.0	1.0	0.0
SP04	SP	25/07/09	08:30:27.5	0.0	0.0	2.4	0.1	357	0.0	1.0	0.0
SP06	SP	25/07/09	08:30:26.7	0.0	0.0	0.4	0.2	304	0.0	1.4	0.0
SP06	SP	25/07/09	08:30:19.9	0.0	0.0	-2.4	0.2	304	0.0	1.4	0.0

RMS-ERR: 1.92

Event created: 2025/07/09 08:30:25
 This origin created: 2025/07/16 09:34:34

Alert SPogs2025njym: determined by 7 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel INGV (with start solution, 7 stations used, weight 7):

Northern Italy ML=0.9 2025/07/10 10:33:20.0 44.58 N 11.96 E 18 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP15	SP	25/07/10	10:33:26.6	0.0	0.0	0.1	0.1	154	0.0	1.1	0.0
SP15	SP	25/07/10	10:33:23.7	0.0	0.0	-0.1	0.1	154	0.0	1.1	0.0
SP12	SP	25/07/10	10:33:24.3	0.0	0.0	-0.0	0.1	168	0.0	1.4	0.0
SP02	SP	25/07/10	10:33:24.3	0.0	0.0	-0.0	0.1	181	0.0	0.5	0.0
SP02	SP	25/07/10	10:33:27.3	0.0	0.0	-0.2	0.1	181	0.0	0.5	0.0
SP14	SP	25/07/10	10:33:28.2	0.0	0.0	0.1	0.2	182	0.0	0.8	0.0
SP14	SP	25/07/10	10:33:24.8	0.0	0.0	0.1	0.2	182	0.0	0.8	0.0

RMS-ERR: 0.10

Event created: 2025/07/10 10:33:26

This origin created: 2025/07/11 12:56:12

Alert SPogs2025npqr: determined by 18 stations, type M

Hypo71 solution with earthmodel Potito (with start solution, 18 stations used, weight 18):

Central Italy ML=2.9 2025/07/13 13:25:32.1 43.91 N 11.93 E 18 km

Stat	Net	Date	Time	Amp	Per	Res	Dist	Az	mb	ML	mB
SP07	SP	25/07/13	13:25:38.9	0.0	0.0	-1.6	0.3	360	0.0	3.1	0.0
SP07	SP	25/07/13	13:25:47.4	0.0	0.0	0.3	0.3	360	0.0	3.1	0.0
SP10	SP	25/07/13	13:25:44.6	0.0	0.0	2.9	0.4	20	0.0	3.0	0.0
SP06	SP	25/07/13	13:25:41.7	0.0	0.0	-0.7	0.4	343	0.0	3.1	0.0
SP06	SP	25/07/13	13:25:51.8	0.0	0.0	1.4	0.4	343	0.0	3.1	0.0
SP11	SP	25/07/13	13:25:53.2	0.0	0.0	2.4	0.5	355	0.0	2.7	0.0
SP11	SP	25/07/13	13:25:41.9	0.0	0.0	-0.7	0.5	355	0.0	2.7	0.0
SP05	SP	25/07/13	13:25:51.9	0.0	0.0	0.9	0.5	2	0.0	2.5	0.0
SP05	SP	25/07/13	13:25:41.9	0.0	0.0	-0.8	0.5	2	0.0	2.5	0.0
SP04	SP	25/07/13	13:25:42.1	0.0	0.0	-0.6	0.5	359	0.0	2.5	0.0
SP04	SP	25/07/13	13:25:44.4	0.0	0.0	-6.6	0.5	359	0.0	2.5	0.0
SP03	SP	25/07/13	13:25:44.8	0.0	0.0	1.8	0.5	2	0.0	2.9	0.0
SP14	SP	25/07/13	13:25:43.1	0.0	0.0	-0.3	0.5	2	0.0	2.6	0.0
SP13	SP	25/07/13	13:25:42.8	0.0	0.0	-0.6	0.5	354	0.0	2.6	0.0
SP09	SP	25/07/13	13:25:43.2	0.0	0.0	-0.2	0.5	16	0.0	3.2	0.0
SP02	SP	25/07/13	13:25:43.3	0.0	0.0	-0.5	0.5	3	0.0	2.5	0.0
SP02	SP	25/07/13	13:25:55.1	0.0	0.0	2.0	0.5	3	0.0	2.5	0.0
SP15	SP	25/07/13	13:25:46.0	0.0	0.0	1.0	0.6	6	0.0	2.9	0.0

RMS-ERR: 2.02

Event created: 2025/07/13 13:25:44

This origin created: 2025/07/15 07:08:30



SUBSURFACE
GEOLOGY AND
GEOPHYSICS

stogit
Adriatica



Concessione "San Potito-Cotignola Stoccaggio"

Prove di stoccaggio in sovrappressione nei livelli

BB1-Upper e BB1-Lower del Cluster A

Report di Monitoraggio delle pressioni di poro e delle

deformazioni indotte

Aggiornamento al 31 luglio 2025

Redatto da A. Ponza ed F. L. Guido

verificato da Vincenzo Picotti



Indice

Executive Summary	3
1 Attività di stoccaggio dal 1 aprile al 31 luglio 2025	5
2 Analisi GPS, aggiornamento al 21 giugno 2025	6
2.1 Rete geodetica a doppia frequenza	6
2.1.1 Quality check	6
2.1.2 Analisi dei dati e stima delle posizioni	7
2.2 Rete geodetica a singola frequenza	14
2.2.1 Quality check	14
2.2.2 Analisi dei dati e stima degli spostamenti	16
3 Analisi delle serie interferometriche sul Cluster-A, in relazione alla movimentazione di gas in esercizio della sovrappressione	19
4 Relazione di GPS e InSAR con la movimentazione di gas	25
5 Monitoraggio delle pressioni di poro dal 1 aprile al 31 luglio 2025	28
5.1 Relazioni tra pressioni e volumi nei livelli di stoccaggio	30
6 Conclusioni	32
Bibliografia	34



Executive Summary

La presente relazione rendiconta l'attività di monitoraggio delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro che Geophi S.r.l. svolge in qualità di SPM (Società Preposta al Monitoraggio) presso la concessione di stoccaggio di gas metano denominata "SAN POTITO & COTIGNOLA STOCCAGGIO", per conto di Stogit Adriatica S.p.A (<https://www.stogitadriatica.it/>), per il periodo compreso tra inizio prove di stoccaggio (aprile 2025) e luglio 2025 (prima relazione trimestrale). L'attività di monitoraggio è prevista a seguito dell'approvazione del progetto per condurre prove di stoccaggio in sovrappressione, e secondo gli Indirizzi e Linee Guida (ILG) (Capitoli 6 e 7) ministeriali elaborato in data 24/11/2014 dal gruppo di lavoro istituito presso l'allora Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE, 2014) per le attività antropiche potenzialmente in grado di indurre sismicità o deformazioni del suolo nel loro intorno.

Il presente report di monitoraggio viene prodotto secondo le procedure tecniche ed i tempi prescritti nel Documento di Gestione Operativa del Monitoraggio ("DGOM") approvato e ratificato in data 20.02.2025 in applicazione dell'art. 3 dell'ACCORDO QUADRO del 23.09.2024 riguardante le "Prove di stoccaggio in sovrappressione nella concessione San potito - Cotignola - livello BB1" sottoscritto tra:

- il Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica (MASE), Direzione centrale fonti energetiche e titoli abilitativi, in persona del Direttore Generale;
- la Regione Emilia Romagna, Assessorato alla Transizione ecologica, contrasto al cambiamento climatico, ambiente, difesa del suolo e della costa e protezione civile, in persona del Vicepresidente,
- il Comune di Bagnacavallo, in persona del Sindaco pro tempore;
- Il Comune di Lugo, in persona del Sindaco pro tempore;
- l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), in persona del Direttore della Sezione CRS;
- La società Geophi S.r.l., in persona del Responsabile per il monitoraggio e le analisi delle deformazioni superficiali del suolo e per accettazione da Stogit Adriatica S.p.A., in persona di Titolare della Concessione.

Per ragioni dovute ai tempi tecnici di processamento sia del dato geodetico che interferometrico, le serie temporali GPS e InSAR si fermano, nel presente report, rispettivamente al 21 e 28 giugno 2025. A fine luglio 2025, la strumentazione installata presso l'impianto del Cluster-A continua ad essere funzionante. Il presente report evidenzia:

- sul Cluster-A sono state evidenziate deformazioni geodetiche mediamente contenute entro $i \approx \pm 4$ mm (con massimi fino a + 8 e - 14 mm), non correlabili con la fase di iniezione in esame, né in termini di tempo, né di distribuzione nello spazio;



- variazioni di pressioni di poro statiche all'interno delle prescrizioni previste di non superamento del 107% della pressione statica di giacimento originaria.

1 Attività di stoccaggio dal 1 aprile al 31 luglio 2025

Cluster-A

Nella concessione di stoccaggio San Potito, Cluster-A, nel periodo di monitoraggio delle pressioni di poro in esame (aprile - luglio 2025) sono stati iniettati complessivamente ≈ 67.87 MSmc; $53.612.964$ Smc (≈ 53.61 MSmc) sono stati iniettati nel livello BB1upper attraverso i pozzi "SP 1 dirST", "SP A1dir" e "SP A2dir"; $14.255.339$ Smc (≈ 14.26 MSmc) sono stati iniettati nel livello BB1lower attraverso il pozzo "SP A2dir".

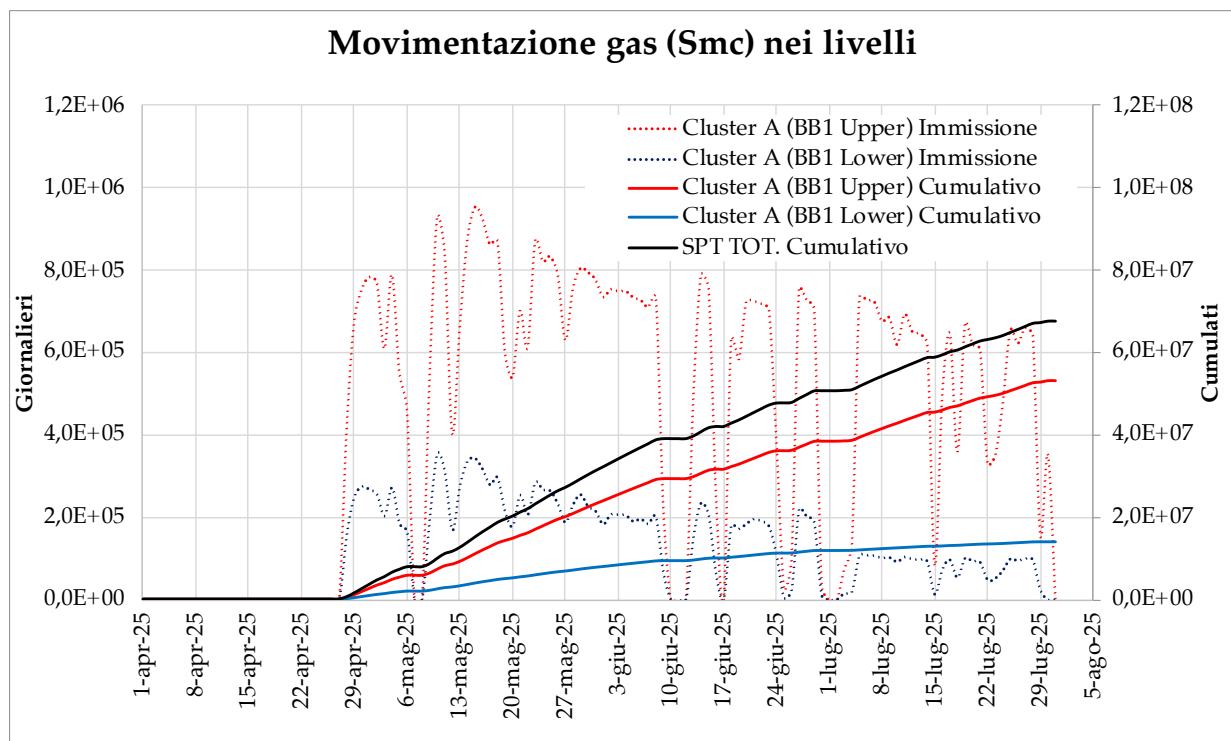


Figura 1.1: Cluster-A. Movimentazione dei volumi di gas in metri cubi standard (Smc): valori giornalieri (linee tratteggiate) con ordinata a sinistra; valori cumulati (linee continue) con ordinata a destra.



2 Analisi GPS, aggiornamento al 21 giugno 2025

2.1 Rete geodetica a doppia frequenza

La serie temporale delle posizioni delle stazioni a doppia frequenza SP12 ed SP00 è stata aggiornata attraverso l'analisi dei dati giornalieri fino alla data del 21 giugno 2025 (Day of Year 2025/172). E' stata inoltre aggiornata la serie temporale degli indici di qualità (MP1, MP2) di SP12 ed SP00 fino al doy 2025/172. Le serie temporali delle stazioni analizzate sono state determinate nel sistema di riferimento IGb14 (<http://igscb.jpl.nasa.gov/network/refframe.html>).

2.1.1 Quality check

I dati RINEX giornalieri delle 2 stazioni sono stati analizzati con il software TEQC (<http://facility.unavco.org/software/teqc>), che rappresenta uno standard internazionale per il trattamento in fase di pre-processamento di dati GPS e per la valutazione della loro qualità. A questo scopo, gli indici principalmente utilizzati sono i seguenti (in parentesi sono indicati i valori riscontrati su stazioni permanenti di buona qualità):

- MP1: root mean square (RMS) dato dai multipath sulla fase L1, ossia dovuto a riflessioni del segnale radio inviato dai satelliti che influiscono sul corretto calcolo della distanza satellite-ricevitore (0.1 - 0.5 m);
- MP2: RMS dato dai multipath sulla fase L2 (0.1 - 0.5 m);
- Cycle Slips (CS): salti di ciclo che occorrono quando il ricevitore perde il tracking dei satelliti in vista (- 5000 per intervalli di campionamento a 30 s).

Ricordiamo che prendendo come riferimento la rete IGS dell'International GNSS Service (<http://igscb.jpl.nasa.gov>), il 50% delle stazioni IGS ha valori di RMS per MP1 inferiori a 0.4 m e valori di MP2 inferiori a 0.6 m, mentre 2/3 delle stazioni ha valori di MP1 inferiori a 0.5 m e di MP2 inferiori a 0.75 m. Per quanto riguarda i Cycle Slips, più del 50% delle stazioni IGS ha valori inferiori a 5000 e inferiore a 1000 per almeno 2/3 delle stazioni IGS.

