

***Procedimento di Verifica di assoggettabilità a VIA per l'esecuzione di prove di iniezione nel giacimento BB1 di San Potito finalizzate all'ampliamento della capacità di stoccaggio***

**Controdeduzioni alle osservazioni della Regione Emilia Romagna e dell'Unione dei Comuni della Bassa Romagna**

## **Contenuti**

Osservazione 1 .....	2
Osservazione 2 .....	10
Osservazione 3 .....	12
Osservazione 4 .....	14
Osservazione 5 .....	15
Osservazione 6 .....	15
Osservazione 7 .....	16
Osservazione 8 .....	17
Osservazione 9 .....	17
Osservazione 10 .....	23
Osservazione 11 .....	27
Osservazione 12 .....	28
Osservazione 13 .....	29
Osservazione 14 .....	30
Osservazione 15 .....	30
Osservazione 16 .....	31

## **Allegati**

Allegato 1 – Analisi integrative dei processi geomeccanici nel campo di San Potito (M3E, 2018)

Allegato 2 – Verifica sorgente sismica ITIS 100 Bagnacavallo (GEOPHI, 2018)

Allegato 3 – Risultati monitoraggio microsismico luglio – novembre 2017 (SOLGEO, 2017)

Allegato 4 – Risultati monitoraggio microsismico dicembre 2017 – giugno 2018 (SOLGEO, 2018)

Allegato 5 – Parere dell’Università di Bologna e sintesi del progetto definitivo della rete microsismica

## Osservazione 1

*Il procedimento di valutazione di impatto ambientale sulla concessione di stoccaggio S. Potito-Cotignola è stato effettuato nel 2007, pertanto la coerenza del progetto rispetto alle prescrizioni e condizioni ambientali appaiono datate e sicuramente da aggiornare alla luce del mutato quadro programmatico e pianificatorio regionale (non sono stati considerati ad esempio il nuovo piano aria integrato regionale PAIR2020, il piano di gestione rischio alluvioni – PGRA e le modifiche e aggiornamenti del PTCP di Ravenna).*

### Risposta

Come richiesto dalla Regione sono state verificate le relazioni fra il progetto e la pianificazione territoriale in relazione ai seguenti Piani (si veda i paragrafi successivi):

- ✓ Piano Aria Integrato Regionale 2020 (PAIR 2020);
- ✓ Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA);
- ✓ Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Ravenna.

### **Piano Aria Integrato Regionale 2020 (PAIR 2020)**

#### **Contenuti ed Obiettivi**

Con Deliberazione No. 115 dell'11 aprile 2017 l'Assemblea Legislativa ha approvato il Piano Aria Integrato Regionale (PAIR2020), che è entrato in vigore dal 21 Aprile 2017, data di pubblicazione nel Bollettino Ufficiale delle Regione dell'avviso di approvazione (Regione Emilia Romagna, sito web: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it>).

Il Piano, che ha quale orizzonte temporale strategico di riferimento il 2020, prevede 94 misure per il risanamento della qualità dell'aria al fine di ridurre i livelli degli inquinanti sul territorio regionale e rientrare nei valori limite fissati dalla Direttiva 2008/50/CE e dal D. Lgs 155/2010.

L'obiettivo del PAIR è la riduzione delle emissioni, rispetto al 2010, del 47% per le polveri sottili (PM10), del 36% per gli ossidi di azoto, del 27% per ammoniaca e composti organici volatili, del 7% per l'anidride solforosa e di portare la popolazione esposta al rischio di superamento dei valori limite di PM<sub>10</sub> dal 64% del 2010 all'1% nel 2020.

Per raggiungere questi obiettivi, il PAIR mette in campo azioni e misure che vanno ad agire su tutti i settori emissivi e che coinvolgono gli attori del territorio regionale, dai cittadini alle istituzioni, dalle imprese alle associazioni, individuando misure articolate in sei ambiti di intervento principali:

- ✓ le città, la pianificazione e l'utilizzo del territorio;
- ✓ la mobilità;
- ✓ l'energia;
- ✓ le attività produttive;
- ✓ l'agricoltura;
- ✓ gli acquisti verdi nelle Pubbliche amministrazioni (Green Public Procurement).

In attuazione degli articoli 3 e 4 del D. Lgs 155/2010, il territorio regionale è stato suddiviso nell'agglomerato di Bologna e nelle tre zone dell'Appennino, della Pianura Est e della Pianura Ovest, caratterizzate da condizioni di qualità dell'aria e meteorologiche omogenee.

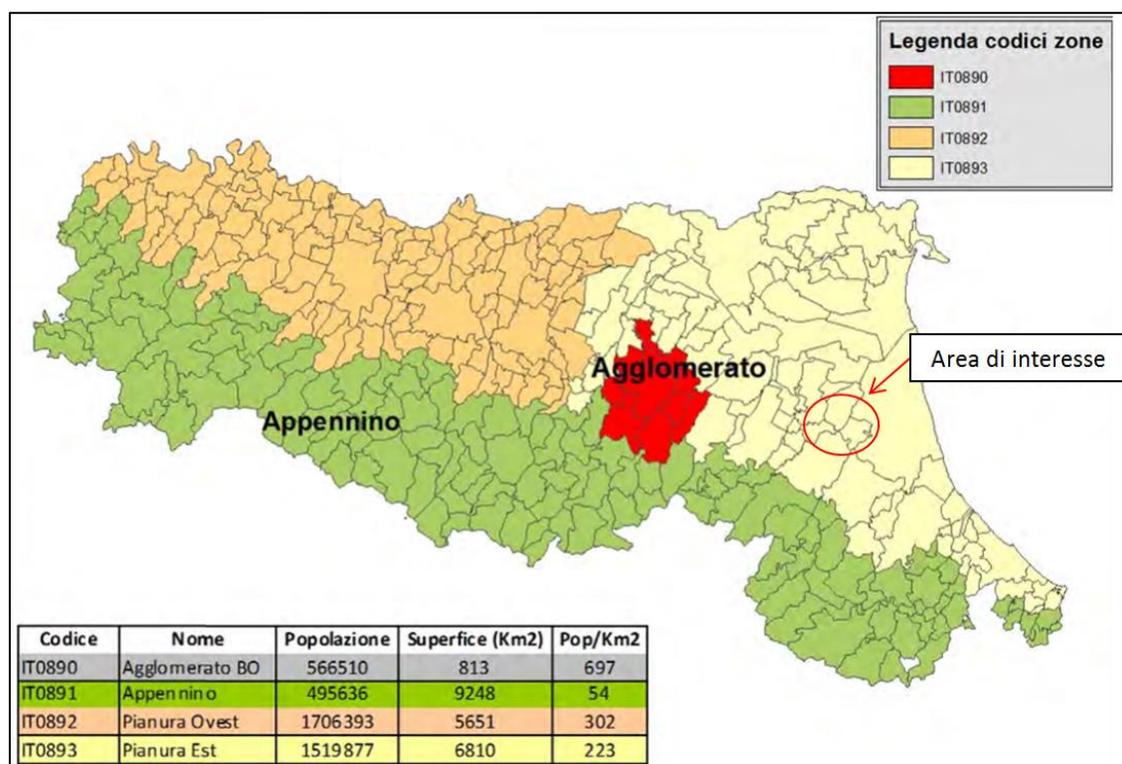
Per l'efficace applicazione delle misure volte alla tutela della qualità dell'aria, nell'ambito del territorio regionale, sono state individuate, su base comunale, le "aree di superamento" di PM<sub>10</sub> e di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>).

Tali aree vengono indicate quali Zone di Intervento Prioritario per il Risanamento della Qualità dell'Aria, stabilendo che al conseguimento degli obiettivi di qualità dell'aria ambiente devono contribuire anche gli strumenti di pianificazione regionale settoriale con particolare riferimento ai settori dei trasporti, energia, industria, agricoltura, edilizia ed urbanistica. Nella redazione di detti strumenti e delle loro revisioni la Regione deve tenere conto, nell'individuazione delle misure e degli interventi che li caratterizzano, anche della necessità del conseguimento dei valori limite per il biossido di azoto ed il PM<sub>10</sub> nei termini previsti dalla normativa comunitaria.

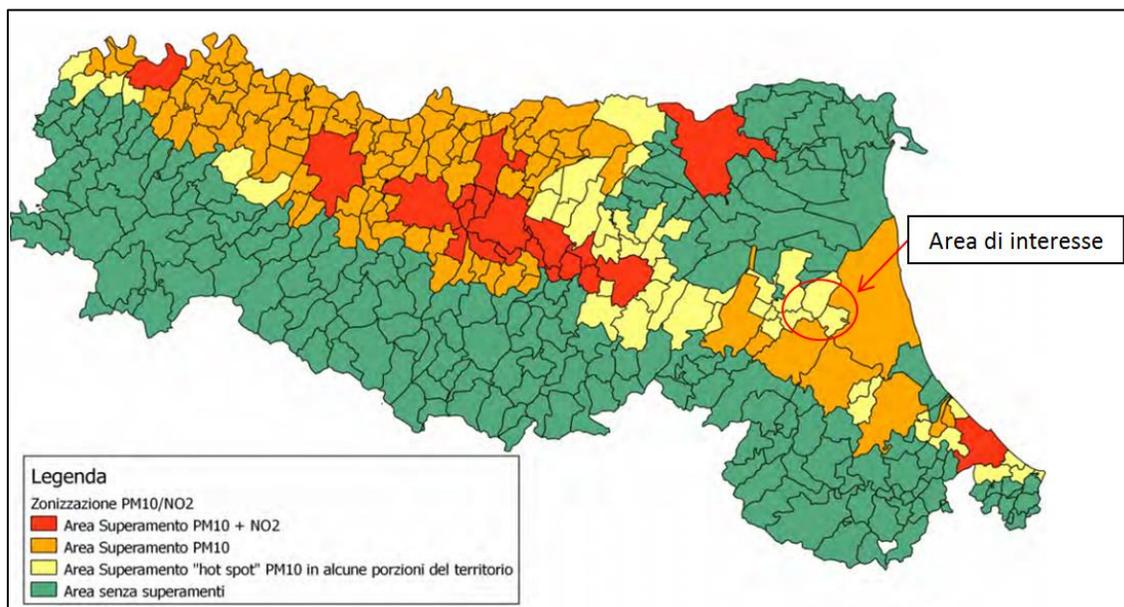
### Relazioni con il Progetto

Nelle figure che seguono sono riportate le zonizzazioni del territorio regionale:

- ✓ prevista ai sensi del D. Lgs 155/2010;
- ✓ relativa alle "Aree di Superamento" di PM<sub>10</sub> e di Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>).



Zonizzazione del Territorio Regionale ai Fini della Tutela della Qualità dell'Aria ai sensi del D. Lgs 155/2010 (DGR 2001/2011)



*Aree di Superamento dei Valori Limite per PM10 e NO2 (DAL 21/2011; DGR 362/2012)*

Sulla base di quanto sopra riportato, il territorio comunale di Bagnacavallo di interesse per il progetto in esame:

- ✓ ricade nell'ambito della zona "Pianura Est";
- ✓ interessa aree di superamento "hot spot" di PM10.

Con particolare riferimento all'ambito di intervento produttivo il piano prevede, tra le altre, le seguenti misure applicabili alle zone di territorio di interesse:

- ✓ misure specifiche per aziende soggette ad AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale),
- ✓ revisione dei criteri regionali di autorizzabilità,
- ✓ riduzione delle emissioni di COV,
- ✓ contrasto alle emissioni di polveri diffuse,
- ✓ promozione di accordi d'area e territoriali.