In Figura 2.1 è mostrato l'andamento nel tempo dei valori di MP1, MP2 e CS della stazione SP00 fino al 21 giugno 2025. La serie temporale di 1.2 anni mostra parametri di MP1 e MP2 in linea con i valori indicati dall'IGS per una stazione di buona qualità. Nel trimestre in esame (aprile - giugno 2025), MP1 sale da 0.45 fino a 0.60 a metà maggio, per poi riscendere a 0.45 a fine giugno, fatta eccezione per alcuni picchi. MP2 sale abbastanza costantemente da 0.45 fino 0.55, a fine giugno.

In Figura 2.2 è mostrato l'andamento dei valori di MP1, MP2 e CS della stazione SP12 durante il suo primi 6.6 anni di acquisizione. I valori di multipath tra aprile e giugno 2025 scendono mediamente da 0.80 fino 0.65

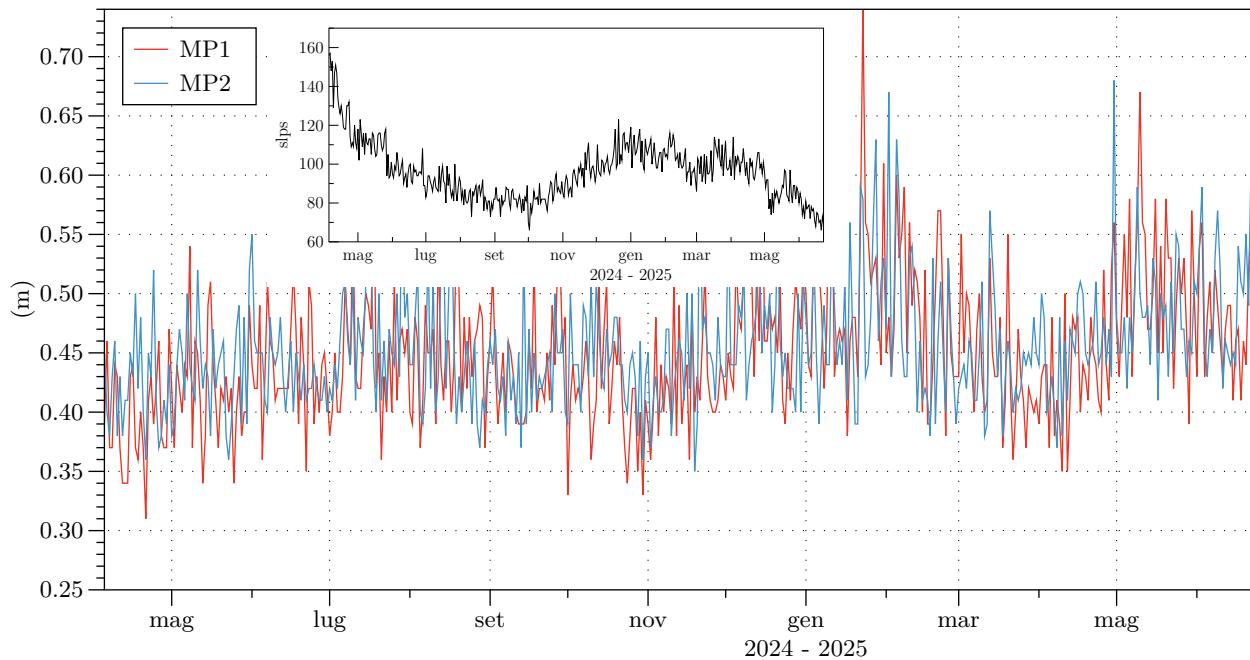


Figura 2.1: Andamento nel tempo dei valori di MP1, MP2 e numero di Cycle Slips della stazione SP00 fino al 21 giugno 2025.

e da 0.70 fino 0.55 per MP1 e MP2, rispettivamente. I valori di cycle slips salgono regolarmente da 130 a 150 nel trimestre di monitoraggio.

2.1.2 Analisi dei dati e stima delle posizioni

A partire dal 22 novembre 2018 i dati RINEX giornalieri registrati dalle stazioni SP12 e SP00 sono stati processati con il software scientifico GAMIT versione 10.71 (ultima release, Herring et al., 2010) assieme a quelli registrati da altre 30 stazioni (Fig. 2.3) afferenti a diverse reti GPS/GNSS permanenti in Emilia-Romagna, Italia settentrionale ed Europa, in questo caso al fine di ottenere informazioni relative a punti fuori dalla zona di subsidenza tettonica della Pianura Padana e dell'area pedemontane-Appenninica, nota dalla letteratura scientifica più recente. Successivamente, le soluzioni giornaliere debolmente vincolate, ottenute con il software GAMIT, sono state inquadrata nel sistema di riferimento internazionale IGB14 attraverso il modulo GLOBK del software, utilizzando le stazioni di riferimento IGB14 incluse nella rete (ed es. NOT1, TRO1).

La rete risulta così strutturata con:

Stazioni GNSS disponibili entro una distanza di 15 - 60 km (Fig. 2.3 a)

- BRIS (Brisighella), BLGN (Bologna) e RSMN (Rep San Marino) della rete RING dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV);
- BOLG (Bologna), GARI (Porto Garibaldi), MOPS (Modena), MEDI (Medicina) della rete internazionale EUREF (Regional Reference Frame sub-commission for Europe).

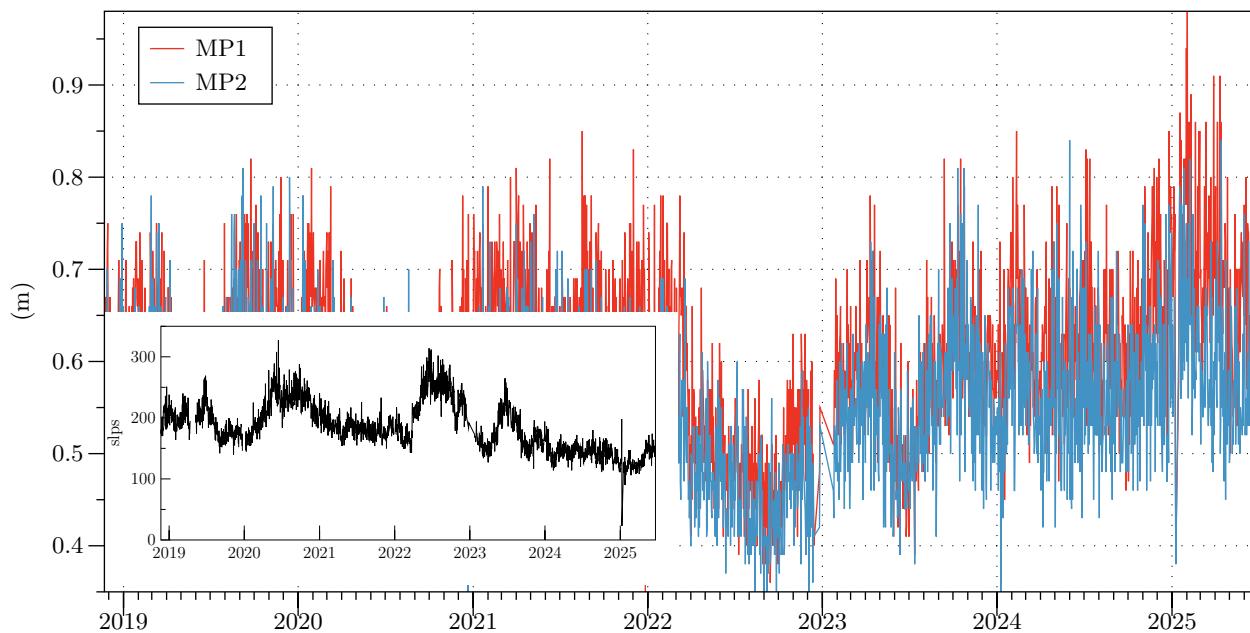


Figura 2.2: Andamento nel tempo dei valori di MP1, MP2 e numero di Cycle Slips della stazione SP12 fino al 21 giugno 2025.

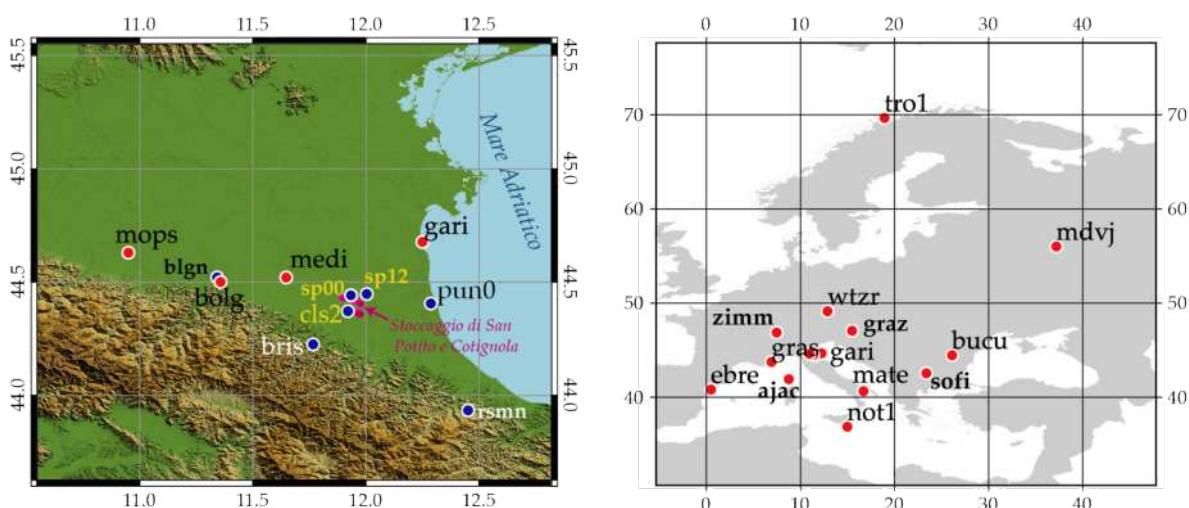


Figura 2.3: Mappa della rete geodetica utilizzata per il processing dei dati e per l'inquadramento nel sistema IGb14 di CLS2 e SP12. Fig. a): rete regionale di stazioni situate attorno al reservoir di San Potito e Cotignola: in rosso le stazioni di riferimento EUREF, in blu le stazioni delle reti RING in Emilia-Romagna. Fig b): stazioni di riferimento europee della rete EUREF.



- PUN0 (Punta Marina Terme) stazione privata dello stabilimento termale, di cui Geophi analizza i dati per monitoraggio della subsidenza.

Stazioni della rete geodetica internazionale EUREF operative sul territorio italiano ed europeo (Fig 2.3 b)

- MATE (Matera, CS), NOT1 (Noto, CS), AJAC (Ajaccio, Corsica), GRAS (Caussols, Francia), EBRE (Roquetes, Spagna), ZIMM (Zimmerwald, Svizzera), GRAZ (Graz, Austria), WTZR (Baden, Germania), TRO1 (Tromso, Norvegia, CS), MDVJ (Mendeleevo, Russia; CS), BUCU (Bucarest, Romania), SOFI (Sofia, Bulgaria).

La stima delle coordinate della stazione SP12 nel sistema di riferimento IGb14, riportate al 21/06/2025 (decimal year 2025.46849), restituisce:

X: 4461144.53007 (m) Y: 948495.48979 (m) Z: 4443722.06662 (m)

Latitudine: N 44° 26' 49.433100" Longitudine: E 12° 0' 11.056846" Quota: 44.68997 (m) Di seguito sono riportate le ampiezze (e incertezze associate) delle componenti annuali e semi annuali (in mm) ottenute analizzando la serie temporale di SP12 aggiornata al 21 giugno 2025:

- Aampiezza Annuale Est: 3.562 ± 0.041 mm; Nord: 6.146 ± 0.042 mm;
- Aampiezza Annuale Up: 5.269 ± 0.239 mm;
- Aampiezza Semi-Annuale Est: 0.669 ± 0.038 mm; Nord: 1.043 ± 0.047 mm;
- Aampiezza Semi-Annuale Up: 1.354 ± 0.253 mm.

Le velocità stimate per le tre componenti, E, N e Up nel sistema di riferimento IGb14 analizzando la serie temporale aggiornata al 21 giugno 2025 sono (in mm/anno):

- Velocità Est: 26.389 ± 0.019 (mm/anno);
- Velocità Nord: 16.534 ± 0.037 (mm/anno);
- Velocità Verticale: -6.825 ± 0.128 (mm/anno).

Le incertezze (1 sigma) riportate nelle stime di velocità sono le incertezze formali, ottenute dall'analisi ai minimi quadrati assumendo che il rumore nella serie temporale sia solo di tipo gaussiano.

SP12 S. POTITO Stogit Adriatica Lon/Lat: 12.0030 44.4470

Time Span (yrs): 6.5835

N.Epochs: 2403

N.Obs: 2285

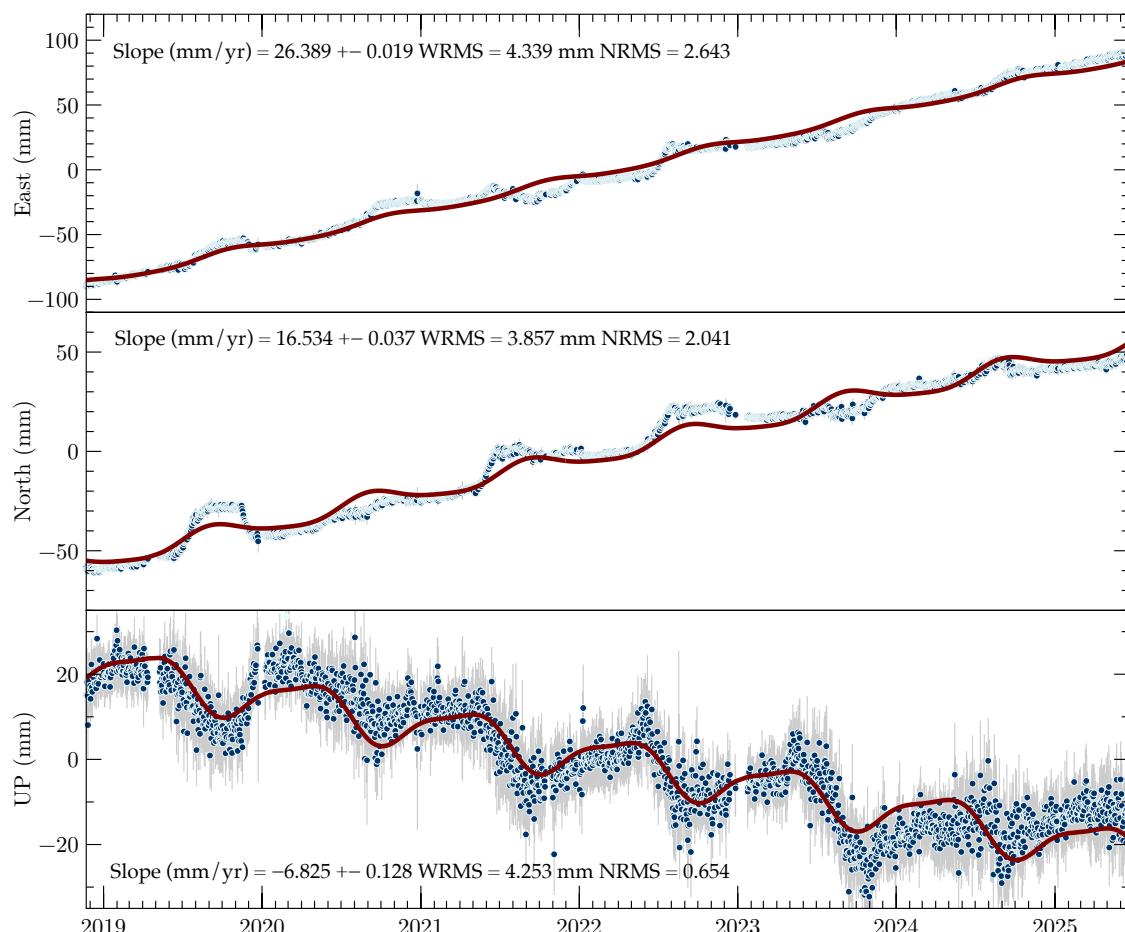
A - Sistema di riferimento IGB14


Figura 2.4: Serie temporale delle posizioni della stazione SP12, aggiornata al 21 giugno 2025, nel sistema di riferimento IGB14. La linea arancio indica il modello ottenuto da una stima dell'andamento lineare e stagionale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (2 sigma) delle posizioni giornaliere.

SP12 S. POTITO Stogit Adriatica Lon/Lat: 12.0030 44.4470

Time Span (yrs): 6.5835

N.Epochs: 2403

N.Obs: 2285

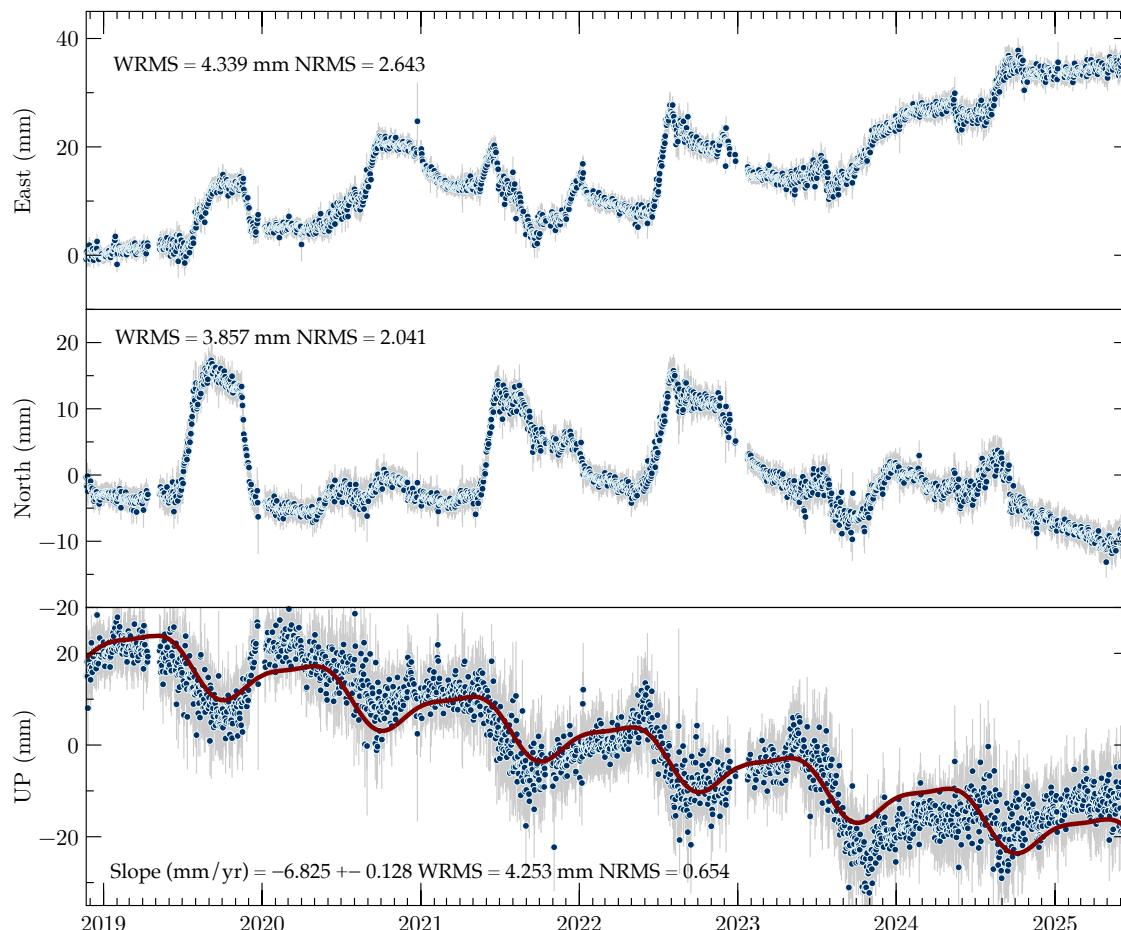
B - Sistema di riferimento Adria fixed


Figura 2.5: Serie temporale delle posizioni della stazione SP12, aggiornata al 21 giugno 2025, in un sistema di riferimento locale Adria-fixed, ottenuto utilizzando il polo di rotazione della microplacca Adriatica determinato in Serpelloni et al. (2016). Le linee grigie indicano le barre d'errore (2 sigma) delle posizioni giornaliere.

La stima delle coordinate della stazione SP00 nel sistema di riferimento IGB14, riportate al 21/06/2025 (decimal year 2025.46849), restituisce:

X: 4464161.78654 (m) Y: 944615.87385 (m) Z: 4441552.79440 (m)

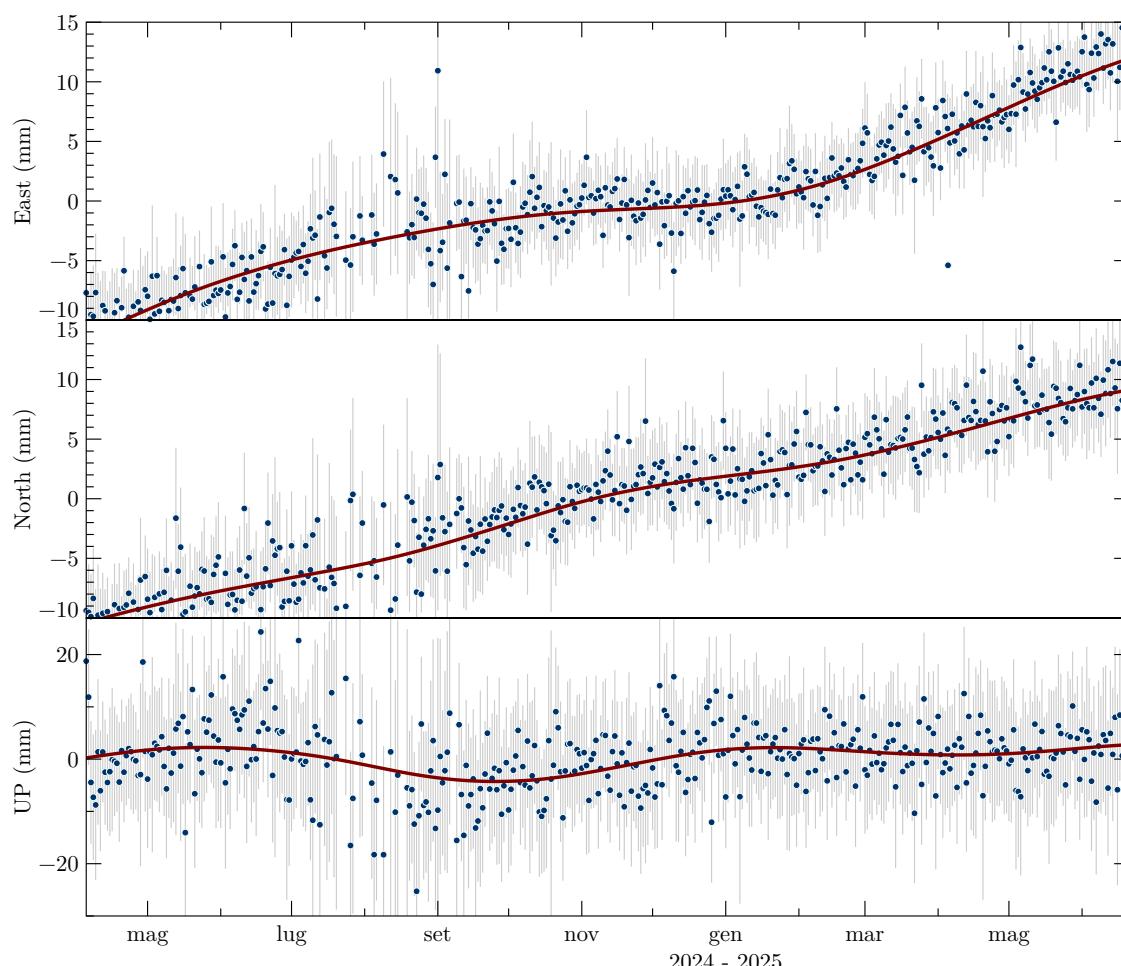
Latitudine: N 44° 25' 10.564142" Longitudine: E 11° 56' 51.153653" Quota: 58.84887 (m).

Data che la lunghezza della serie temporale di SP00 (1.3 anni), è ritenuta dalla comunità scientifica non sufficiente per ottenere una stima realistica delle velocità medie di spostamento attese localmente, non vengono qui restituite né le stime delle sue componenti di spostamento, né i valori di velocità.

SP00 S. Potito Stogit Adriatica Lon/Lat: 11.94755 44.4196

Time Span (yrs): 1.2109 N.Epochs: 442 N.Obs: 442

A - Sistema di riferimento IGB14



SP00 S. Potito Stogit Adriatica Lon/Lat: 11.94755 44.4196

Time Span (yrs): 1.2109 N.Epochs: 442 N.Obs: 442

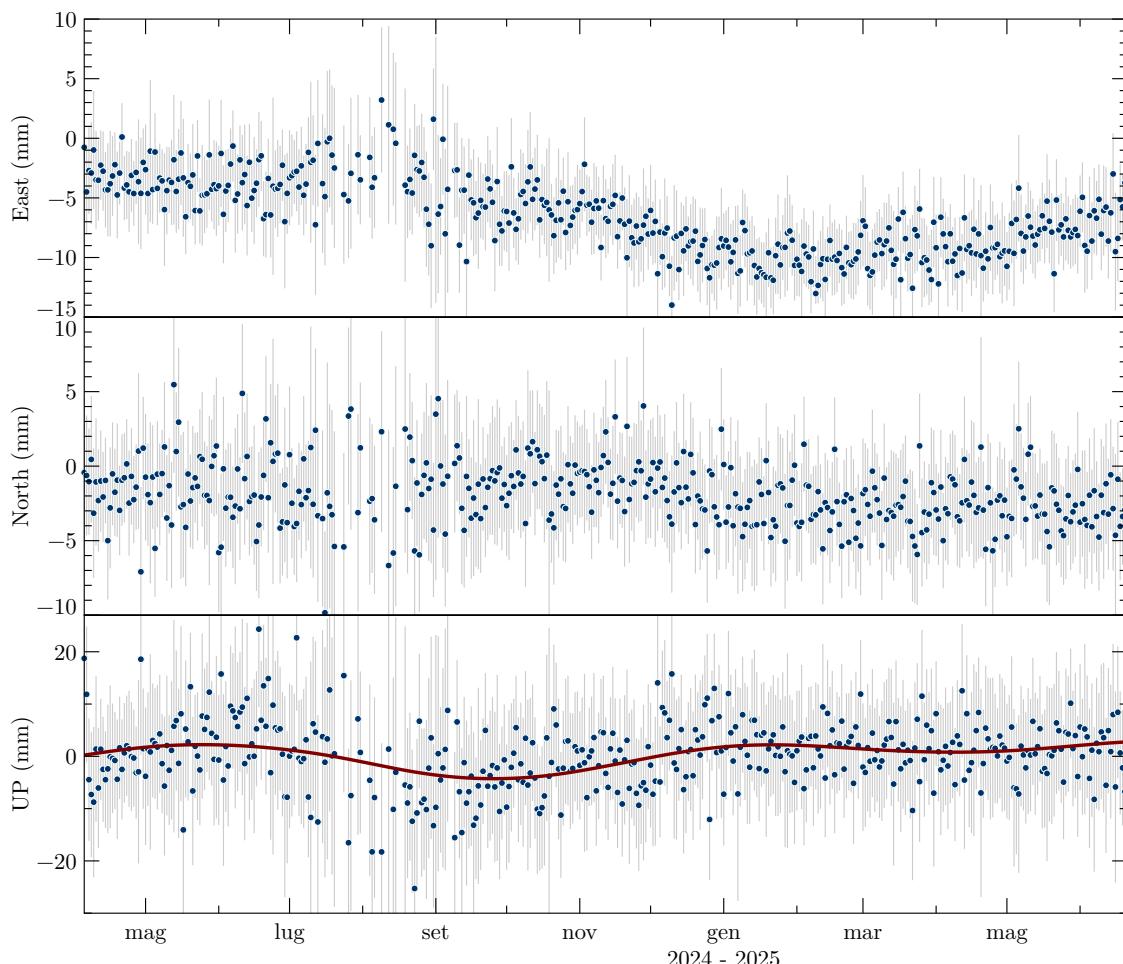
B - Sistema di riferimento Adria fixed


Figura 2.6: Serie temporale delle posizioni della stazione SP00, aggiornata al 21 giugno 2025, in un sistema di riferimento locale Adria-fixed, ottenuto utilizzando il polo di rotazione della microplacca Adriatica determinato in Serpelloni et al. (2016). Le linee grigie indicano le barre d'errore (2 sigma) delle posizioni giornaliere.