Nello specifico, le Norme Tecniche di Attuazione per le Attività Produttive (Sezione III) prevedono che, nelle aree di superamento:

- ✓ per le attività soggette ad AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale), le autorità competenti al rilascio dell'autorizzazione possono prevedere, per nuove installazioni o per modifiche sostanziali di installazioni esistenti, limiti per NO<sub>x</sub>, Polveri e SO<sub>2</sub> più restrittivi rispetto ai documenti di riferimento BAT "Best Available Techniques" (art. 19-Punto 1);
- ✓ per installazioni caratterizzate da specifiche quantità di emissioni (Polveri: 50t/anno; NO<sub>x</sub>: 100 t/anno; SO<sub>2</sub> 150 t/anno) e soggette alle indicazioni previste dalle BAT di interesse, si pone l'obbligo di conformarsi agli indirizzi elaborati da uno specifico Tavolo permanente (costituito da enti interessati e associazioni di categoria), per un adeguamento progressivo degli impianti che tenda,

nei limiti in cui sia tecnicamente possibile, alle prestazioni migliori in termini di emissioni tra quelle previste nelle BAT (art. 19-Punto 2);

- ✓ per gli impianti assoggettati a Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA), la procedura si può concludere positivamente qualora il progetto presentato preveda le misure idonee a mitigare o compensare l'effetto delle emissioni introdotte, con la finalità di raggiungere un impatto sulle emissioni dei nuovi interventi ridotto al minimo. Il proponente del progetto sottoposto alla procedura di VIA ha l'obbligo di presentare una relazione relativa alle conseguenze in termini di emissioni per gli inquinanti PM10 ed NOx del progetto stesso (art. 20-Punti 2 e 3). Si evidenzia che, come precisato nella Relazione Generale di Piano (Par. 9.7.1), tale obbligo non si applica ai piani e progetti sottoposti a Verifica di Assoggettabilità.

#### **In merito al progetto in esame si evidenzia che:**

- ✓ non è soggetto ad AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale);
- ✓ le emissioni previste per il progetto originario autorizzato in ambito VIA (circa 8.3 t/anno di NOx e circa 0.16 t/anno per le Polveri) risultano sensibilmente inferiori alle soglie indicate all'art. 19-punto 2;
- ✓ il progetto in esame è sottoposto a procedura di Assoggettabilità a VIA e pertanto non è soggetto all'obbligo di predisposizione della relazione relativa alle conseguenze in termini di emissioni.

In considerazione di quanto sopra e di quanto già indicato nell'ambito dello Studio Preliminare Ambientale (Doc. No. P0007414-1-H1 Rev. 0 - Marzo 2018), ossia che:

- ✓ l'effettuazione delle prove di iniezione in sovrappressione dello Stoccaggio di San Potito non comporteranno variazioni nelle emissioni in atmosfera già autorizzate per il progetto di conversione a Stoccaggio di San Potito e Cotignola;
- ✓ l'esercizio dello stoccaggio di San Potito e Cotignola è caratterizzato comunque dall'emissione di modeste quantità di inquinanti in atmosfera in quanto i compressori sono ad alimentazione elettrica;

**DA QUANTO SOPRA RISULTA CHE IL PROGETTO NON È IN CONTRASTO CON LE INDICAZIONI DEL PAIR 2020.**

#### **Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)**

##### ***Contenuti ed Obiettivi***

Il PGRA è lo strumento di pianificazione previsto nella legislazione comunitaria dalla Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il D. Lgs 49/2010.

In Regione Emilia Romagna, i Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni PGRA (art. 7 Direttiva 2007/60/CE e D.Lgs 49/2010) sono stati adottati il 17 Dicembre 2015 e successivamente approvati il 3 Marzo 2016 dai Comitati Istituzionali delle Autorità di Bacino Nazionali.

Per l'area interessata dal progetto il PGRA fa riferimento al territorio di competenza dell'Autorità di bacino del Fiume Reno (UoM ITI021). A tal riguardo si evidenzia che dal 17 Febbraio 2017 (con la pubblicazione nella G.U.R.I. n. 27 del 2 Febbraio 2017) è entrato in vigore il D.M. 25 Ottobre 2016 che disciplina l'attribuzione e il trasferimento della soppressa Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Reno alla Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po.

Il piano si compone di:

- ✓ una relazione generale (e relativi allegati) e le misure relative alle fasi del ciclo di gestione del rischio di prevenzione e protezione (Parte A);
- ✓ una parte specifica relativa alle misure di preparazione e ritorno alla normalità e analisi (Parte B); predisposta, per il territorio regionale, dall’Agenzia Regionale di Protezione Civile, con il coordinamento del Dipartimento Nazionale di Protezione Civile;
- ✓ una parte cartografica, consistente nel quadro conoscitivo di settore costituito dall’insieme delle mappe di pericolosità e di rischio di alluvioni a scala di bacino;
- ✓ il Rapporto Ambientale della procedura di VAS (Valutazione Ambientale Strategica).

Lo scopo del PGRA, in virtù della sua natura di piano strategico, è quello di dover coordinare le azioni strutturali e non strutturali, finalizzate alla riduzione del rischio.

Costituiscono strumenti di attuazione del PGRA:

- ✓ gli strumenti di pianificazione di bacino (PAI, Direttive, Linee guida ecc.);
- ✓ il sistema coordinato delle azioni svolte dalla Regione, dalle Province e dai Comuni nel campo della protezione civile;
- ✓ l’insieme delle azioni svolte dalla Regione nel campo della gestione del territorio.

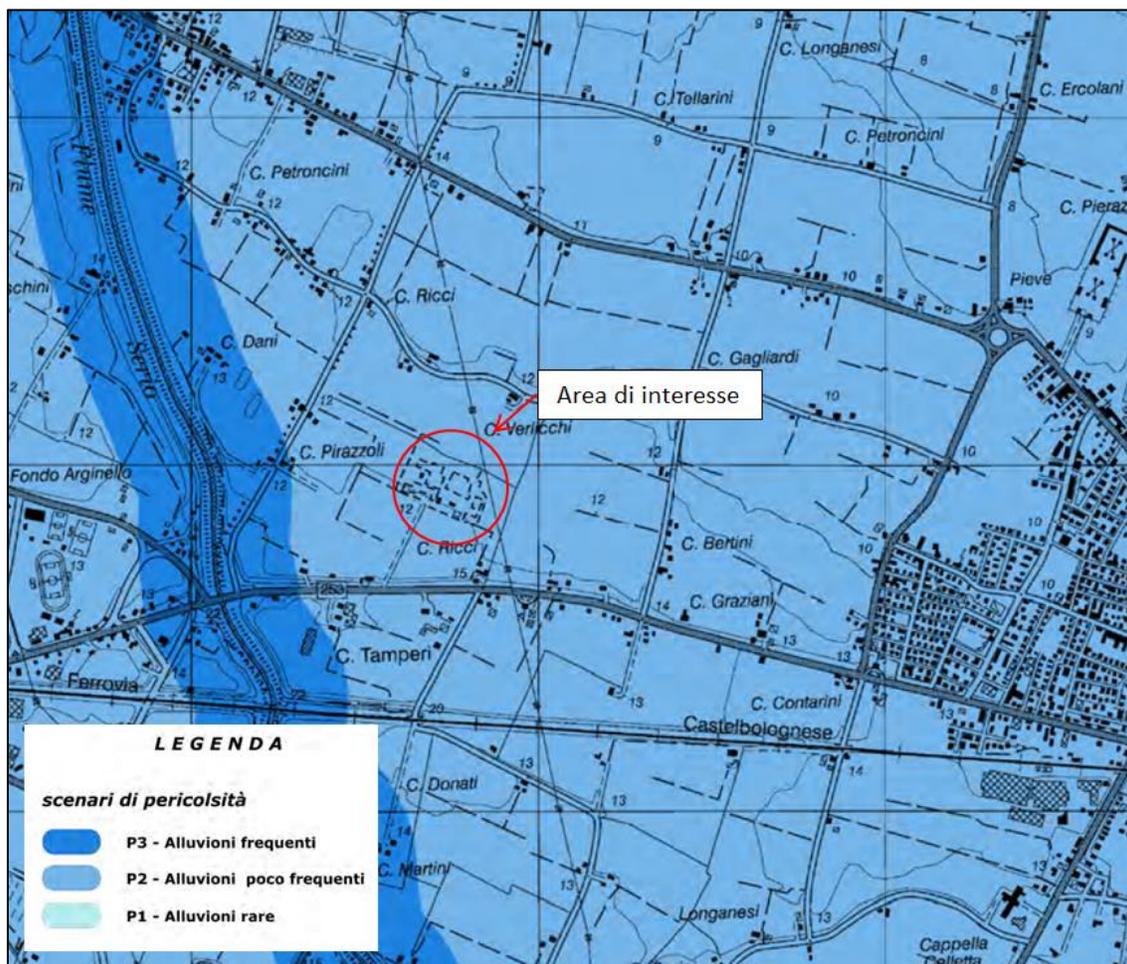
Si evidenzia che il rapporto tra i Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) e il PGRA è particolarmente stretto, essendo caratterizzato:

- ✓ dalla condivisione dei dati sui quali si basano i rispettivi quadri conoscitivi;
- ✓ dalla condivisione dei contenuti normativi e di programmazione degli interventi per la riduzione del rischio idraulico dei PAI, che strutturano la parte del PGRA relativa agli obiettivi e alle misure di prevenzione e di protezione.

In coerenza con il PGRA, le Autorità di Bacino Reno provvedono a predisporre, ove necessario e secondo le rispettive specificità, progetti di variante ai PAI vigenti, in rapporto alla mappatura della pericolosità e del rischio del reticolo naturale principale, del reticolo di bonifica e delle aree costiere.

### ***Relazioni con il Progetto***

Nella figura che segue è riportato lo stralcio della Carta di Pericolosità delle Aree Potenzialmente Interessate da Alluvioni (Tavola MP12, scala 1:25,000) predisposta dall’AdB del Fiume Reno nell’ambito della Variante di Coordinamento tra il PGRA e i Piani Stralci di Bacino del 7 Novembre 2016.



Mapa di Pericolosità delle Aree Potenzialmente Interessate da Alluvioni

Dalla precedente figura si evince che l'area di interesse per il progetto riguarda aree classificate a Pericolosità P2 "Alluvioni poco Frequenti".

La variante succitata (Novembre 2016) oltre all'aggiornamento della cartografia ha aggiornato le Norme relative al "Piano Stralcio per il Bacino del Torrente Senio"; in particolare, per l'area P2 tali norme prevedono che (Art. 32 - Aree Interessate da Alluvioni Frequenti, Poco Frequenti o Rare):

- ✓ "nelle aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (P3) o poco frequenti (P2), le amministrazioni comunali [...] opereranno in riferimento alla strategia e ai contenuti del PGRA e, a tal fine, dovranno:
  - aggiornare i Piani di emergenza ai fini della Protezione Civile, conformemente a quanto indicato nelle linee guida nazionali e regionali, specificando lo scenario d'evento atteso e il modello d'intervento per ciò che concerne il rischio idraulico,
  - assicurare la congruenza dei propri strumenti urbanistici con il quadro della pericolosità d'inondazione caratterizzante le aree facenti parte del proprio territorio, valutando la sostenibilità delle previsioni relativamente al rischio idraulico, facendo riferimento alle possibili alternative localizzative e all'adozione di misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle persone esposte,

- *consentire, prevedere e/o promuovere, anche mediante meccanismi incentivanti, la realizzazione di interventi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità alle inondazioni di edifici e infrastrutture”.*

**Si evidenzia che gli interventi previsti sono localizzati all'interno della Centrale di San Potito già esistente e che non è previsto alcun ampliamento delle aree occupate e già autorizzate all'esercizio delle attività di stoccaggio.**

**SULLA BASE DI QUANTO SOPRA ESPOSTO, IL PROGETTO RISULTA COMPATIBILE CON IL PGRA.**

## **Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Ravenna**

### ***Contenuti ed Obiettivi***

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Ravenna, redatto in adeguamento alla Legge Regionale No. 20 del 24 Marzo 2000, è stato approvato con DCP No. 9 del 28 Febbraio 2006.