2.2 Rete geodetica a singola frequenza

La rete geodetica locale è costituita da 10 ricevitori GNSS a singola frequenza posizionati nell'intorno dei reservoir di San Potito e Cotignola, e dalle due 2 stazioni GNSS a doppia frequenza SP12 e CLS2, incluse anche nella rete a doppia frequenza descritta al paragrafo 2.1. Come mostrato nella mappa di figura 2.8, le lunghezze delle linee di base tra i ricevitori a singola frequenza e la stazione di riferimento SP12 variano dai 5.5 km di SP02 (la più vicina) ai \approx 11 km di SP11. I ricevitori GNSS a singola frequenza sono assemblati a partire da schede U-BLOX NEO M8T e collegati ad antenne low cost MOBI GPS L1, per le quali non si effettua una calibrazione assoluta del centro di fase.

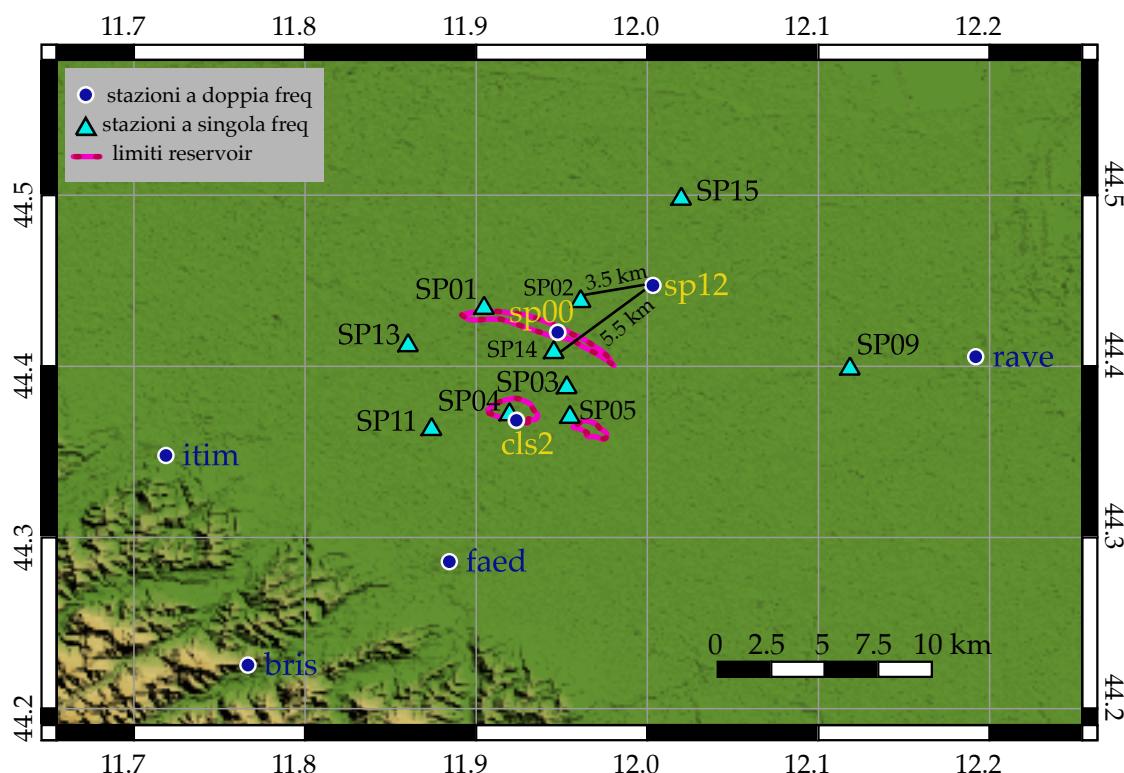


Figura 2.7: Mappa della rete a singola frequenza attorno ai reservoir di San Potito e Cotignola. In azzurro (triangoli) le stazioni Stogit Adriatica a singola frequenza; in blu le stazioni Stogit Adriatica a doppia frequenza CLS2, SP00 e SP12 (etichetta gialla) e le stazioni regionali a doppia frequenza più vicine (etichetta blu).

2.2.1 Quality check

I dati RINEX giornalieri di ciascun ricevitore a singola frequenza sono stati analizzati con il software open source G-Nut/Anubis (<https://www.pecny.cz/Joomla25/index.php/gnss/sw/anubis>) sviluppato presso l'Osservatorio Geodetico Pecny (Dipartimento di Geodesia e Geodinamica del Research Institute of Geodesy, Cartography and Topography), in Repubblica Ceca (Václavovic and Douša, 2016). G-Nut/Anubis è uno strumento da riga di comando in grado di analizzare dati da tutte le costellazioni GNSS disponibili e che forni-

sce un controllo quantitativo e qualitativo completo con il supporto dei messaggi di navigazione GNSS e/o dei prodotti dell'orbita SP3: per il dato RINEX giornaliero il software produce una serie di parametri utili quali indici di qualità (ad es. conteggio delle osservazioni, segnali, banda dei satelliti, salti di clock e cycle-slips, lacune nei dati e piccoli pezzi di dati). L'output di Anubis restituisce una riga di riepilogo generale per tutte le costellazioni osservate e righe di sommario per ciascun tipo di costellazione osservata. In tabella 2.1 viene riportato come esempio l'output relativo al ricevitore SP01 per un giorno di osservazione, con la riga di sommario generale e la riga di riepilogo relativa alla costellazione GPS utilizzata. All'indirizzo (<https://www.pecny.cz/Joomla25/index.php/gnss/sw/anubis/anubis-summary>) vengono riassunti e spiegati i significati dei parametri contenuti nella tabella. Dai risultati in tabella 2.1 si può comunque evincere come per i dati RINEX a singola frequenza si possano utilizzare come indice di qualità solo le percentuali tra dati attesi ed osservati. In tabella 2.2 vengono invece riassunti, per l'ultimo trimestre di monitoraggio (dal 1 aprile

Tabella 2.1 - Output di esempio di un file di sommario prodotto dal software G.Nut/Anubis relativo ad un RINEX giornaliero della stazione SP01.

al 21 giugno 2025), il numero di sessioni giornaliere processate per ciascuna stazione, il rapporto tra sessioni processate e attese, il rapporto tra sessioni in cui il software è riuscito a risolvere l'ambiguità, rispetto alle sessioni processate; nell'ultima colonna viene fornito il numero di valori anomali (outliers) che ricadono al di fuori dell'intervallo $\pm 3\sigma$ (corrispondenti ad un livello di confidenza del 99%) rispetto alla regressione locale (o regressione mobile) LOESS (*locally estimated scatterplot smoothing*) con finestra di campionamento ad un mese utilizzata per fare il fit delle serie temporali di spostamento.

Stazione	Obs attese	Obs proc	% proc/att	ambfix	% fix/proc	outl rimossi
SP01	82	82	100.00%	82	100.00%	5

Tabella 2.1 - Confronto tra dati attesi e processati e tra dati processati e ad ambiguità risolta per le stazioni della rete a singola frequenza di San Potito e Cotignola nel semestre di monitoraggio aprile - giugno 2025.



2.2.2 Analisi dei dati e stima degli spostamenti

I dati RINEX giornalieri dei ricevitori a singola frequenza e dei 2 ricevitori a doppia frequenza SP12, il ricevitore utilizzato come base “stabile”, e SP00 sono stati processati in modalità L1 baseline con il software GAMIT/GLOBK (release 10.71, della precedente 10.70, Herring et al., 2010): le posizioni giornaliere di tutte le stazioni (inclusa SP00) sono state vincolate a 1 cm relativamente alla posizione di SP12, le cui coordinate a-priori, precedentemente stimate attraverso le soluzioni della rete a doppia frequenza inquadrate nel sistema di riferimento IGB14, sono qui state considerate con velocità di spostamento pari a zero. Il moto di SP12, essendo già stato determinato, non è infatti di interesse e può essere assunto pari a zero al fine di non introdurre errori nelle linee di base all’interno della rete locale implementata attorno ai due giacimenti di gas. Inoltre, impostando a zero la velocità per tutte le stazioni nella soluzione, qualsiasi movimento "assoluto" dovuto al moto delle placche diviene comune all’intera rete e non influisce sulla soluzione.

L’operazione sopra descritta consente dunque di:

- operare in un sistema di riferimento locale, senza che gli errori “assoluti” di posizionamento si propaghino significativamente tra le posizioni relative utili per lo studio della rete a singola frequenza;
- inquadrare allo stesso tempo tutta la rete locale nel sistema di riferimento internazionale IGB14, poiché la posizione di SP12, e la sua variazione nel tempo, sono già state determinate in precedenza (analisi e soluzioni della rete a doppia frequenza);
- escludere dalla soluzione di ciascuna stazione la componente di moto assoluto (tetonico).

Le soluzioni giornaliere debolmente vincolate, ottenute con il modulo GAMIT del software, sono state ulteriormente ristrette rispetto alla posizione di SP12 utilizzando il modulo GLOBK del software, vincolando ad 1 mm (rispetto alle proprie coordinate a priori ottenute dalla soluzione a doppia frequenza) la posizione di SP12, rispetto alla quale le posizioni delle altre stazioni sono state calcolate nelle componenti locali Nord, Est e Up, attraverso procedure di sola traslazione in x, y, e z. Le serie temporali così ottenute descrivono dunque lo spostamento nel tempo delle stazioni a singola frequenza lungo le 3 componenti N, E ed UP rispetto a SP12. Gli errori associati alle misure della rete locale hanno valori minimi di $\approx \pm 1.5$ mm con massimi fino ± 5.5 mm, che aumentano in maniera proporzionale alla lunghezza della linea di base tra le varie stazioni e SP12.

Dalle serie temporali sono stati rimossi valori anomali (outliers) che ricadono al di fuori dell’intervallo $\pm 3\sigma$ (corrispondenti ad un livello di confidenza del 99%) rispetto alla regressione locale (o regressione mobile) LOESS (*locally estimated scatterplot smoothing*) con finestra di campionamento ad un mese. Tali valori coincidono in prevalenza con giorni in cui i dati delle stazioni risultano essere incompleti.

Il dato che viene presentato nelle figure che seguono corrisponde alle serie temporali delle stazioni a singola frequenza dalle quali sono poi stati rimossi gli spostamenti di SP12 calcolato in un sistema di riferimento Adria

fixed (si veda par. 2.1.2, pp. 17), e dalle quali sono stati anche rimossi gli outliers secondo il criterio appena esposto. La somma degli spostamenti della serie temporale a doppia frequenza di SP12, con gli spostamenti dei rover GNSS a singola frequenza, restituisce gli effettivi spostamenti di ciascun ricevitore, ripuliti dagli spostamenti anomali di SP12; essi risultano più utili per controllare e poi descrivere nel testo il moto effettivo delle stazioni a singola frequenza, ubicate in zone ritenute suscettibili di possibili effetti indotti dalla movimentazione di gas (solo SP01 nel presente report, figs 2.8 e 2.9).

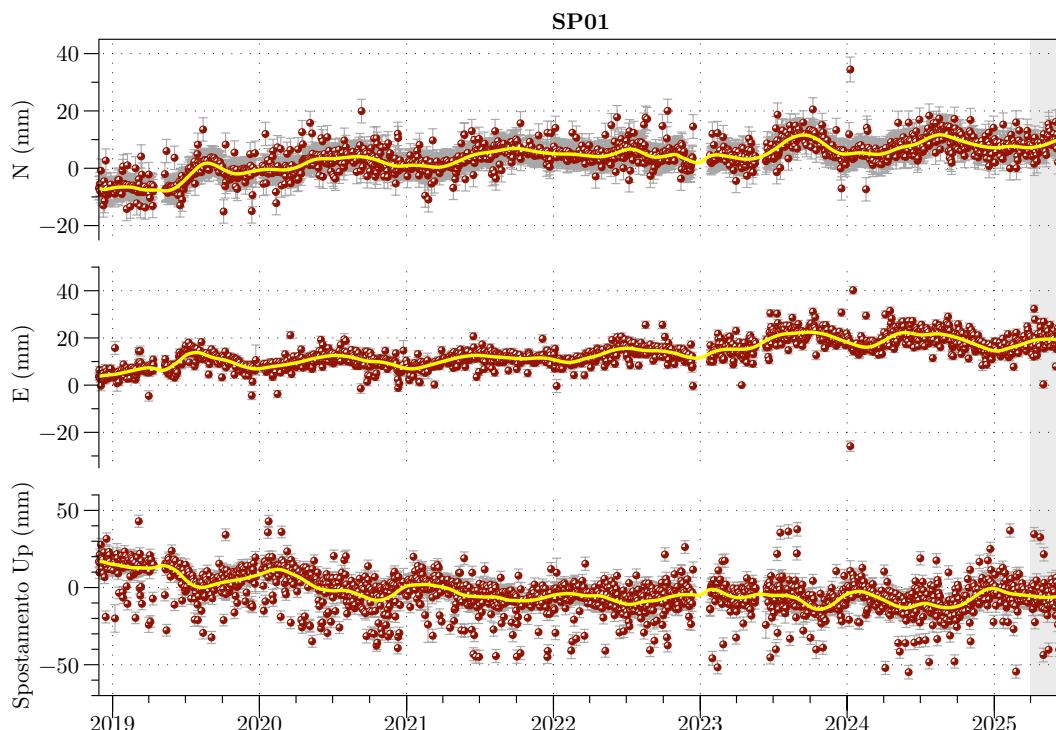


Figura 2.8: Spostamento relativo del ricevitore GNSS SP01 calcolato rispetto a SP12 e successivamente rimosso del moto di quest'ultimo, nelle componenti N, E e UP, aggiornato al 21 giugno 2025. In giallo la curva di regressione locale LOESS, scelta per fissare la distribuzione degli spostamenti ed usata per eliminare i valori anomali che ricadono fuori dai 3σ .

La stazione SP01 è installata immediatamente all'esterno dell'area di proiezione in superficie del giacimento di San Potito, nella parte nord-occidentale, un'area che dagli studi dei report precedenti (deformazioni analizzate tramite interferometria) non risulta influenzata dallo stoccaggio, ma dalle naturali dilatazioni e compattazioni stagionali del terreno. Nel trimestre in esame (1 aprile - 21 giugno 2025), come si vede bene dalle figure 2.8 e 2.9, SP01 si abbassa nella componente Up di ≈ -3 mm.

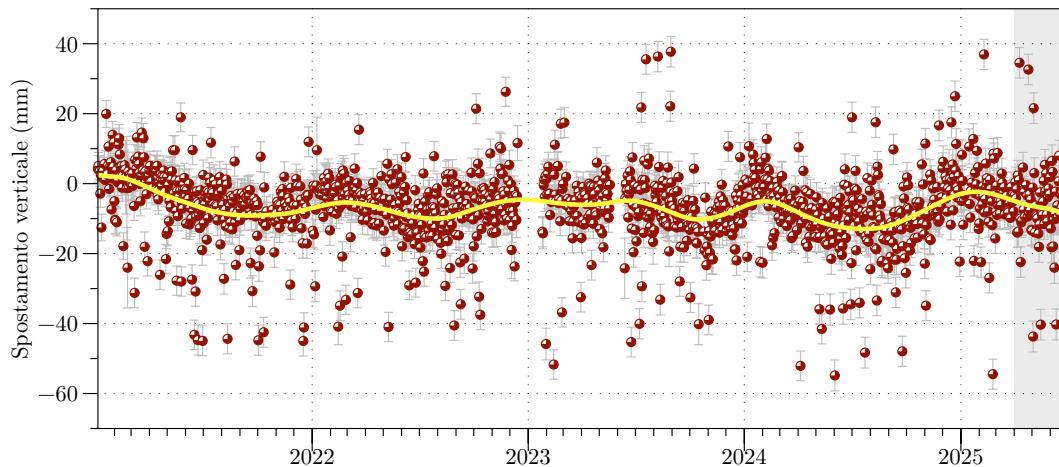


Figura 2.9: Serie temporale dello spostamento del ricevitore GNSS SP01 corretto dal moto di SP12, nelle componenti UP, aggiornata al 21 giugno 2025. In giallo la curva di regressione locale LOESS, scelta per fittare la distribuzione degli spostamenti ed usata per eliminare i valori anomali che ricadono fuori dai 3σ .

3 Analisi delle serie interferometriche sul Cluster-A, in relazione alla movimentazione di gas in esercizio della sovrappressione

Le serie temporali analizzate da TRE ALTAMIRA ed aggiornate al 28/06/25 evidenziano nell'area del giacimento di San Potito la presenza di movimenti differenziali di entità molto limitata, con velocità medie contenute entro pochi mm/anno. Esse sono state ulteriormente elaborate per meglio definire e visualizzare i trend di deformazione nell'intorno dell'impianto di stoccaggio di San Potito, Cluster-A.

La superficie che interpola gli spostamenti verticali subiti dai bersagli radar, durante i 3 mesi della fase di iniezione aprile - giugno 2025 nel Cluster-A (≈ -45.3 MSmc, Fig. 3.1), mostra le deformazioni del terreno nell'area del reservoir. La stima della variabile Z (spostamento verticale nel semestre di iniezione) è stata effettuata in corrispondenza dei nodi di una griglia rettangolare di dimensioni pari a 50 righe x 107 colonne, con nodi distanti 100 m. Dal momento che la variabile non presenta trend, tale stima è stata effettuata ricorrendo alla tecnica del Kriging stazionario, ed utilizzando un modello di semivariogramma gaussiano. Il risultato dell'interpolazione elimina i massimi di deformazione raggiunti dai singoli PS (si vedano figs 3.3 - 3.4), descrivendo una deformazione mediata del terreno, ma sicuramente più omogenea e realistica.

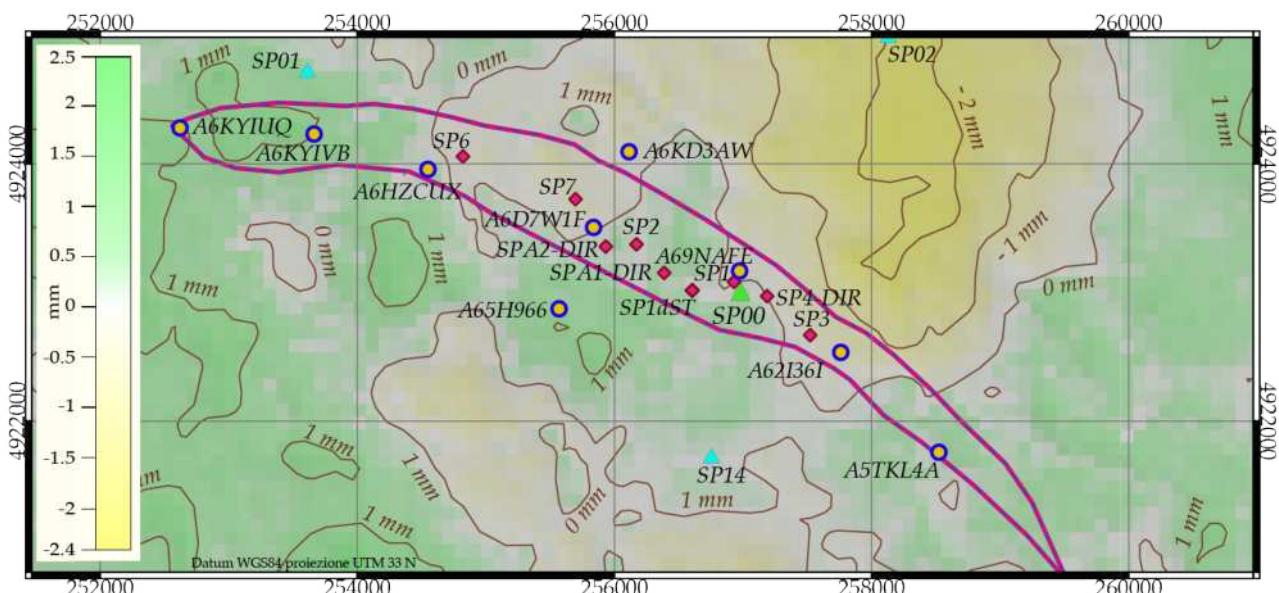


Figura 3.1: Superficie di spostamento verticale ottenuta tramite la serie temporale Sentinel-1: l'interpolazione utilizza lo spostamento cumulato da ogni bersaglio radar durante l'ultima fase di iniezione tra aprile e giugno 2025.

Vengono qui di seguito proposte tre tipologie di analisi del dato interferometrico:

- 1) la proiezione dei valori di spostamento (avvenuti tra l'inizio e la fine di ciascuna delle fasi di iniezione ed erogazione dello stoccaggio) dei 9 bersagli radar scelti come punti di controllo per la modellazione geomecanica, proiettati lungo 2 sezioni (CC' e DD' in figura 3.2), che permettono di visualizzare e

controllare l'entità delle deformazioni in tutte le aree del reservoir.

- 2) l'analisi della serie temporali dei PS A6D7W1F, A6DTBN4, A68GF75, A6EER91, A68GF7C distribuiti nell'intorno del pozzo direzionato San Potito A2-DIR (cerchio arancio nella mappa di Fig. 3.2 e Fig. 3.5), perforato sulla culminazione strutturale del reservoir di San Potito.
- 3) la proiezione dei valori di spostamento (avvenuti tra l'inizio e la fine di ciascuna delle fasi di iniezione ed erogazione dello stoccaggio) lungo il profilo CC' di tutti i bersagli radar che, all'interno dell'area di reservoir, sono limitrofi alla traccia del profilo stesso (fig. 3.6).

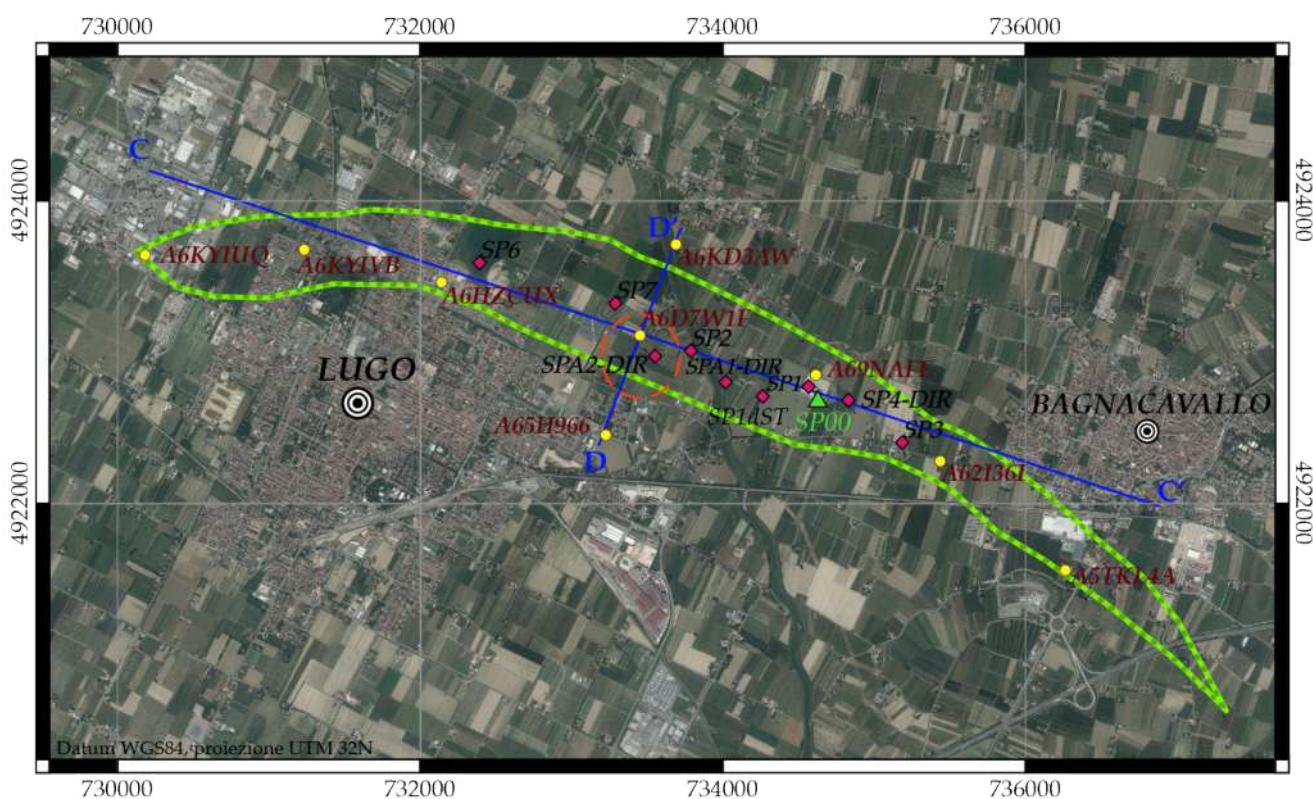


Figura 3.2: Mappa della proiezione in superficie del top del giacimento di San Potito, con la posizione dei fondo pozzo in fucsia; in giallo i bersagli radar della serie Sentinel-1 aggiornata al 28/06/25, i cui spostamenti sono stati proiettati lungo i profili CC' e DD' per creare le figure 3.3 e 3.4: essi sono 9 dei 12 bersagli utilizzati come punti di controllo nella modellizzazione geomeccanica dell'area di San Potito; il cerchio arancio delimita l'area in cui ricadono i bersagli radar analizzati in figura 3.5.

Le figure 3.3 e 3.4 analizzano il comportamento dei 9 bersagli radar scelti come riferimento per la modellazione geomeccanica. Da queste figure si può osservare come, durante le fasi di iniezione ed erogazione analizzate, gli spostamenti dei 9 bersagli radar della serie Sentinel-1 proiettati lungo i profili CC' e DD', abbiano mediamente valori contenuti entro ± 4 mm tra una fase e l'altra, con massimi fino a + 8.7 e - 8.6 mm. In questo trimestre di iniezione si evidenzia il massimo storico generale di sollevamento (8.7 mm), registrato dal PS A6KD3AW, ed i massimi storici individuali per i PS A69NAFE e A6KYIVB (rispettivamente + 8.6 e + 7.3 mm). Il PS A6HZCUX, posizionato a ≈ 2070 m lungo il profilo CC', continua ad essere (vedi precedente documento

"Report14004COT01-GEOPH-EDIS0-DV26-REV00") quello più stabile, con variazioni di quota topografica contenute tra + 1 e - 3 mm avvenute durante ciascuna fase di stoccaggio (0.5 mm in questa fase di iniezione, Fig. 3.3).

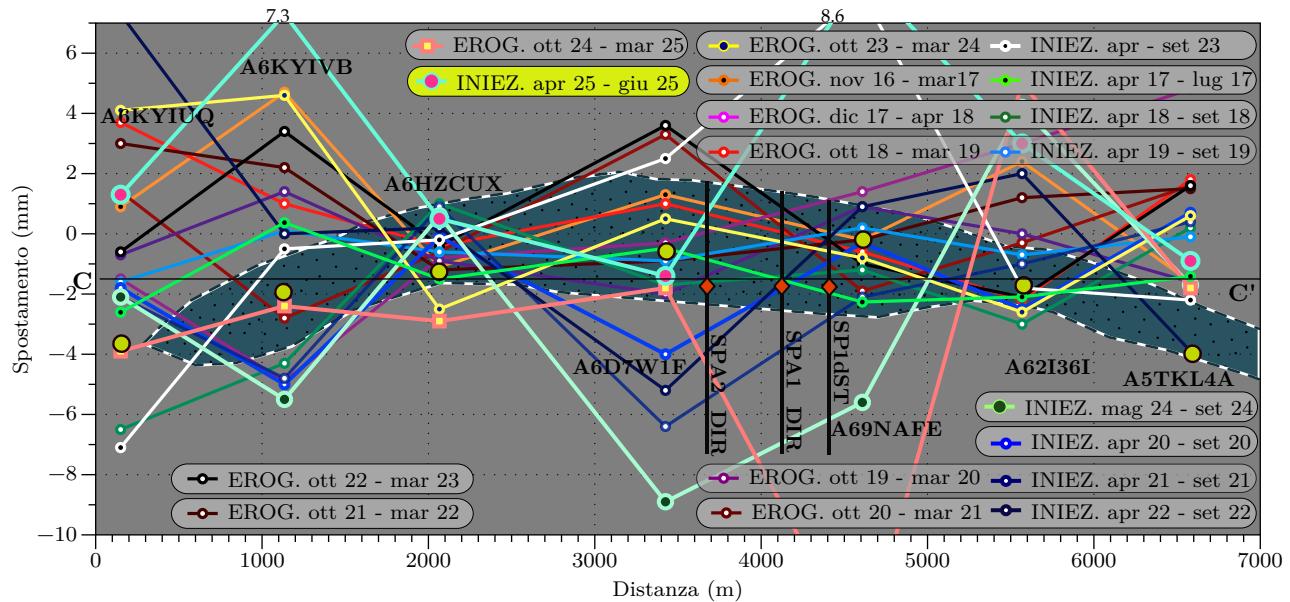


Figura 3.3: Spostamenti di 7 dei 9 bersagli radar di controllo per la modellazione geomeccanica, proiettati lungo la sezione CC' (mappa di Fig. 3.2); in azzurro verde e blu gli spostamenti avvenuti durante le fasi di iniezione; in giallo - bordeaux quelli durante le fasi di erogazione: le serie sono riportate a zero all'inizio di ogni fase. Le linee nere localizzano i pozzi San Potito SPA1-DIR e SPA2-DIR e SP1dST. In color ottanio l'area del reservoir messa in pianta per visualizzare la posizione dei 9 bersagli rispetto ad essa: la mappa e la posizione dei bersagli di riferimento (punti giallo/bordeaux) sono ruotate di pochi gradi verso NW per sovrapporre la sezione CC' all'asse delle ascisse della figura.