Il PTCP è stato oggetto di successivi adeguamenti a seguito dell'aggiornamento degli strumenti di pianificazione e programmazione in materia di:

- ✓ energia e sviluppo sostenibile;
- ✓ commercio al dettaglio;
- ✓ tutela delle acque;
- ✓ gestione rifiuti.

Il PTCP è lo strumento di pianificazione che definisce l'assetto del territorio con riferimento agli interessi sovracomunali, articolando sul territorio le linee di azione della programmazione regionale.

Il PTCP è costituito da:

- ✓ quadro conoscitivo;
- ✓ relazione generale;
- ✓ norme di attuazione;
- ✓ valutazione di sostenibilità ambientale e territoriale del piano (VALSAT);
- ✓ elaborati grafici:
  - Tavola No. 1: “Unità di Paesaggio”;
  - Tavola No. 2: “Tutela dei sistemi ambientali e delle risorse naturali e storico-culturali”;
  - Tavola No. 3: “Carta della vulnerabilità degli acquiferi”;
  - Tavola No. 4, “Aree non idonee alla localizzazione degli impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti”;
  - Tavola No. 5: “Assetto evolutivo degli insediamenti e delle reti per la mobilità”;
  - Tavola No. 6: “Progetto reti ecologiche in provincia di Ravenna”.

### ***Relazioni con il Progetto***

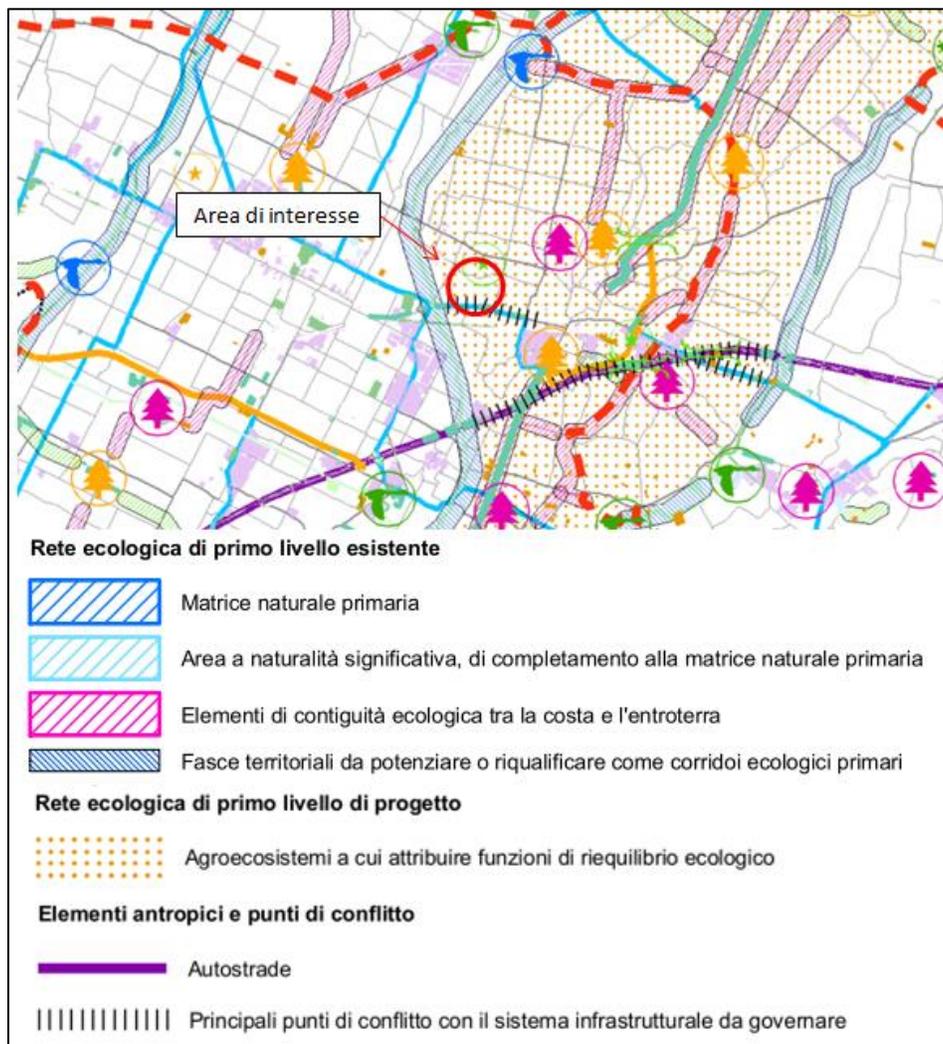
Confrontando quanto analizzato per il PTCP nell'ambito della procedura di VIA del progetto con i contenuti del PTCP aggiornato, **è emerso che la Centrale di San Potito ricade sempre:**

- ✓ nell'Unità di Paesaggio UdP N. 12-A Centuriazione (Tav. No. 1);
- ✓ nell'ambito di tutela “Dossi di Ambito Fluviale Recente” (Tav. No. 2-7).

Con particolare riferimento alle Norme di Attuazione dell'ambito di tutela "Dossi di Ambito Fluviale Recente", il PTCP aggiornato (Art. 3.20) riporta quanto già indicato nel precedente PTCP analizzato nell'ambito della procedura di VIA del progetto nel suo complesso.

In merito all'aggiornamento del PTCP con gli strumenti di pianificazione e programmazione di interesse, si evidenzia che **il progetto in esame non ricade nelle zone di tutela delle acque** come individuate nella carta della tutela delle risorse idriche superficiali e sotterranee (Tavola No. 3-7).

Relativamente al tema della biodiversità, nella seguente figura è riportato un estratto della Tavola No. 6 del PTCP.



PTCP Provincia di Ravenna, Progetto Reti Ecologiche (Tav. No. 6)

Dall'analisi della precedente figura si evince che l'area di interesse per il progetto si inserisce nell'ambito degli "Agroecosistemi a cui Attribuire Funzioni di Riequilibrio Ecologico" afferente alla "Rete Ecologica di Primo Livello di Progetto".

Le Norme di piano (Art. 7.3) relative alla Rete ecologica di livello provinciale evidenziano che la Provincia deve elaborare ed approvare un progetto di "Reti Ecologiche" avente il compito di individuare gli

elementi della rete ecologica di livello provinciale e le azioni per realizzarla, integrarla e qualificarla, con specifiche finalità, tra le quali quelle di promuovere:

- ✓ nel territorio rurale la presenza di spazi naturali o semi-naturali, esistenti o di nuova creazione, caratterizzati da specie autoctone e dotati di una sufficiente funzionalità ecologica;
- ✓ anche nelle maggiori aree urbane la conservazione e nuova formazione di corridoi ecologici di collegamento con le aree periurbane;
- ✓ la riqualificazione sia ecologica che paesaggistica del territorio, anche attraverso la previsione di idonei accorgimenti mitigativi da associare alle nuove strutture insediative a carattere economico-produttivo, tecnologico o di servizio, orientandole ad apportare benefici compensativi degli impatti prodotti, anche in termini di realizzazione di parti della rete ecologica.

**Come già precedentemente evidenziato gli interventi previsti sono localizzati all'interno della Centrale di San Potito già esistente e non è previsto alcun ampliamento delle aree occupate e già autorizzate all'esercizio delle attività di stoccaggio.**

**CONSIDERANDO QUANTO SOPRA RIPORTATO LA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO IN ESAME RISULTA ESSERE COMPATIBILE CON I CONTENUTI DEL NUOVO PTCP.**

## Osservazione 2

*Nella documentazione presentata relativamente alla caratterizzazione e alla modellazione geomeccanica, si sottolinea la difficoltà nell'individuazione del valore di alcuni importanti parametri geotecnici delle rocce interessate dallo stoccaggio; uno di essi è la compressibilità verticale uniassiale ( $C_M$ ). Nei documenti si dice che il valore di  $C_M$  che era stato usato in precedenti modellazioni è risultato poco attendibile e si sottolinea che i valori ricavati per questo parametro (così come per altri parametri, ad es. il modulo di Young), da differenti test di laboratorio effettuati su campioni di carota prelevati in pozzo sono significativamente diversi tra loro. Si rimarca che per orientarsi nella scelta dei parametri per la modellazione si è fatto riferimento ad alcune formule disponibili nella letteratura scientifica di settore, che indicano dei valori che non differiscono in maniera sostanziale da quelli ottenuti sui test di laboratorio. In altra documentazione prodotta per quel che riguarda il valore di  $C_M$ , si fa solamente riferimento alle indicazioni disponibili nella letteratura scientifica. E' evidente che la difficoltà nell'assegnare i parametri geotecnici rimarcata nella documentazione prodotta si percuote negativamente sulla qualità dei risultati della modellazione. A tal riguardo, si riterrebbe più opportuno effettuare ulteriori modellazioni rispetto a quelle proposte, utilizzando un range di valori per i parametri geotecnici di interesse (oltre al già citato  $C_M$ , anche verosimilmente la permeabilità orizzontale e verticale) che comprenda l'intervallo in cui questi parametri possono essere compresi, alla luce dei dati raccolti e della letteratura scientifica consultata. Questo permetterebbe di ottenere dei risultati più attendibili, e quindi, in ultima analisi, più cautelativi e a favore di sicurezza.*

## Risposta

L'osservazione riguarda quanto riportato nella relazione, allegata all'istanza, dal titolo "Modellazione geomeccanica della fase sperimentale di stoccaggio nel giacimento BB1 di San Potito a pressione massima di fondo pari al 120% della originaria pressione statica di fondo ( $P_{max}=1.2 P_i$ )" (GEOPHI, 2017 - <http://www.va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1753/3104>, elaborato PRG-005). Si tratta di una modellazione 2D agli elementi finiti, che contiene una serie di assunzioni semplificative, propedeutica ad un primo inquadramento generale dei processi geomeccanici che interessano la componente suolo e sottosuolo nell'area dello stoccaggio di San Potito.

**Ben più robusta e complessa**, sia in termini di assunzioni che di risultati ottenuti, risulta essere la modellazione 3D agli elementi finiti - anch'essa allegata all'istanza con relazioni tecniche dal titolo "Modello dei processi geomeccanici derivanti dallo stoccaggio di gas naturale nel campo di San Potito" – Fase I e Fase II (M3E, 2017 - <http://www.va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1753/3104>, elaborati PRG-009 e PRG-010).

In tale studio, non si mette in discussione l'attendibilità del dato di comprimibilità ( $C_M$ ), ma si sottolinea che data l'assenza di spostamenti in superficie imputabili alle attività di coltivazione e stoccaggio, che avrebbero consentito una taratura appropriata della comprimibilità, si utilizzano delle leggi per  $C_M$  (e quindi per il modulo di Young) che sono state ottenute e **validate da una decina di altri studi condotti in campi a gas dello stesso bacino sedimentario**.

L'attendibilità dei parametri geomeccanici utilizzati nel modello 3D della M3E è stata confermata:

- ✓ dai risultati delle misure di laboratorio eseguite su campioni di roccia prelevati nella roccia di copertura e nel giacimento di San Potito;
- ✓ da misure in-situ eseguite nel pozzo "SP 6dir", nella roccia basale e nella roccia di copertura (**Allegato 1** – M3E, "Analisi integrative dei processi geomeccanici nel campo di San Potito e analisi dell'impatto della subsidenza sulla rete scolante nell'area del campo", ottobre 2018).

Le misure di laboratorio e quelle in situ hanno permesso di avvalorare i parametri utilizzati per la verifica strutturale (criterio di Mohr-Coulomb), nonché i valori di Modulo di Young (da cui la comprimibilità) e lo stato tensionale naturale nelle argille basali e di copertura.

La Proponente, a valle delle osservazioni ricevute, ha effettuato un'**analisi di sensitività (Allegato 1)** variando alcuni dei parametri di configurazione del modello geomeccanico sviluppato nello studio allegato all'istanza (M3E, 2017 sopra richiamato) allo scopo di analizzare il grado di sicurezza dello sviluppo proposto a  **$P_{max}=1.2 P_i$** . Nel dettaglio, sono stati analizzati i seguenti scenari:

- ✓ una diversa compressibilità edometrica verticale  $C_M$ : è stato considerato sia il valor medio ( $C_M$  media) fornito per il bacino padano dalla letteratura specialistica<sup>1</sup> [Baù et al., 2002; Ferronato et al., 2013], sia il limite superiore dell'intervallo di confidenza al 95% ( $C_M +95%$ ) - ovvero una comprimibilità assai elevata sulla base dei dati a disposizione - come definito in Baù et al., [2002];
- ✓ una maggiore variazione di pressione: la variazione di pressione generata dalle attività di stoccaggio/erogazione come previste dal modello Eclipse  $P_{max}=240$  bar ( **$P_{max}=1.2 P_i$** ) è stata amplificata fino a  $P_{max}=360$  bar ( **$P_{max} = 1.8 P_i$** ).

Per ogni scenario è stato valutato l'impatto sui seguenti elementi di maggior criticità relativi alla componente suolo e sottosuolo:

- ✓ **il gradiente dello spostamento verticale in superficie (C1)**: la generazione di cedimenti e/o spostamenti differenziali può indebolire la capacità portante di manufatti e/o infrastrutture sovrastanti il giacimento e le aree limitrofe, causando l'insorgere di fessurazioni o deformazioni inaccettabili in relazione all'integrità della struttura;
- ✓ **l'integrità meccanica della roccia serbatoio e delle formazioni confinanti (C2)**: la generazione di fratture/fessurazioni per rottura a taglio può causare micro-sismicità o compromettere la tenuta idraulica del cap-rock;

---

<sup>1</sup> Si fa presente che il bacino padano è una delle zone con la migliore caratterizzazione geomeccanica a livello mondiale visti i numerosissimi studi condotti sulla tematica della subsidenza a partire dagli anni 1980

- ✓ **la riattivazione delle faglie prossime al giacimento (C3):** la riattivazione delle faglie in prossimità del campo può causare sismicità indotta;
- ✓ **l'efficienza idraulica della rete di bonifica (C4):** la generazione di spostamenti del piano campagna modifica le quote altimetriche della rete idraulica naturale e artificiale con una possibile riduzione dell'efficienza idraulica della stessa e, di conseguenza, maggiori rischi di esondazioni / allagamenti (minore sicurezza idraulica) o la necessità di un utilizzo più massivo degli impianti di sollevamento idrico.

I risultati di dettaglio di queste analisi di sensitività sono presentati in **Allegato 1**.

Con riferimento alla comprimibilità  $C_M$ , i risultati delle analisi di sensitività eseguite con il modello dimostrano che anche nella condizione più gravosa di massima compressibilità ( $C_M +95\%$ ), l'esercizio in sovrappressione con  **$P_{max}=1.2P_i$  non comporta criticità in termini di gradienti di spostamento verticale in superficie, di integrità meccanica della roccia serbatoio e delle formazioni confinanti e di rischi di riattivazione delle faglie prossime al giacimento.**

In merito alla richiesta di valutare l'effetto delle variazioni di permeabilità sugli elementi di criticità sopra elencati, si fa presente che nel campo di San Potito, diversamente da altri contesti (vedi campo di Longanesi) è disponibile una storia produttiva nel corso della quale è stato possibile individuare con estremo dettaglio i valori di permeabilità orizzontali e verticali presenti nelle aree di drenaggio di ciascun pozzo e quelle presenti nell'acquifero. Si ritiene quindi che i valori di permeabilità assunti nei modelli previsionali siano ragionevolmente attendibili o, al limite, affetti da incertezza molto limitata e tale da non alterare i risultati delle modellazioni.

### Osservazione 3

*Alcune delle modellazioni geomeccaniche prodotte evidenziano che in prossimità dei pozzi iniettori si producono variazioni di pressioni tali, secondo la letteratura scientifica di settore, da indurre sismicità. In quest'ottica, alla luce di quanto sottolineato al punto precedente, diventa cruciale effettuare ulteriori previsioni modellistiche a favore di massima sicurezza, per verificare nel dettaglio l'entità della possibile sismicità indotta.*

#### Risposta

L'osservazione prende spunto da quanto esposto nella relazione tecnica relativa alla modellazione geomeccanica 2D allegata all'istanza (GEOPHI, 2017 - <http://www.va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1753/3104>, elaborato PRG-005) dove, tra le conclusioni, si riporta quanto segue:

- ✓ la massima variazione di sforzo di Coulomb ( $\Delta CFF$ ), pari a 0.13 MPa, si verifica durante l'iniezione a  **$P_{max}=1.2 P_i$**  in prossimità dei pozzi iniettori;
- ✓ secondo la letteratura (Mulargia e Bizzarri, 2014), valori di  $\Delta CFF \geq 0.1$  MPa sono in grado di indurre sismicità.

Quanto sopra sembrerebbe effettivamente indicare che l'esercizio a  **$P_{max}=1.2P_i$**  può determinare la rottura della roccia serbatoio in prossimità dei pozzi iniettori ed il successivo innesco di terremoti.

**Prendiamo atto che quanto riportato nella relazione si presta ad interpretazioni ambigue. Al fine di chiarire le conclusioni dello studio risulta necessario ribadirne le ipotesi di lavoro adottate e qui di seguito riportate.**

Il modello geomeccanico 2D (GEOPHI, 2017) è un modello semplificato in cui l'ammasso roccioso è assunto essere omogeneo, isotropo e continuo, cioè privo di discontinuità. Il modello non prevede la descrizione geometrica di faglie e/o fratture e non consente quindi di verificare la stabilità strutturale di tali elementi tettonici in presenza variazioni tensionali indotte da attività antropiche. Per supplire a questa carenza sono state adottate le seguenti ipotesi di lavoro:

- ✓ l'ammasso roccioso è interessato in ogni suo punto da **faglie sismogenetiche** caratterizzate da una certa inclinazione e molto prossime alle condizioni di rottura;
- ✓ la rottura di tali faglie<sup>2</sup> ed il conseguente innesco di terremoti si produce con variazioni dello sforzo deviatorico indotto dall'iniezione di fluidi di appena 0.1 MPa (1 bar).

Queste due ipotesi sono **estremamente cautelative** e, realisticamente, poco adatte al contesto di San Potito in quanto:

- ✓ l'interpretazione della sismica 3D acquisita nel 2013 non evidenzia **alcuna faglia all'interno del giacimento**;
- ✓ le faglie individuate dalla sismica ad alcuni chilometri di distanza dal giacimento **non risultano essere sismogenetiche** e quindi non si trovano in condizioni di carico tali da potersi attivare ed innescare dei sismi con variazioni di sforzo indotto di appena 0.1 MPa.

Alla luce delle ipotesi di cui sopra e soprattutto delle evidenze oggettive, fornite dalla sismica 3D per il giacimento di San Potito, si può concludere che la variazione massima di sforzo di Coulomb di 0.13 MPa, calcolata in prossimità dei pozzi iniettori, non è in grado di innescare alcun sisma in quanto **il volume roccioso interessato da tale variazione di sforzo non è interessato da alcuna faglia sismogenetica.**

A supporto di questa conclusione si rimanda allo studio geomeccanico 3D (M3E, 2017) discusso con riferimento all'osservazione 2. A ulteriore conforto sulla sicurezza delle prove, nel documento di integrazione al modello geomeccanico (**Allegato 1**), sono stati valutati degli scenari con diversi valori di sovrappressione allo scopo di individuare il Fattore di Sicurezza (FS) rispetto ai seguenti elementi di criticità:

- ✓ (C1) gradiente di spostamento verticale in superficie;
- ✓ (C2) integrità meccanica della roccia serbatoio e delle formazioni confinanti;
- ✓ (C3) tenuta strutturale delle faglie;
- ✓ (C4) e tenuta idraulica della rete scolante di bonifica.

Il fattore di sicurezza viene definito come:

$$FS = \Delta P_{MAX} / \Delta P$$

dove  $\Delta P$  è la variazione di pressione prevista dalle operazioni di stoccaggio/erogazione in condizioni di esercizio  $P=240$  bar, cioè  **$P_{max}=1.2 P_i$**  ( $\Delta P=40$  bar) e  $\Delta P_{MAX}$  è la variazione di pressione massima

---

<sup>2</sup> Estratto dalla pubblicazione di Mulargia e Bizzarri, 2014: "Hence, we must prudentially assume that all faults neighboring the anthropogenic activity are so close to instability that they will fail when  $\sigma_{eff}$  increases by 0.1 MPa due to an increment in fluid pressure".

ammissibile per cui non viene superato lo stato limite della criticità. Nella tabella che segue sono riassunti i valori di FS ottenuti dalle analisi.

Criticità	Valutazione	Scenario	P <sub>MAX</sub>	FS
C1	conservativa	SG3	360 bar = 1.80 Pi	4.0
C2	conservativa	TC3	248 bar = 1.24 Pi	1.2
	realistica	TC5	264 bar = 1.32 Pi	1.6
C3	conservativa	TF3	360 bar = 1.80 Pi	4.0
C4	conservativa	E	360 bar = 1.80 Pi	4.0

*Fattori di sicurezza per le criticità analizzate, dove SG – scenario gradiente di spostamento, TC – scenario tenuta caprock, TF – scenario tenuta faglie, E – scenario efficienza idraulica della rete scolante.*

Il fattore di sicurezza per le criticità C1, C3 e C4 è il massimo possibile in quanto, come evidenziato in tabella, la pressione può essere amplificata fino ad un massimo di 360 bar, cioè **Pmax=1.8 Pi**, superata la quale la roccia va a rotture per trazione (situazione non fisica).

L'integrità meccanica della roccia, criticità C2, risulta essere l'elemento più critico con FS=1.2. Secondo il modello, la variazione di pressione prevista dalle attività di stoccaggio/erogazione con Pmax=1.2 Pi può comunque essere amplificata del 10% (Pmax=1.24 Pi) senza indurre problemi significativi alla tenuta strutturale della roccia di giacimento e delle formazioni confinanti.

Diversamente da quanto calcolato dal modello, le misure in situ effettuate sul pozzo "SP 6dir" (**Allegato 1 – Cap. 3**) hanno indicato che **l'integrità della roccia può essere compromessa per pressioni superiori a 280 bar** (valore ben più alto dei 264 bar calcolati col modello nel caso conservativo) **di conseguenza, si ritiene che le stime di modello del Fattore di Sicurezza per la componente C2 siano estremamente conservative, anche nel caso realistico (TC5).**

## Osservazione 4

*Permangono delle incertezze su quanto i valori dei parametri geomeccanici utilizzati nelle modellazioni possano modificarsi nel lungo termine, in seguito alle ripetute sollecitazioni indotte dallo stoccaggio/erogazione del gas, e su come ciò possa influenzare tutta la modellazione proposta e nello specifico la conseguente generazione di microsismicità nella roccia serbatoio e nei depositi di copertura.*

## Risposta

Tutti i monitoraggi SAR - ormai decennali - dello spostamento della superficie del terreno sopra i campi di stoccaggio in attività in Italia e all'estero (ad es., in Olanda) hanno evidenziato che la risposta geomeccanica alle variazioni di pressione del gas in un giacimento di stoccaggio è lineare si ripete stabilmente per ogni ciclo di stoccaggio/erogazione, per cui le proprietà geomeccaniche non si modificano nel tempo.