Il PS A6D7W1F, posto nella porzione più centrale del campo (Figs. 3.3 e 3.4), mostra spostamenti contenuti tra + 3 e - 4 mm durante le fasi di iniezione e di erogazione (con il minimo storico che ha raggiunto - 8.6 mm nella fase di iniezione aprile - settembre 2024). Tali spostamenti non appaiono però influenzati dall'attività di stoccaggio in maniera univoca, non coincidendo sempre la risposta attesa rispetto al tipo di fase di movimentazione di gas: per esempio durante questo trimestre di monitoraggio, A6D7W1F va in abbassamento di - 1.4 mm, in disaccordo con la fase di iniezione (tuttavia, nel semestre precedente si era abbassato di - 2 mm in accordo con la fase di erogazione). In altri semestri precedenti: aprile - settembre 2021 si era abbassato di - 5 mm in fase di iniezione; semestre ottobre 2022 - marzo 2023 e ottobre 2021 - marzo 2022, si era invece sollevato di + 3.8 e + 3.6 mm, in fase di erogazione).

Anche tutti gli altri PS non mostrano una evidente corrispondenza tra la tipologia di fase di stoccaggio ed il tipo di spostamento avvenuto, con sollevamento e subsidenza che avvengono entrambi sia durante l'erogazione che durante l'iniezione, con entità mediamente comprese tra ± 9 mm.

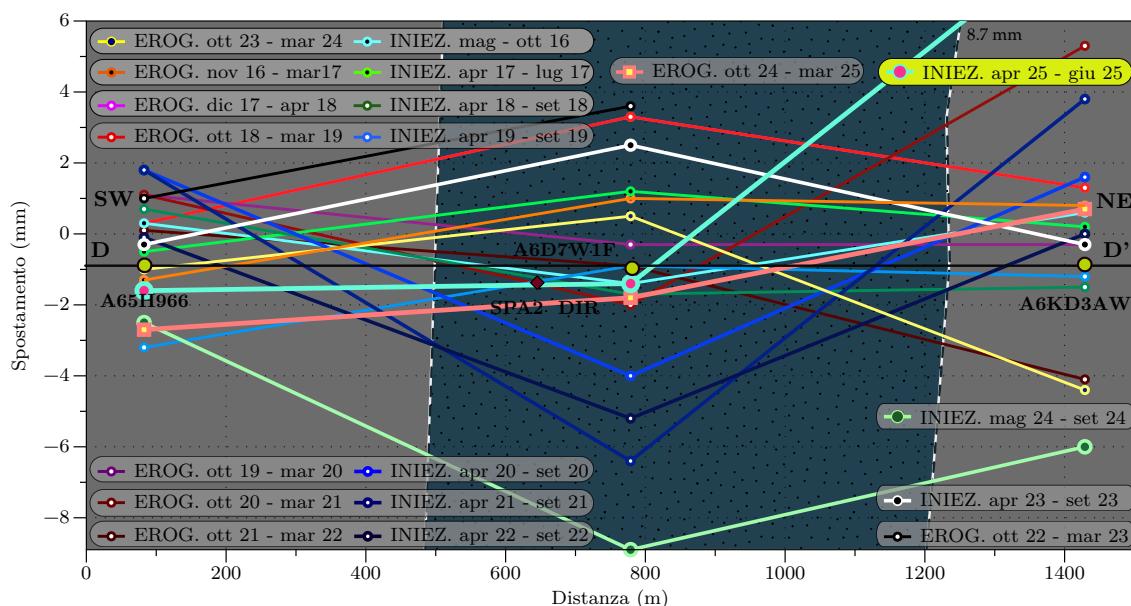


Figura 3.4: Spostamenti di 3 dei 9 bersagli radar di controllo per la modellazione geomeccanica, proiettati lungo la sezione DD' (mappa di Fig. 4.9); in azzurro, verde e blu gli spostamenti avvenuti avvenuti durante le fasi di iniezione; in giallo - bordeaux quelli durante le fasi di erogazione: le serie sono riportate a zero all'inizio di ogni fase. In color ottanio l'area del reservoir messa in pianta per visualizzare la posizione dei 9 bersagli rispetto ad essa: la mappa e la posizione dei bersagli di riferimento (in giallo/bordeaux) sono ruotate di ≈ 70 gradi verso E, per sovrapporre la sezione DD' all'asse delle ascisse della figura.

Osservando l'andamento della serie temporale media dei bersagli radar A6D7W1F, A6D7W1Q, A6DTBN4, A68GF75, A6EER91, A68GF7C, i sei PS più adiacenti al pozzo San Potito A2 DIR sulla culminazione strutturale del Cluster-A (Fig. 3.5), si nota un comportamento degli spostamenti non in fase con l'iniezione di gas nel Cluster-A, tra aprile e giugno 2025: essi registrano infatti un abbassamento di ≈ -3.5 mm.

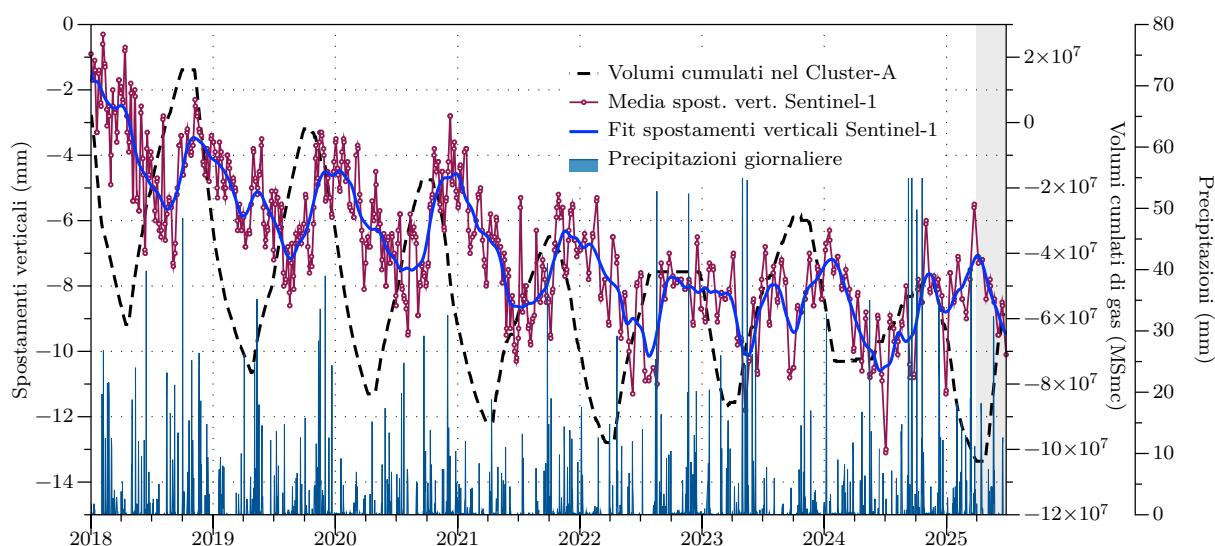


Figura 3.5: Serie temporale di spostamento medio dei sei bersagli radar A6D7W1F, A6D7W1Q, A6DTBN4, A68GF75, A6EER91, A68GF7C che circondano il pozzo San Potito A2 DIR (cerchio arancio in figura 3.2), al di sopra della culminazione strutturale del giacimento, in relazione alla movimentazione di gas ed alle precipitazioni; confronto con la stazione GNSS SP00.

Osservando nel complesso l'andamento della serie verticale (curva blu di fit in fig. 3.5) si nota una ciclicità abbastanza regolare, più netta fino al 2022, che sembra meglio correlarsi con le variazioni meteo-climatiche stagionali che con i cicli dello stoccaggio. Per provare ad osservare in modo continuo le deformazioni effettive dei PS nell'area del reservoir, si è provato a proiettare lungo il profilo longitudinale CC' gli spostamenti di tutti i PS limitrofi ad esso (fig. 3.6). Come si può notare, in figura vengono mostrate le deformazioni del terreno negli ultimi 2 cicli di erogazione ed iniezione. Lungo l'asse della distanza, tra 3000 e 5000 metri (culminazione strutturale del reservoir), non si notano spostamenti che descrivono una correlazione tra tipologia di ciclo e verso della deformazione: ovvero non si osservano bolle di subsidenza o sollevamento conseguenti rispettivamente alla compattazione durante l'erogazione e alla dilatazione durante l'iniezione.

Nel trimestre in esame, gli spostamenti verticali registrati nell'area di San Potito risultano dunque non correlabili con la movimentazione di gas operata nel giacimento, né in termini spaziali, né temporali.

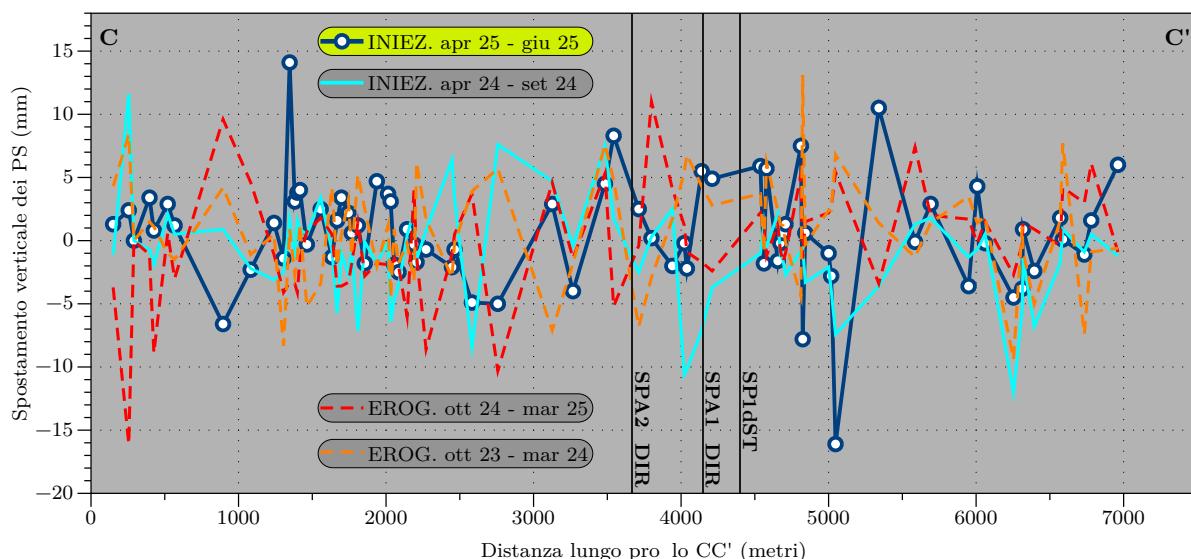


Figura 3.6: Spostamenti di 76 bersagli radar distribuiti nell'area del reservoir, lungo la sezione CC', proiettati lungo di essa (mappa di Fig. 3.2); in ciano e blu gli spostamenti avvenuti avvenuti durante le ultime 2 fasi di iniezione; in arancio e rosso quelli durante le ultime 2 fasi di erogazione: le serie sono riportate a zero all'inizio di ogni fase. Le linee nere localizzano i pozzi San Potito SPA1-DIR, SPA2-DIR e SP1dST.

La componente orizzontale delle serie Sentinel-1 è analizzata nella figura 3.7, nella quale vengono mostrati gli spostamenti medi dei bersagli radar localizzati immediatamente ad ovest ed immediatamente ad est dei tre pozzi di iniezione attivi. Come si può notare, entrambe le medie di spostamento descrivono un blando movimento verso ovest (≈ 1 mm i PS ad ovest e ≈ 4 mm i PS ad est). Nella zona ad ovest, si sottolinea che, analizzati singolarmente, i 2 PS A6D7W1F e A6EER91 si spostano verso ovest di 2.5 mm e verso est di 1.2 mm, rispettivamente; nella zona ad est il solo PS A679K07 si sposta verso est di ≈ 3 mm, in fase con la iniezione di gas.

In generale, non si osserva né una chiara e regolare ciclicità nell'entità degli spostamenti di queste serie orizzontali, né alcuna correlazione con le fasi della movimentazione di gas.

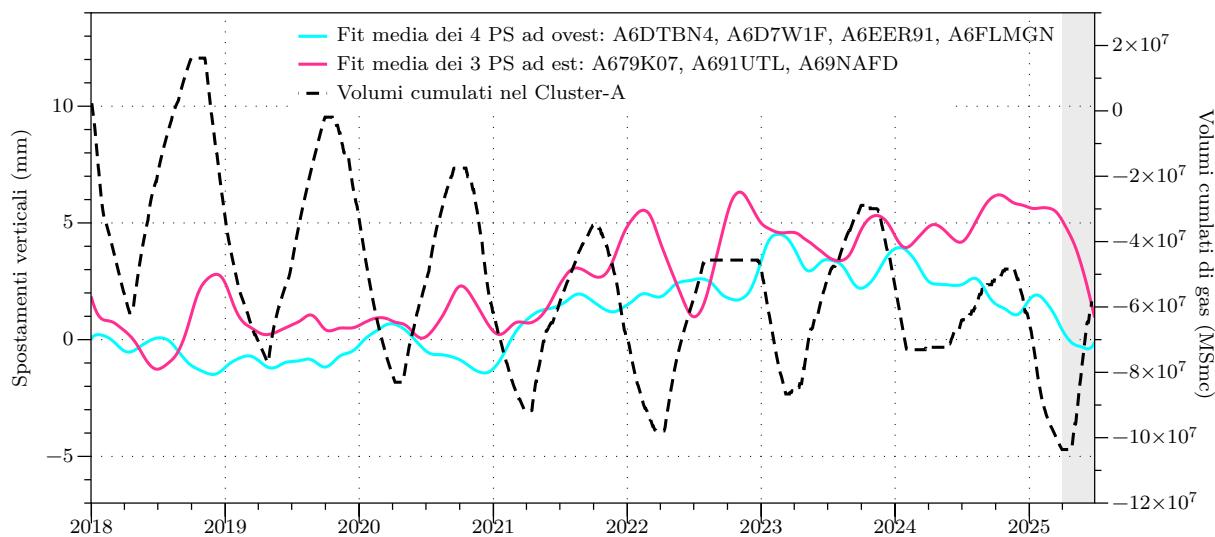


Figura 3.7: Spostamenti orizzontali dei bersagli radar distribuiti immediatamente ad ovest (linea ciano) ed immediatamente ad est (linea fucsia) della culminazione strutturale del reservoir e dei pozzi di iniezione attivi SPA1-DIR, SPA2-DIR e SP1dST, durante l'ultima fase di iniezione aprile - giugno 2025.

4 Relazione di GPS e InSAR con la movimentazione di gas

Nel trimestre in esame, gli andamenti verticali delle serie GPS delle stazioni SP00 (linea verde in figura 4.1) e SP01 (linea gialla in figura 4.2) e la media degli spostamenti verticali dei bersagli radar InSAR individuati sulla culminazione strutturale del reservoir non sembrano spostarsi né rispetto ai cambi, né rispetto al verso delle deformazioni attesi dalla fase di stoccaggio (iniezione/erogazione). Le due tecniche di misura continuano ad essere confrontabili per entità delle deformazioni.

Nel periodo che va da inizio aprile al 21 giugno 2025, la stazione permanente SP00 non accumula in sostanza alcuna deformazione verticale, a fronte dell'iniezione di ≈ 45.3 Msmc nel Cluster-A. La media degli spostamenti verticali dei bersagli radar InSAR, localizzati sulla culminazione strutturale del reservoir, descrive nel trimestre un regolare abbassamento, che accumula una deformazione di ≈ -2.5 mm, non in fase con l'iniezione di gas nello stoccaggio e in leggero disaccordo con la serie GPS di SP00 (fig. 4.1). Il PS A67UZM3, situato a ≈ 40 metri da SP00 registra invece un sollevamento di ≈ 3 mm.

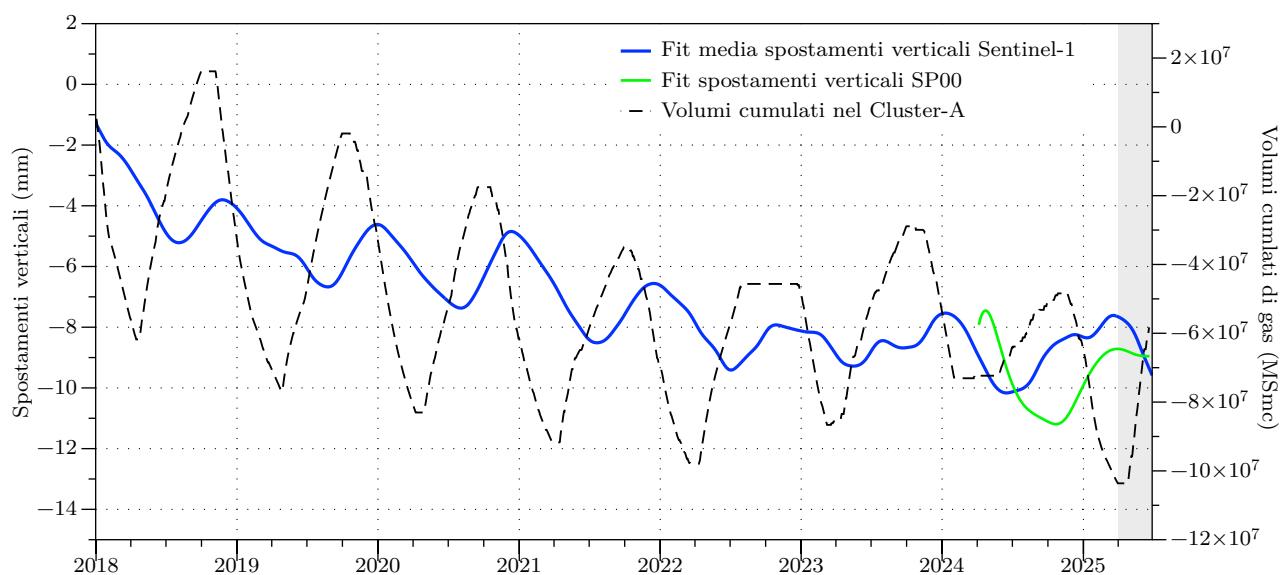


Figura 4.1: Confronto tra la serie temporale degli spostamenti verticali della stazione GPS SP00 e la media degli spostamenti verticali Sentinel-1 dei PS che si trovano sulla culminazione strutturale del reservoir, con la movimentazione di gas nel Cluster-A, al 28 giugno 2025.

La serie temporale verticale della stazione a singola frequenza SP01, che si trova nell'area nord-occidentale (appena esterna al campo), registra invece un abbassamento medio pari a ≈ -2.8 mm nel trimestre di iniezione in esame (Fig. 4.2). Essa mostra da una parte disaccordo sia con la fase di iniezione di gas nello stoccaggio, sia col PS B7EUW5G (posizionato ≈ 49 metri a nord di essa), dall'altra risulta in accordo con le deformazioni registrate dal PS A6QWUX6 (posizionato ≈ 220 metri ad est di essa): infatti, mentre B7EUW5G accumula una deformazione verticale di $\approx +2$ mm, A6QWUX6 si abbassa di ≈ -2 mm.

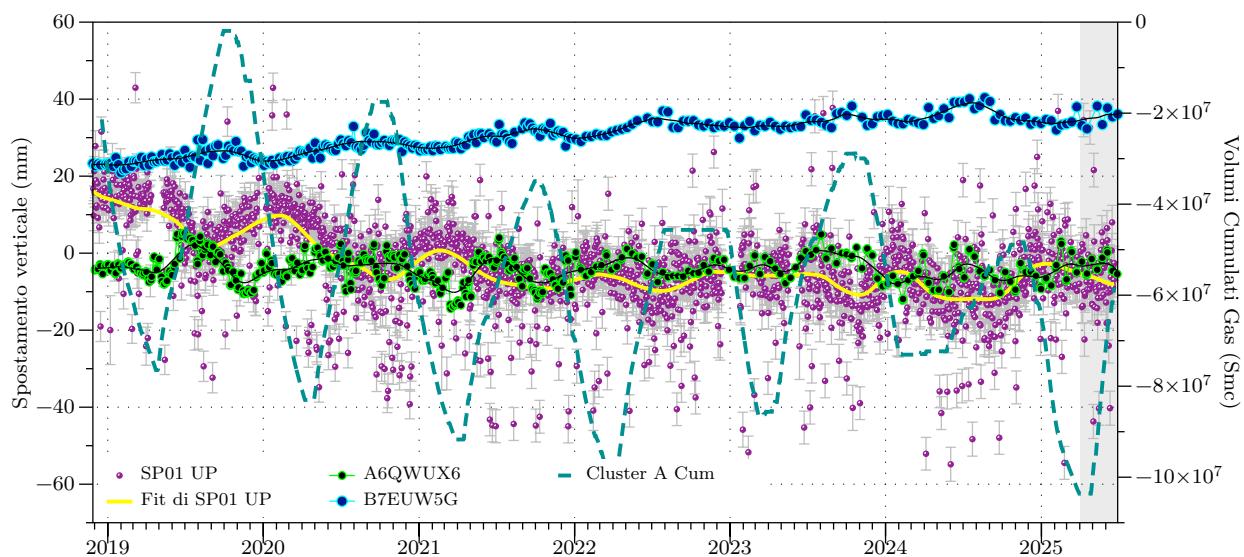


Figura 4.2: Confronto tra la serie temporale delle posizioni della stazione GNSS SP01 (componente verticale, corretta rispetto agli spostamenti di SP12) con la movimentazione di gas nel Cluster-A, con le serie Sentinel-1 ascendente (PS B7EUW5G posizionato a \approx 49 m da SP01) e verticale (PS A6QWUX6 posizionato a \approx 220 m E di SP01), al 28 giugno 2025.

Le serie temporali orizzontali di SP00 registrano una deformazione nulla nella componente nord ed uno spostamento di 3 mm verso est, in fase con l'iniezione (curva verde in fig. 4.3). La media degli spostamenti lungo la componente est-ovest dei PS situati nell'area di SP00 (media tra i bersagli radar A679K07, A691UTL, A69NAFD, individuati ad est della culminazione strutturale del reservoir) descrive deformazioni di entità confrontabile, ma con verso opposto (\approx 4 mm verso ovest, linea fucsia in figs. 3.7 e 4.3). La serie temporale orizzontale del PS A67UZM3 (curva blu in fig. 4.3) descrive invece nel trimestre uno spostamento verso ovest di \approx 3 mm.

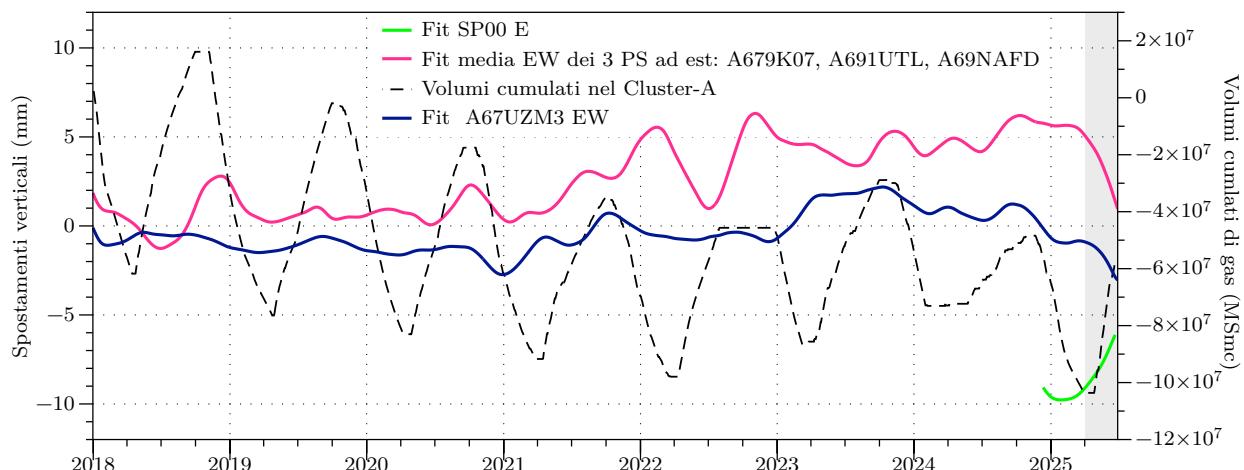


Figura 4.3: Confronto tra la serie temporale GPS degli spostamenti verso est della stazione SP00 e la media degli spostamenti orizzontali Sentinel-1 dei PS che si trovano vicino ad SP00, ad est della culminazione strutturale del reservoir, con la movimentazione di gas nel Cluster-A, al 28 giugno 2025.



Riassumendo, le serie temporali GPS e InSAR descrivono deformazioni confrontabili tra loro e di entità contenuta entro ± 4 mm, che non risultano correlabili con le fasi della movimentazione di gas nel reservoir; la variabilità nel verso degli spostamenti anche tra PS limitrofi o molto vicini, sembra essere dovuta a fenomeni locali.



5 Monitoraggio delle pressioni di poro dal 1 aprile al 31 luglio 2025

Cluster-A

Il monitoraggio delle pressioni statiche nel livello di stoccaggio viene eseguito attraverso i pozzi spia "SP 6dir" e "SP 3dir", al fine di verificare il non superamento dei limiti, fissati al 107% della pressione statica originaria. Nel corso della campagna di manutenzione 2025 si è constatato il malfunzionamento del sensore dedicato alla lettura della pressione del livello del BB1lower.

Gli interventi in campo hanno confermato che il sensore di fondo del pozzo SP6 (BB1lower) non risulta al momento utilizzabile ai fini del monitoraggio delle pressioni di fondo.

Il sensore permanente è stato rimpiazzato con un memory gauge, per il quale è stato definito un programma temporale di recupero e scarico dei dati (come da "Addendum alle Prove di Stoccaggio").

A seguito dell'estrazione e dello scarico dei dati dal gauge effettuati in data 01.07.2025, nell'andamento della pressione di fondo del pozzo SP6dir livello BB1lower è stata notata una serie di bruschi salti, con improvviso incremento dei valori.

Tale comportamento anomalo del sensore si è già verificato negli anni precedenti ed è attribuibile alla presenza nel tubing di piccoli quantitativi di gas pressurizzato che esercitano una pressione addizionale sulla colonna di liquido sovrastante il sensore.

A partire dal 02.07.2025 l'iniezione sul livello BB1lower attraverso la string lunga del pozzo SPTA2dir è stata sospesa, mentre si è proceduto alle operazioni di graduale depressurizzazione del pozzo SP6dir.