Si evidenzia peraltro che l'istanza oggetto di verifica di assoggettabilità a VIA è **limitata a soli 2 anni di prove (2019 e 2020)** e che l'eventuale esercizio definitivo del campo in sovrappressione sarà soggetto alla procedura di VIA.

In tale contesto, sulla base anche dei dati ed informazioni **raccolte in questi 2 anni di sperimentazione**, sarà possibile valutare approfonditamente gli effetti di ripetuti cicli in sovrappressione nel lungo periodo

## Osservazione 5

*La durata delle prove di iniezione appare significativa con la previsione di due annualità di test di sovrappressione nel giacimento BB1 di San Potito; sulla base della documentazione esaminata tali prove di iniezione si traducono in periodi di almeno 5-6 mesi ogni anno in sovrappressione.*

### Risposta

La pressione in giacimento avrà un andamento variabile, gradualmente crescente durante l'estate e in progressiva riduzione sin dall'avvio della campagna di erogazione invernale.

Il superamento della pressione originaria (+20% in dinamica al fondo dei pozzi di iniezione; +13% in statica al fondo del pozzo spia) avverrà su un lasso temporale di 5-6 mesi all'anno (indicativamente da fine giugno fino a dicembre), come evidenziato dalle simulazioni riportate in Fig.45 della relazione tecnica, allegata all'istanza, dal titolo "Relazione Studio di Giacimento di San Potito", allegata all'istanza (Edison Stoccaggio, 2017 - <http://www.va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1753/3104>, elaborato -PRG-006).

## Osservazione 6

*I valori di sovrappressione dinamica previsti e proposti dal proponente (+20% rispetto alla pressione originaria) sono essenzialmente legati a questioni tecniche ed economiche di funzionamento dell'impianto di compressione alla massima potenza piuttosto che a valutazioni sulla sostenibilità ambientale e territoriale dell'intervento proposto.*

### Risposta

Il valore di sovrappressione indicato nell'istanza prescinde completamente da motivazioni di carattere economico ma **rappresenta il "massimo teorico" configurabile per l'esecuzione delle prove senza la necessità di alcuna modifica o intervento sull'attuale configurazione impiantistica / infrastrutturale**, che è stata realizzata sulla base delle prestazioni prefigurate nel Decreto di Concessione del 2009, con un dimensionamento, in termini di portate e pressioni, più elevate di quelle attualmente utilizzate. **Fino a tale valore di sovrappressione**, infatti:

- ✓ non sarebbe necessario alcun intervento o modifica sugli impianti e sulle installazioni esistenti, che risultano già dimensionati per l'esecuzione delle prove. In particolare:
- ✓ nessuna variazione della pressione massima di spinta raggiungibile dal compressore dedicato, pari a 207 bar (a), che seguità ad essere il massimo valore di pressione d'esercizio sia degli impianti che di testa pozzo;
- ✓ nessuna variazione dell'attuale pressione massima di progetto (231 bar)
- ✓ non vi sarebbe alcun aggravio delle condizioni di rischio
- ✓ non sarebbe richiesta alcuna modifica al Rapporto di Sicurezza, già approvato in via definitiva dal CTR, il 28 febbraio 2018, né del Piano di Emergenza Esterno già approvato
- ✓ non sarebbe necessaria alcuna modifica alla compatibilità territoriale approvata

La documentazione fornita a supporto dell'istanza e le presenti integrazioni confermano la sostenibilità ambientale e territoriale dell'intervento proposto.

Fermo restando quanto sopra, preso atto delle osservazioni ricevute dagli Enti competenti (in particolare quelle relative alla sostenibilità ambientale e territoriale dell'intervento proposto) nonché alla luce di quanto emerso nel dialogo con il Gruppo Istruttore VIA - la Scrivente si dichiara disponibile a strutturare **le prove in due distinte fasi**, come di seguito specificato (rif. "Integrazione volontaria" di data odierna):

- ✓ primo anno di prova (2019): si propone il raggiungimento di una sovrappressione statica di giacimento minore del 10%. In prima istanza, l'obiettivo per tale fase potrebbe essere il raggiungimento di una sovrappressione statica massima del 7% (214 bar (a)) in quanto tale valore, alla luce del livello di sviluppo raggiunto dai nostri modelli di giacimento, viene ritenuto quello minimo per consentire un primo accertamento, con ragionevoli livelli di affidabilità, delle potenzialità prestazionali del campo in sovrappressione;
- ✓ secondo anno di prova (2020): l'obiettivo di sovrappressione verrà stabilito, di comune accordo con gli Enti preposti, in funzione dei risultati della FASE 1 (esito dei monitoraggi, conformità dei risultati con le previsioni da modello).

Tutti i dati raccolti nel corso delle 2 fasi verrebbero condivisi con gli Enti interessati (Regione Emilia Romagna, ARPAE, Unioni di Comuni, ...).

Laddove gli esiti di questa fase di indagine confermassero positivamente le prospettive di sviluppo del campo, la Scrivente si attiverà per espletare la procedura VIA per l'esercizio in sovra-pressione del campo di San Potito.

## Osservazione 7

*Permangono delle incertezze sugli effetti indotti nel sottosuolo a breve e soprattutto a lungo termine anche in considerazione delle caratteristiche significativamente diverse del giacimento rispetto a quello considerato nel 2007.*

### Risposta

Rispetto a quanto considerato nel 2007, le caratteristiche del giacimento sono state aggiornate sulla base dei dati ed informazioni raccolti dalla perforazione del 2 pozzi e dall'attività operativa svolta fino ad oggi.

Gli effetti indotti nel sottosuolo dalle attività di stoccaggio sono stati quindi valutati col modello geomeccanico 3D (M3E, 2017 e **Allegato 1**), utilizzando la distribuzione spazio-temporale delle pressioni ricavate con il modello aggiornato del giacimento e dell'acquifero ad esso connesso.

Anche MiSE e CIRM, nel confermare il loro parere positivo all'istanza in oggetto, hanno ritenuto che tali studi garantiscano una corretta rappresentazione del giacimento e dei relativi effetti indotti nel sottosuolo dalle prove in oggetto.

Circa gli eventuali impatti nel lungo termine, si ribadisce (rif. Osservazione 4) che l'istanza Edison Stoccaggio è limitata a soli 2 anni di prove (2019 e 2020) e che l'eventuale esercizio definitivo del campo in sovrappressione sarà soggetto alla procedura di VIA, nell'ambito della quale, sulla base anche dei risultati delle prove, sarà possibile valutare approfonditamente eventuali impatti di lungo termine.

## Osservazione 8

*Nello Studio preliminare ambientale sono valutati come ridotti gli effetti di movimento del suolo con la sovrappressione rispetto allo stoccaggio del giacimento che è attualmente in funzione ma con una capacità di immagazzinamento del gas molto inferiore a quella prevista e autorizzata per cui gli effetti di deformazione del suolo attualmente monitorati non paiono significativi.*

### Risposta

L'osservazione sembra suggerire che i ridotti movimenti del suolo registrati finora siano il risultato dei modesti volumi di gas fino ad oggi immagazzinato.

L'aumento dei volumi prospettato con l'esercizio in sovrappressione (circa +100 MSm<sup>3</sup>) risulta sostanzialmente inferiore ai volumi autorizzati e, comunque, dalle simulazioni col modello geomeccanico, non è tale da determinare un aumento significativo dei movimenti del suolo che infatti, a **P<sub>max</sub>=1.2P<sub>i</sub>**, sono stimati in ±12 mm (12 mm di innalzamento durante l'iniezione, seguiti da 12 mm di abbassamento in fase di estrazione).

In ogni caso, il monitoraggio di tali movimenti – già operativo dal 2013 - consentirà di verificare la bontà delle previsioni modellistiche e di valutare se ci siano degli scostamenti fra gli impatti effettivi e quelli preventivati.

## Osservazione 9

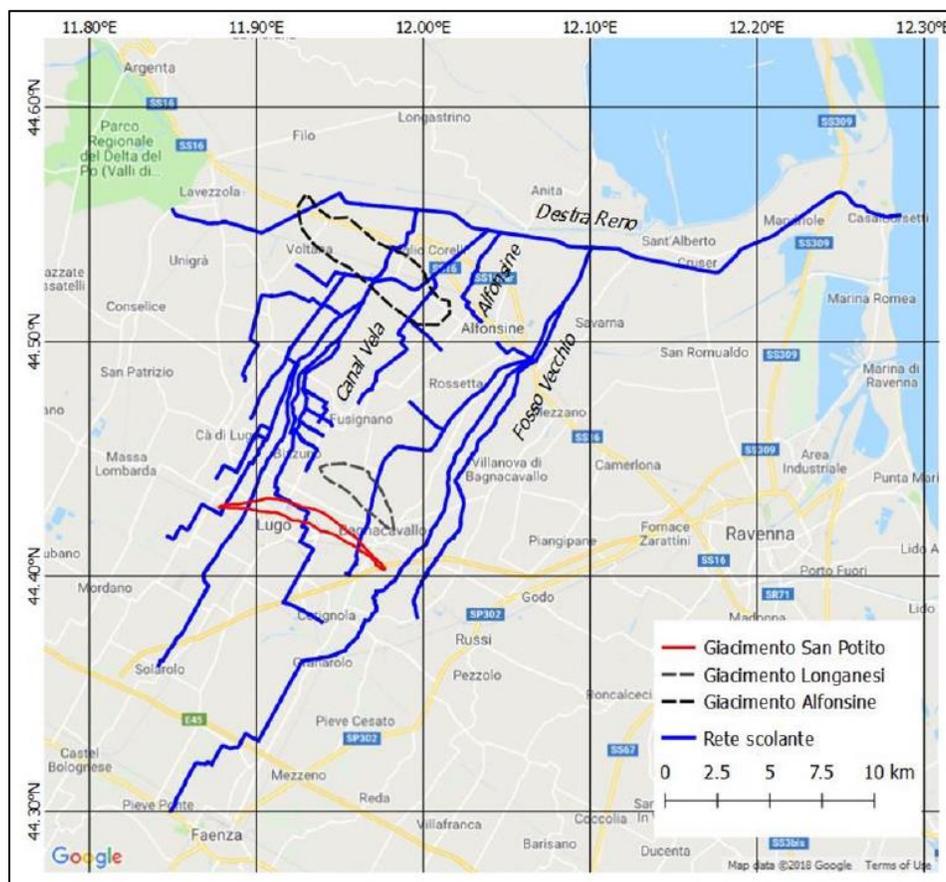
*Non sono stati valutati gli effetti sul reticolo scolante delle deformazioni del suolo indotte dallo stoccaggio/erogazione del gas, né gli effetti cumulativi delle deformazioni del suolo sul reticolo scolante indotte da altri progetti di coltivazione e stoccaggio idrocarburi approvati (giacimento Longanesi) e in corso di valutazione ambientale (stoccaggio gas di Alfonsine). Si rileva a tal proposito che già all'interno del procedimento di VIA ministeriale per lo stoccaggio di Alfonsine la Regione Emilia-Romagna, con nota PG.222/169 del 29/03/2018, ha segnalato al MATTM la mancata valutazione degli effetti sul reticolo scolante prodotti in modo congiunto dalla coltivazione del giacimento Longanesi e dallo stoccaggio di Alfonsine. Il giacimento San Potito si posiziona a brevissima distanza dal giacimento Longanesi per cui i problemi di deflusso idrico potrebbero essere ulteriormente aggravati.*

### Risposta

In linea di principio, eventuali effetti sul reticolo scolante sono sostanzialmente da escludere in quanto il massimo di gradiente topografico locale che si verrebbe a determinare con **P<sub>max</sub>=1.2P<sub>i</sub>** risulta molto limitato (0.56x10<sup>-5</sup>, cioè 0.56 mm su 100 m, da modello geomeccanico).