La pressione statica di giacimento nel corso dell'iniezione viene calcolata come segue a partire dalle misure eseguite nei pozzi spia, tenendo conto delle indicazioni fornite precedentemente:

- nel livello BB1upper (Fig. 5.1), come media aritmetica delle pressioni riportate al datum delle misure eseguite nei pozzi "SP 3dir" (Upper gauge), "SP 6dir" (Upper gauge), "SP7 Upp-SL" (Stringa Lunga);

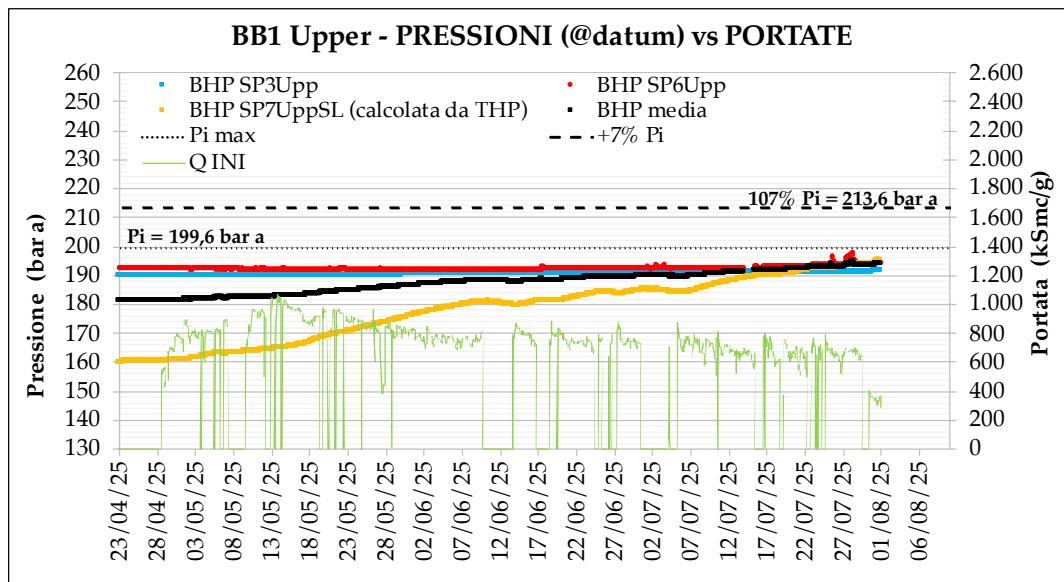


Figura 5.1: Livello BB1upper. Andamento pressioni singoli pozzi e pressione media statica (curva nera); in verde i volumi iniettati nel livello

- nel livello BB1lower (Fig. 5.2), come media aritmetica delle pressioni riportate al datum delle misure eseguita nei pozzi "SP 3dir" (Lower gauge) e "SP 6dir" (Lower gauge) fino al 27.07.2025, "SP 3dir" (Lower gauge) e "SPTA2 dir SL" (pressione di fondo calcolata da pressione statico di testa) a partire dal 28.07.2025

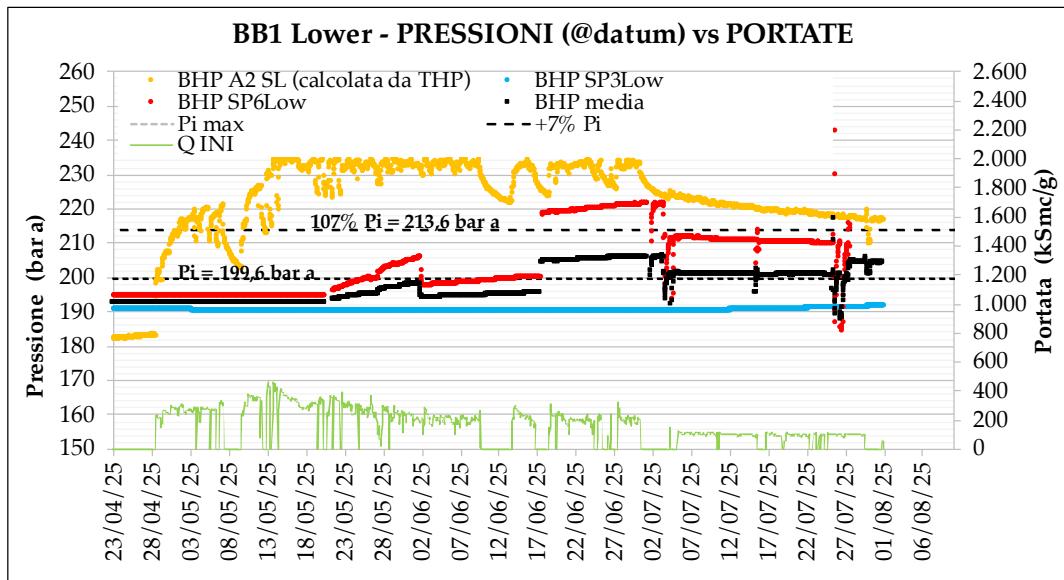


Figura 5.2: Livello BB1lower. Andamento pressioni singoli pozzi e pressione media statica (curva nera); in verde i volumi iniettati nel livello

5.1 Relazioni tra pressioni e volumi nei livelli di stoccaggio

Di seguito vengono fornite due immagini che evidenziano la relazione tra i volumi movimentati e l'andamento delle pressioni statiche medie all'interno dei due livelli di stoccaggio del Cluster-A.

Nel livello BB1upper (Fig. 5.3) la pressione statica media nel livello sale di ≈ 15 bar a fronte di ≈ 53.6 MSmc iniettati.

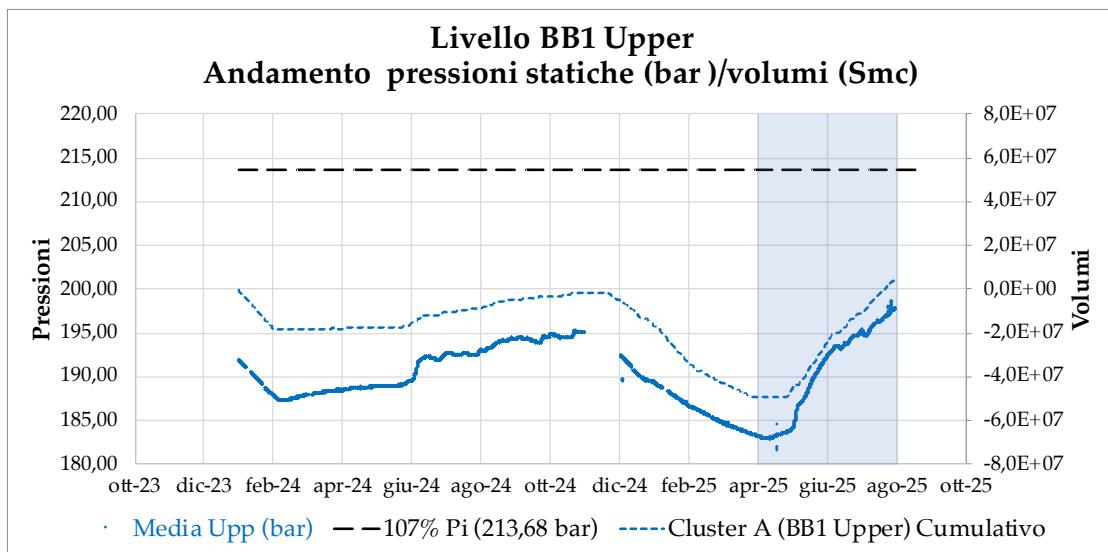


Figura 5.3: Livello BB1upper. Andamento pressione statica media e volumi cumulati da gennaio 2024. In azzurro evidenziato il periodo aprile-luglio 2025.

Nel livello BB1lower (Fig. 5.4) la pressione statica media nel livello sale di ≈ 13 bar a fronte di ≈ 14.2 MSmc iniettati.

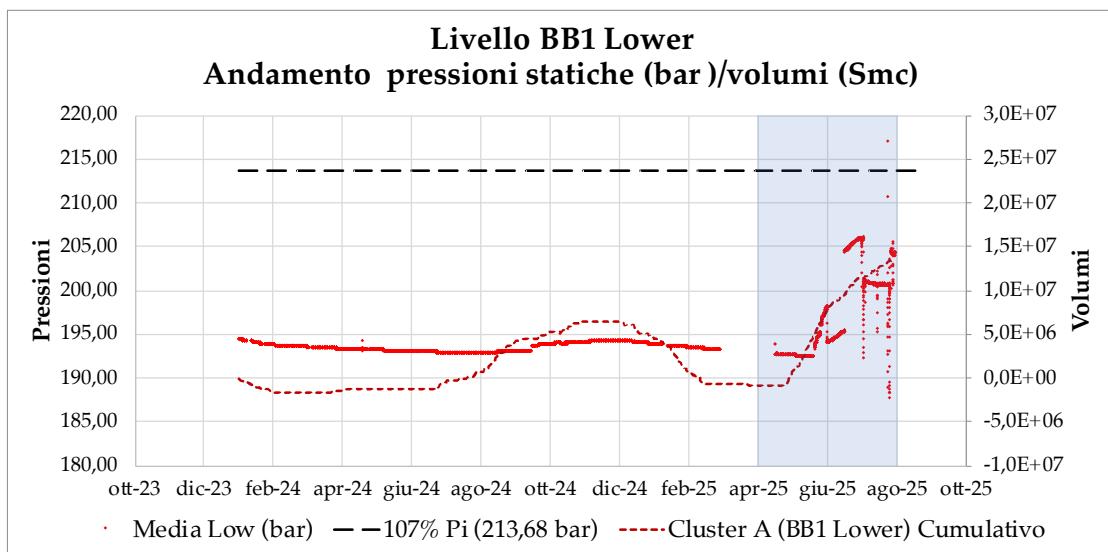


Figura 5.4: Livello BB1lower. Andamento pressione statica media e volumi cumulati da gennaio 2024. In azzurro evidenziato il periodo aprile-luglio 2025.



Questi andamenti sono da ritenersi soltanto indicativi e bisognerà attendere il termine del periodo di iniezione (a riposo) per valutare in maniera esaustiva la risposta delle pressioni statiche alla movimentazione del gas.

Le prescrizioni da rispettare (prot. DVA-DEC-2019-0000075 del 13.03.2019) in termini di pressioni di poro prevedono il non superamento delle pressioni statiche di giacimento del 7% rispetto alla pressione statica originaria. La pressione statica originaria del giacimento BB1 è 203.6 kg/cm^2 (199.7 bar). Il limite non superabile è pertanto fissato a 214 bar, per il primo anno di prove di iniezione.

Nel trimestre in esame (fine aprile - luglio 2025) la pressione statica media del livello BB1lower ha superato il limite del 107% Pi in concomitanza con il recupero della sonda dal lower gauge del pozzo SP6, a partire dal 15.07.2025 (oggetto di comunicazione in data 21.07.2025) ed effettuato in data 27.07.2025 (Fig. 5.4) . Tuttavia il superamento registrato sul dato orario è dovuto esclusivamente alle operazioni slickline in concomitanza con l'estrazione del gauge e riflettono una situazione temporanea creatasi all'interno del pozzo stesso; la media giornaliera non ha comunque mai superato i limiti imposti.



6 Conclusioni

A fine luglio 2025 la strumentazione installata presso il Cluster-A continua ad essere funzionante.

Nel trimestre in esame (fine aprile - luglio 2025), la pressione statica media dei livelli BB1upper e BB1lower è risultata nei limiti imposti del 107% (214 bar) rispetto alla pressione originaria di giacimento (199.7 bar), a fronte di \approx 67 Milioni di Smc iniettati tra il 28 aprile ed il 31 luglio 2025. Al 21 giugno, data di interruzione nel processing del dato GPS, erano stati iniettati \approx 43.5 MSmc.

Durante il trimestre, uno dei sensori della pressione statica ha evidenziato dei malfunzionamenti (lower gauge SP6). Pertanto la società ha deciso di sospendere l'iniezione da uno dei pozzi nel livello BB1lower, per utilizzarlo come pozzo di monitoraggio.

Per quanto concerne la lettura del dato di fondo in continuo, nella porzione più occidentale del campo (SP6), si stanno studiando alternative al riposizionamento/recupero del sensore permanente di fondo, sostituendolo ad esempio con memory gauge wireless.

Dal 5 aprile 2024 è attiva sul Cluster-A la nuova stazione permanente a tripla frequenza SP00. La stazione SP00, posizionata sul Cluster-A, ha valori di MP1 e MP2 in linea con gli standard IGS di una stazione di buona qualità. La brevità della sua serie temporale (13 mesi) non è ritenuta sufficiente dalla comunità scientifica per ottenere una stima realistica delle velocità medie di spostamento attese localmente; le deformazioni da essa cumulate nel trimestre lungo la componente verticale risultano comunque pari a \approx 0 mm, in contrasto con la fase di iniezione.

Le serie temporali delle componenti orizzontali di SP00 descrivono un allontanamento dal centro del giacimento, potenzialmente in accordo con l'attività di iniezione (spostamento di \approx 3 mm verso est).

La stazione GNSS SP12 funziona da 6.6 anni ed anche i suoi valori di MP1 e MP2 sono in linea con gli standard IGS di una stazione di buona qualità. La lunghezza della sua serie temporale è ritenuta sufficiente dalla comunità scientifica per ottenere una stima realistica delle velocità medie di spostamento attese localmente: riportiamo la stima della velocità verticale che è pari a \approx - 6.825 mm/anno.

Le stazioni rover GNSS a singola frequenza sono attive da 6.6 anni: i loro spostamenti GPS, calcolati rispetto a SP12, risultano affetti dai movimenti anomali di quest'ultima avvenuti nei periodi precedenti. Per tale motivo, il moto di SP12 è stato considerato e rimosso dalle serie temporali delle stazioni a singola frequenza, per meglio confrontare i loro spostamenti con gli altri dati di monitoraggio. La serie temporale verticale della stazione rover a singola frequenza SP01, che si trova nell'area nord-occidentale (esterna, ma la più vicina al campo), registra un abbassamento medio pari a \approx - 2.8 mm, in contrasto con la fase di iniezione del trimestre in esame.

Le serie temporali di interferometria (aggiornate all'intervallo temporale 30/03/2015 - 28/06/2025, satellite Sentinel-1), evidenziano sul Cluster-A deformazioni geodetiche mediamente contenute entro $i \approx \pm 4$ mm (con massimi fino a + 8 e - 14 mm); tali deformazioni, sia lungo la componente verticale che orizzontale, non sono



correlabili con la fase di iniezione in esame, né in termini di tempo, né di distribuzione nello spazio. Sulla culminazione strutturale del reservoir, nei pressi del pozzo SP2DIR, la media degli spostamenti verticali dei bersagli radar descrive, nel trimestre aprile - giugno 2025, una deformazione di ≈ -3.5 mm, in disaccordo con l'innalzamento atteso durante una fase di iniezione, e in accordo con la compattazione stagionale. Lungo la componente orizzontale si muovono verso ovest sia i bersagli radar ad ovest del centro del giacimento che quelli ad est, questi ultimi addirittura con spostamenti di entità maggiore (4 vs 1 mm): non si evidenzia dunque l'atteso allontanamento dei PS dal centro del reservoir.

In generale, le serie temporali GPS e InSAR, sia nella componente verticale che orizzontale, descrivono deformazioni confrontabili tra loro e di entità mediamente contenuta entro ± 4 mm, che non risultano correlabili con le fasi della movimentazione di gas nel reservoir.



Bibliografia

- Blewitt, G., and D. Lavallee (2002), Effect of annual signals on geodetic velocity, *J. Geophys. Res.*, 107(B7), 2145, doi:10.1029/2001JB000570.
- Herring, T. A., R. W. King, and S. C. McClusky. "Introduction to gamit/globk." Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts (2010).
- Serpelloni, E., G. Vannucci, L. Anderlini, and R. A. Bennett (2016), Kinematics, seismotectonics and seismic potential of the eastern sector of the European Alps from GPS and seismic deformation data, *Tectonophysics*, 688(C), 157-181, doi:10.1016/j.tecto.2016.09.026.
- Vaclavovic P, Dousa J (2016), G-Nut/Anubis - open-source tool for multi-GNSS data monitoring In: *IAG Symposia Series, Springer*, Vol. 143, pp. 775-782, doi:10.1007/1345_2015_157.



Istituto Nazionale
di Oceanografia
e di Geofisica
Sperimentale



SUBSURFACE
GEOLOGY AND
GEOPHYSICS

STRUTTURA PREPOSTA AL MONITORAGGIO