Ad ogni modo, la Proponente ha eseguito uno studio mediante modelli matematici per calcolare gli effetti delle deformazioni del suolo, indotte dall'attività di stoccaggio a San Potito e da altre attività minerarie previste nella stessa area, sul regime idraulico della rete drenate interessata (**Allegato 1**).

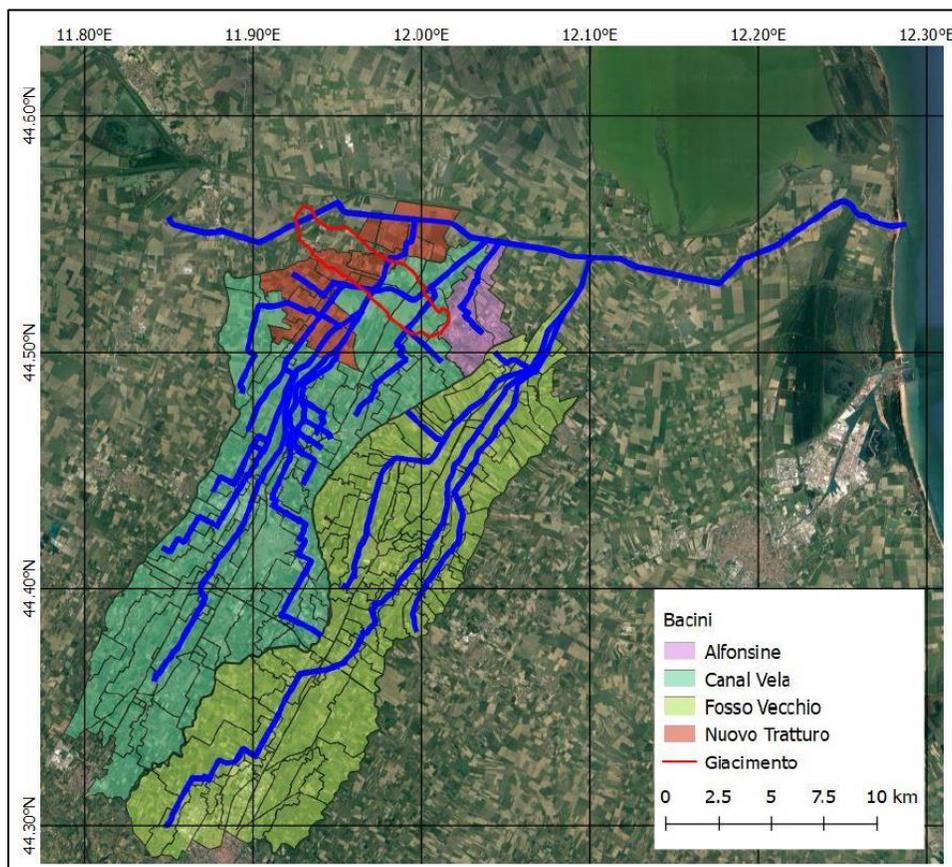
La rete di drenaggio che interessa il territorio dov'è situato il campo di San Potito è quella alla destra del fiume Reno (vedi figura seguente). I dati di base utilizzati per lo studio sono rappresentati dai rilievi topografici d'alveo messi a disposizione dal Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale (planimetrie, profili e sezioni dei canali, schede impianti idrovori).



*Inquadramento territoriale con indicazione planimetrica della rete scolante e la traccia dei giacimenti di produzione primaria e di stoccaggio.*

Il modello idrologico-idraulico della rete di deflusso superficiale è stato realizzato con i codici HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) [USACE-HEC, 2010] e HEC-RAS (River Analysis System) [USACE-HEC, 2016] sviluppati dall'U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center.

La rete drenante è stata suddivisa in 4 sottobacini, considerando i quattro principali scoli affluenti al canale collettore Destra Reno, asse portante del sistema di drenaggio della Bonifica. Secondo i dati forniti dal Consorzio, la figura che segue riporta la suddivisione in sottobacini, per gli scoli Nuovo Tratturo, Canal Vela, Alfonsine, e Fosso Vecchio.



Bacini idrografici principali del comprensorio di bonifica analizzato con HEC-HMS

Per l'intensità di pioggia si è fatto riferimento allo studio del Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale [2001] e allo studio di Todini [1990]. Questi lavori hanno fornito la curva di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno di interesse (ottenuta sulla base di studi di regionalizzazione comprendenti il territorio indagato) focalizzati alla determinazione della precipitazione intensa per eventi di varia durata. La tabella che segue mostra la precipitazione per il tempo di ritorno di 30 anni in funzione della durata di interesse.

Durata [ore]	Precipitazione [mm]
24	105
48	130
72	135

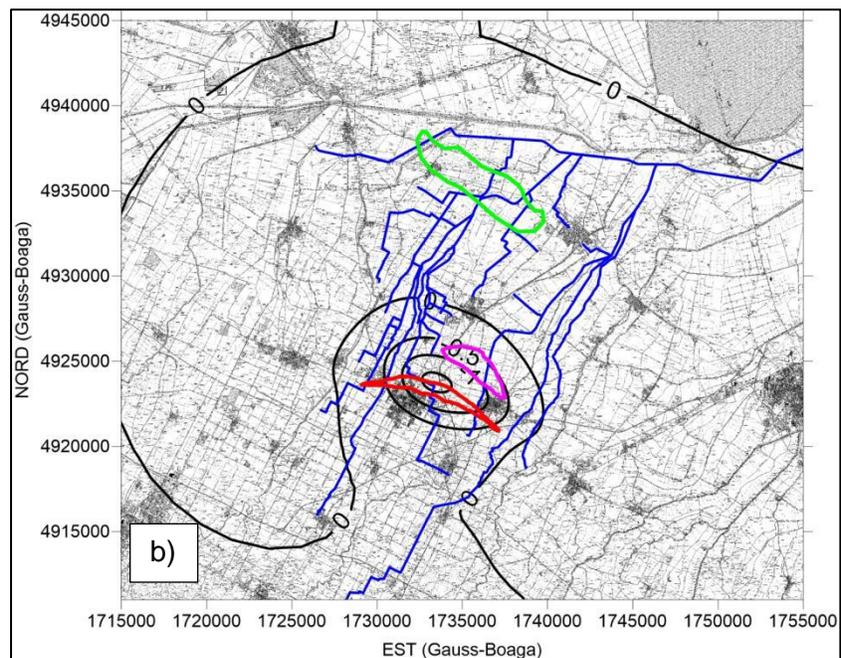
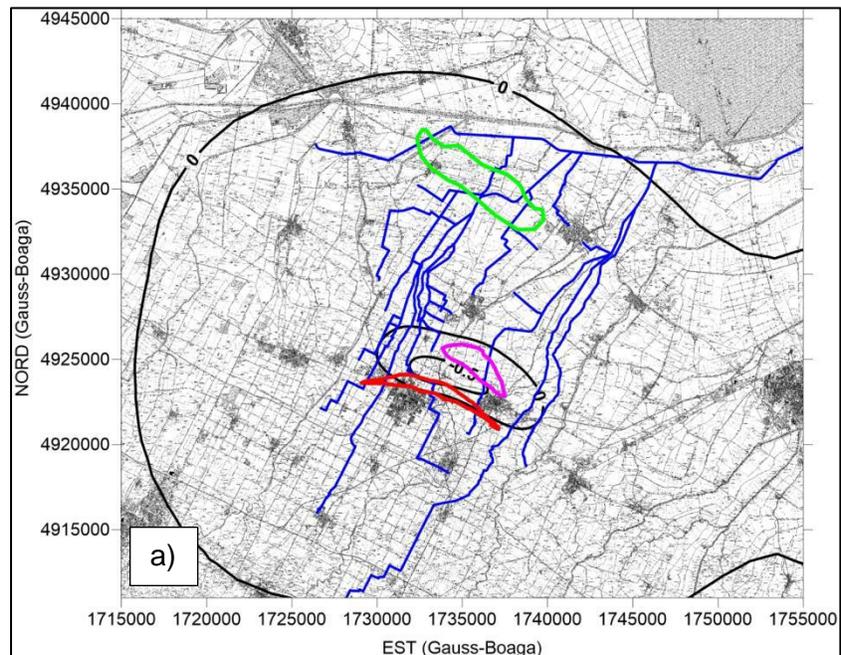
Per ogni sottobacino, è stato quindi creato un evento pluviometrico con le caratteristiche riportate nella tabella di cui sopra. Le simulazioni effettuate col modello idrologico hanno fornito il calcolo dell'idrogramma di piena per ognuno dei sottobacini in cui sono stati discretizzati i quattro sistemi analizzati. **Il valore dei picchi di piena ottenuti risulta essere in linea con quelli calcolati nel già citato Studio idrologico ed idraulico del Canale di Bonifica in Destra di Reno:** per il Canal Vela e il Fosso Vecchio, che sono i bacini più significativi, i risultati delle simulazioni idrologiche condotte

mostrano per entrambi portate al colmo di circa  $51 \text{ m}^3/\text{s}$ , da confrontare con le portate calcolate dal Consorzio, pari rispettivamente a 48 e  $52 \text{ m}^3/\text{s}$ .

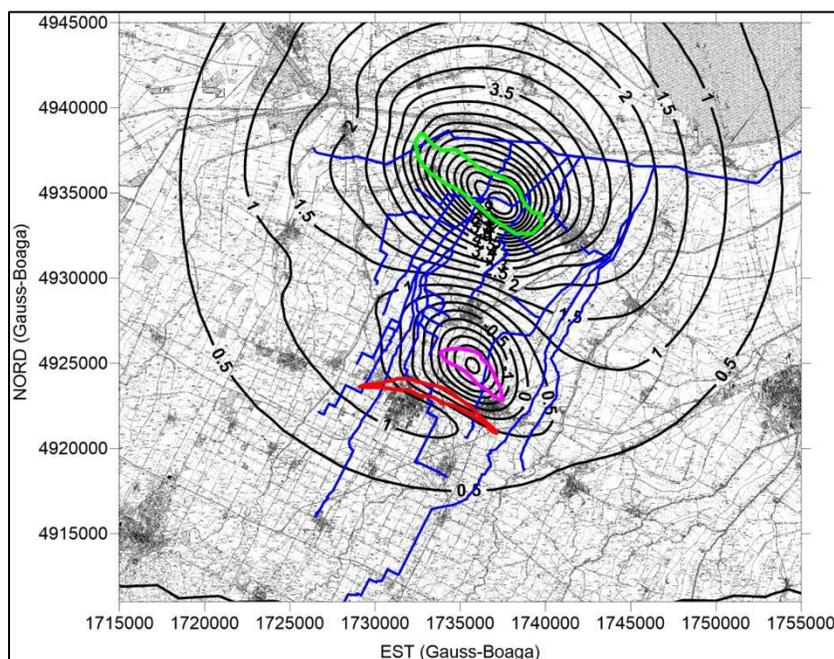
I risultati del modello idrologico sono stati usati come input per il modello idraulico, attraverso il quale sono stati analizzati i seguenti scenari:

- ✓ Scenario A: stato “attuale”, ovvero quello definito sulla base delle quote dei rilievi topografici a disposizione.
- ✓ Scenario B: termine della fase di erogazione nel caso  $P=240 \text{ bar}$ , cioè  **$P_{\max}=1.2 P_i$** . Lo spostamento considerato è quello corrispondente al passaggio dallo stato attuale alla minima pressione di esercizio prevista, ottenuto nello scenario “base” ovvero con  $C_M$  media.
- ✓ Scenario C: termine della fase di stoccaggio nel caso  $P=240 \text{ bar}$ , cioè  **$P_{\max}=1.2 P_i$** . Lo spostamento considerato è quello corrispondente al passaggio dallo stato attuale alla massima pressione di esercizio prevista, ottenuto nello scenario “base” ovvero con  $C_M$  media.
- ✓ Scenario D: sovrapposizione degli effetti dei campi di San Potito al termine della fase di stoccaggio, di Alfonsine al termine della fase di stoccaggio e di Longanesi al termine della produzione primaria. Il contributo del solo campo di San Potito è quello considerato nello scenario B, mentre per quanto riguarda i campi di Alfonsine e Longanesi si è fatto riferimento alle mappe di spostamento (abbassamento massimo per Longanesi e sollevamento massimo per Alfonsine) fornite da Edison Stoccaggio, estratte dai lavori di Teatini et al. [2017] e ENI [2010] disponibili sul sito del MATTM (allegati tecnici alle procedure VIA, VAS per i campi di Longanesi ed Alfonsine).

Nelle figure che seguono si riporta la distribuzione degli spostamenti imposti sulle sezioni dei diversi canali negli scenari B, C e D.



Spostamento (cm) considerato negli scenari B (a) e C (b) fornito dal modello geomeccanico di San Potito nel caso "base" con  $P=240$  bar ( $P_{max}=1.2 Pi$ ) e con CM media. La traccia del giacimento di San Potito è riportata in rosso, assieme a quelle dei campi di Longanesi (in viola) e Alfonsine (in verde). La rete scolante nel modello HEC-RAS è evidenziata in blu.



*Spostamento cumulativo (cm) considerato nello scenario D. Le tracce dei giacimenti di San Potito, Longanesi e Alfonsine sono evidenziate rispettivamente in rosso, viola e verde. La rete scolante nel modello HEC-RAS è evidenziata in blu.*

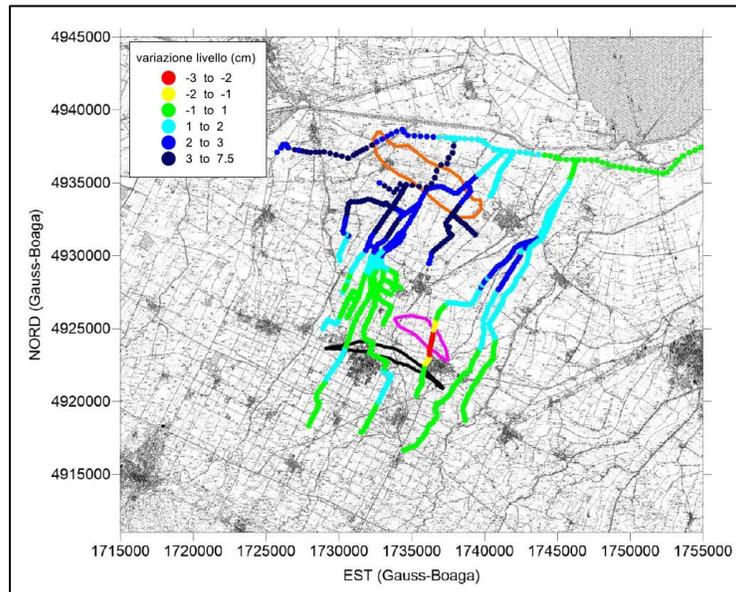
Con l'ausilio del modello idraulico è stato calcolato il massimo abbassamento e il massimo innalzamento del fondo dei canali di ogni sottobacino. **Negli scenari B e C le variazioni massime sono dell'ordine del centimetro. Variazioni maggiori di un ordine di grandezza si hanno per lo scenario D, che indica come l'impatto delle attività minerarie negli altri due giacimenti (Longanesi e Alfonsine) sia superiore a quello di San Potito.**

**I risultati delle simulazioni evidenziano quindi come l'impatto dell'attività di stoccaggio/erogazioni nel giacimento di San Potito sulla rete idraulica di superficie risulti trascurabile.** Per verificare con che grado di sicurezza si può ritenere che le variazioni altimetriche indotte dall'attività su San Potito non causino un impatto sulla rete di bonifica sono stati testati due ulteriori scenari amplificando la variazione di pressione prevista con  $P=240$  bar, cioè  **$P_{max}=1.2$  Pi**:

- ✓ scenario E: termine della fase di erogazione con  $P_{max}=360$  bar, cioè  **$P_{max}=1.8$  Pi**;
- ✓ scenario F: termine della fase di stoccaggio con  $P_{max}=360$  bar, cioè  **$P_{max}=1.8$  Pi**.

I risultati per questi due scenari evidenziano come amplificando la variazione di pressione fino a  $P_{max}=360$  bar, cioè  **$P_{max}=1.8$  Pi**, localmente la variazione dei livelli idrici inizia ad essere sensibile, con abbassamenti che superano i 4 cm ed innalzamenti dell'ordine dei 2 cm.

Con riferimento allo scenario D, le variazioni di livello idrico lungo la rete scolante sono riportate nella figura che segue:



*Variazione di livello idrico (cm) lungo la rete scolante nel modello HEC-RAS nello scenario D. Le tracce dei giacimenti di San Potito, Longanesi e Alfonsine sono evidenziate rispettivamente in nero, viola e arancione.*

L'innalzamento dei livelli idrici è pari, o inferiore, all'innalzamento del suolo, per cui il franco di bonifica rimane invariato o al più aumenta. In particolare, gli innalzamenti e abbassamenti massimi sono localizzati in corrispondenza dei campi di Alfonsine e Longanesi, rispettivamente: **l'effetto del solo campo di San Potito è trascurabile**. Le velocità massime all'interno dei canali hanno variazioni non apprezzabili, inferiori a 1 cm/s, in seguito alle modifiche indotte dalla subsidenza. L'impianto idrovoro si muove solidamente con il terreno, per cui il livello di avvio e stacco delle pompe si alza di 5 cm (come i livelli monte valle impianto durante l'evento di piena) e non si hanno apprezzabili variazioni di funzionamento delle pompe. L'effetto della subsidenza non modifica i volumi d'acqua in arrivo all'impianto idrovoro, non modificandosi sostanzialmente nemmeno i dislivelli tra monte e valle, per cui il consumo di energia si può ritenere del tutto simile a quello della situazione attuale.

In conclusione, si può affermare quanto segue:

- ✓ Gli spostamenti in superficie indotti dallo stoccaggio in San Potito amplificando la variazione di pressione prevista fino a  $P_{max}=360\text{bar}$  ( **$P_{max}=1.80\text{ Pi}$** ) producono variazioni locali del livello idrico rispetto allo stato attuale quantificati in circa 5 cm, per cui la rete scolante rimane comunque funzionale.
- ✓ L'effetto sovrapposto delle attività minerarie in San Potito, Alfonsine e Longanesi genera variazioni locali del livello idrico rispetto allo stato attuale, con un massimo di 10 cm. La rete scolante rimane comunque funzionale. Va evidenziato come l'effetto dei campi di Alfonsine e Longanesi in termini di spostamento in superficie **sia di un ordine di grandezza maggiore rispetto a quello del solo San Potito**.

## Osservazione 10

*Non sono stati valutati gli effetti cumulativi sulla microsismicità che potrebbero essere causati dalla somma degli impatti prodotti dal presente progetto con altri progetti di coltivazione e stoccaggio*

*idrocarburi approvati (giacimento Longanesi) e in corso di valutazione ambientale (stoccaggio gas di Alfonsine).*

## **Risposta**

Sulla base delle informazioni disponibili circa le tempistiche prevedibili per l'avvio delle attività ad Alfonsine e Longanesi, appare **ragionevole escludere che tali attività possano avvenire contestualmente al periodo di prove proposto per San Potito (2019-2020)**. Tale circostanza porta ad escludere la possibilità che si verifichino fenomeni di sovrapposizione degli effetti (effetti cumulativi nulli) relativamente al rischio sismicità indotta/innescata.

La scrivente si dichiara comunque disponibile a valutare la situazione con gli Enti preposti, laddove si prefigurasse la possibilità (oggi remota) che i progetti di Alfonsine e/o Longanesi possano entrare in esercizio in concomitanza con il periodo di prove su San Potito.

In tale ipotesi, Edison Stoccaggio ritiene comunque che gli **effetti indotti da queste due attività sulla stabilità strutturale delle faglie siano trascurabili**, per le ragioni esposte qui di seguito.

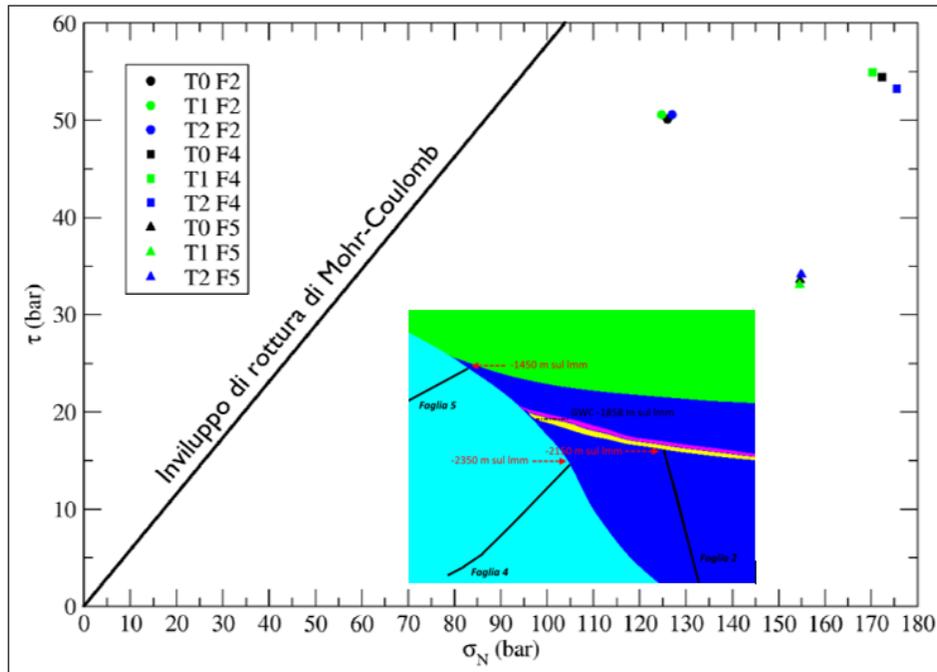
## **Effetti cumulati con ALFONSINE**

Il campo di Alfonsine dista circa 10 km dal campo di San Potito.

Le analisi integrative dei processi geomeccanici nel campo di San Potito (**Allegato 1**) hanno dimostrato che nel caso puramente teorico di aumentare la pressione dei pori sino a 360 bar ( **$P_{max}=1.8 P_i$** ), le sollecitazioni sulle faglie modellizzate, poste a pochi chilometri dal giacimento, **rimangono molto distanti dalle condizioni di rottura** (vedi figura sotto). Sempre nel gravoso scenario a  $P_{max}=360$  bar, si è visto anche che la variazione di tensione durante i cicli di stoccaggio/erogazione **rimane confinata negli strati interessati dallo stoccaggio** e si smorza a poche decine di metri dal giacimento.

Sulla base di questi risultati è ragionevole concludere che:

- ✓ l'esercizio di San Potito a  $P_{max}=240$  bar ( $P_{max}=1.2 P_i$ ) **non determina alcun tipo di criticità sulle faglie presenti a pochi chilometri dal giacimento** e tantomeno può generare instabilità su faglie ancora più distanti di quelle modellizzate;
- ✓ lo stoccaggio nel campo di Alfonsine determinerà una situazione analoga a quella di San Potito, con variazioni tensionali che si dissipano a poche decine di metri dal giacimento; pertanto **gli effetti indotti sulle faglie comprese tra i due campi saranno molto limitati** e comunque inferiori agli effetti estremi, ma ancora "accettabili", che sono stati calcolati nell'ipotesi puramente teorica di aumentare la pressione nel giacimento di San Potito sino a 360 bar.



Stato tensionale ( $\sigma_N$ ,  $\tau$ ) nella zona più sollecitata di ogni faglia (F2, F4 e F5) in alcuni istanti significativi per lo scenario  $P_{max}=360$  bar: T0) stato iniziale indisturbato (2013); T1) termine della fase di stoccaggio; T2) termine della fase di erogazione.

### Effetti cumulati con LONGANESI

Il campo di Longanesi è un progetto di coltivazione, non di stoccaggio.

I processi geomeccanici che si verificano nell'intorno di un giacimento di coltivazione sono caratterizzati da un **aumento delle tensioni efficaci**. Si ricorda che in qualsiasi punto della crosta terrestre agisce una tensione litostatica ( $\sigma_L$ ) pari a:

$$\sigma_L = \sigma' + \sigma_p$$

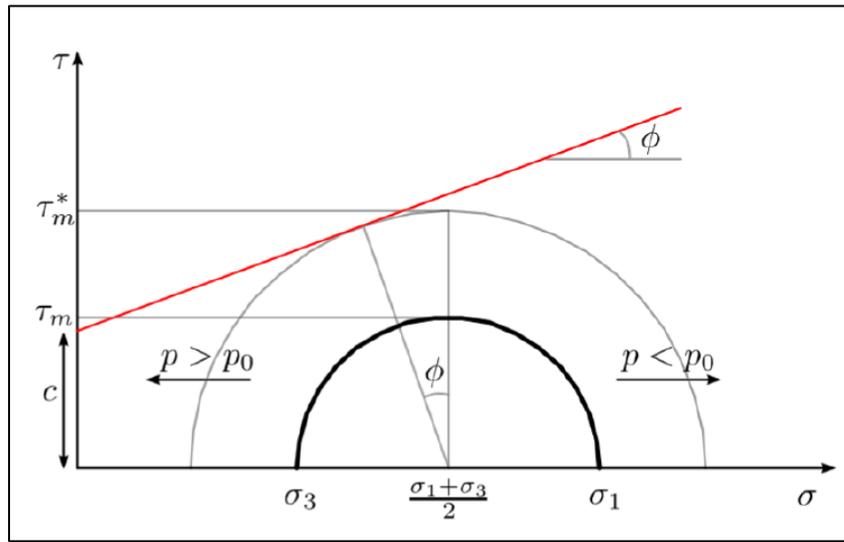
dove:

$\sigma'$  è la tensione efficace che si esercita sulla matrice solida che compone la roccia;

$\sigma_p$  è la tensione idrostatica esercitata dai fluidi che occupano i pori presenti nella roccia.

Nei giacimenti di coltivazione, a seguito della produzione degli idrocarburi, si verifica un progressivo calo della pressione dei pori e conseguentemente, a parità di carico litostatico, si assiste ad un aumento della pressione efficace sia in giacimento che nelle formazioni circostanti.

Per valutare se le tali variazioni possono compromettere l'integrità meccanica della roccia, generando fratture che possano potenzialmente causare micro-sismicità o limitare la tenuta idraulica del caprock, si ricorre a dei criteri "limite di rottura" tipo quello di Mohr-Coulomb. Uno schema indicativo di come i cerchi di Mohr-Coulomb varino in funzione della pressione neutra è riportato nella figura che segue, ove si è utilizzata la convenzione di indicare come verso crescente di  $\sigma$  quello corrispondente ad un aumento della compressione, in coerenza con le notazioni tipicamente utilizzate nella letteratura geomeccanica. Si individuano con  $\sigma_1$  la tensione principale efficace massima e con  $\sigma_3$  quella efficace minima.



Rappresentazione dello stato tensionale nel piano  $\sigma - \tau$  e spostamento dei cerchi di Mohr-Coulomb a seguito dello stoccaggio ( $p > p_0$ ) o erogazione ( $p < p_0$ ) di fluidi dal sottosuolo.

Durante l'erogazione di fluidi, la pressione di strato diminuisce con un progressivo trasferimento di stress alla matrice porosa. Lo stato tensionale viene quindi descritto da un cerchio di Mohr che, nel piano  $\sigma - \tau$  in figura, tende a spostarsi verso destra, cioè tende ad allontanarsi dall'involucro a rottura secondo Mohr-Coulomb.

Viceversa, durante l'iniezione di fluidi, la pressione di strato aumenta ed il cerchio di Mohr nel piano  $\sigma - \tau$  tende a spostarsi verso sinistra, cioè tende ad avvicinarsi all'involucro a rottura secondo Mohr-Coulomb ed al limite tensionale ammesso in trazione. Possono pertanto insorgere più facilmente stati tensionali che avvicinano la roccia a condizioni di rottura.

Da quanto sopra è ragionevole concludere che:

- ✓ gli effetti indotti dall'attività di coltivazione di Longanesi risultano **a favore di sicurezza** in quanto determinano delle variazioni tensionali che allontanano il mezzo roccioso continuo e le faglie in esso contenute dalle condizioni limite di rottura.
- ✓ gli effetti indotti dall'attività di coltivazione di Longanesi risultano di segno opposto a quelli provocati dall'attività di stoccaggio per cui determinano una compensazione delle sovrappressioni generate da San Potito, determinando quindi uno spostamento dello stato tensionale indotto sulle faglie verso condizioni di maggior sicurezza.

Le considerazioni appena esposte sono a nostro parere più che **ragionevoli e tali da garantire lo svolgimento in piena sicurezza delle operazioni di prova** a  $P_{max}=240$  bar ( $P_{max}=1.2 P_i$ ) a San Potito.

La Proponente anticipa comunque la propria disponibilità ad una valutazione congiunta con gli operatori di Longanesi e Alfonsine in merito al rischio sismicità indotta/innescata, nell'eventuale successiva fase di VIA per l'esercizio definitivo in sovrappressione di San Potito.

## Osservazione 11

*Non pare definita la pericolosità sismica naturale del sito, con particolare riguardo alla presenza di zone sismogeniche, né viene chiarito con certezza se le faglie prese in considerazione nel modello geomeccanico 3D, siano correlate alle strutture sismogeniche presenti nell'area;*

### Risposta

La problematica dell'eventuale sismicità indotta/innescata dall'attività di stoccaggio a  $P_{max}=240$  bar ( **$P_{max}=1.2$  Pi**) è stata affrontata nello studio geomeccanico 3D allegato all'istanza (M3E, 2017 - <http://www.va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1753/3104>, elaborati PRG-009 e 010) e sua successiva integrazione (**Allegato 1**).

Alla data della redazione di questo documento, secondo il catalogo DISS dell'INGV, in prossimità del campo di San Potito è presente la sorgente sismogenetica individuale ITIS 100 Bagnacavallo facente parte della sorgente composita denominata ITCS 011 Ascensione – Armaia. Il catalogo DISS riporta nel dettaglio solo le caratteristiche della sorgente individuale ITIS 100 Bagnacavallo.

La struttura sismogenetica denominata "ITIS 100 Bagnacavallo" è stata oggetto di una verifica da parte della scrivente, alla luce dei dati disponibili e delle migliori conoscenze scientifiche pubblicate, allo scopo di confermare o emendare la sua presenza (**Allegato 2**).

Da quanto descritto nel database DISS – INGV, l'esistenza della struttura sismogenetica di Bagnacavallo, confinata tra 3 e 6 km di profondità e vergente a NE, è stata ipotizzata sulla base di vecchie sezioni geologiche ENI (Cassano et al. 1986, modificato) e di alcune considerazioni di carattere geomorfologico.

Le sezioni sismiche regionali e il volume di dati sismici 3D in possesso della scrivente mostrano alcuni back thrust vergenti a SO che tagliano (in quanto più recenti) e quindi disattivano cinematicamente le faglie vergenti a NE, inclusa la faglia indicata come sorgente sismogenetica Bagnacavallo.

Inoltre, la sequenza pleistocenica continentale dell'ultimo milione di anni, ben visibile sulla sismica 3D di Edison Stoccaggio, non risulta deformata dagli ipotetici movimenti associabili alla sinclinale di rampa sepolta in corrispondenza dell'Alto di Cotignola.

In sintesi, dai dati a nostra disposizione e dalle considerazioni esposte nell'**Allegato 2**, emerge la necessità di emendare la struttura sismogenetica "ITIS 100 Bagnacavallo" e di proseguire gli studi per la definizione della struttura responsabile del terremoto del 1688. Queste nostre considerazioni e perplessità circa la catalogazione della faglia Bagnacavallo come sorgente sismogenetica, sono state condivise in una riunione dedicata con tecnici dell'INGV i quali si sono resi disponibili a collaborare con la Proponente per approfondire lo studio delle strutture tettoniche dell'area romagnola che include la concessione di San Potito e Cotignola.

Si fa comunque presente che Edison Stoccaggio ha affrontato l'analisi degli effetti indotti dall'attività di stoccaggio a  $P_{max}=240$  bar su alcune delle sopracitate discontinuità tettoniche vergenti a NE individuate nel volume sismico 3D in suo possesso, in prossimità sia del giacimento di San Potito che della struttura sismogenetica sopraindicata. Tali discontinuità tettoniche sono state geometricamente descritte nel modello geomeccanico 3D (M3E, 2017), con il quale è stato possibile verificare che a seguito dell'esercizio a  $P_{max}=240$  bar ( **$P_{max}=1.2$  Pi**), sulla faglia più prossima al giacimento (posta a circa 1 km) non si verificano variazioni di tensioni apprezzabili rispetto allo stato tensionale naturale.

A favore di sicurezza il sopracitato modello geomeccanico 3D (**Allegato 1**) è stato utilizzato per effettuare alcune analisi di sensitività, aumentando il valore di comprimibilità ed amplificando la sovrappressione prevista in giacimento. Anche nello scenario più gravoso, con una  $P_{MAX} = 360$  bar,

cioè  $P_{MAX}=1.8 P_i$ , le variazioni di tensione sulle faglie risultano trascurabili. Inoltre, con  $P_{max}=360$  bar, assumendo che in passato le faglie siano state attivate, è stato verificato il loro grado di resistenza con angoli di attrito dinamici inferiori a quello statico di  $30^\circ$  assunto nel nostro caso base. In particolare, si è voluto verificare quale fosse il valore minimo dell'angolo di attrito tale da determinare la rottura degli elementi più sollecitati su ciascuna faglia. I valori ottenuti sono compresi tra  $13^\circ$  e  $24^\circ$ , ovvero significativamente minori del valore pari a  $30^\circ$  utilizzato nello scenario conservativo. Si tenga inoltre presente che valori così bassi sono poco realistici in quanto, data la giacitura delle discontinuità, lo stesso regime tensionale naturale supererebbe il limite a rottura.

Il fattore di sicurezza, definito come rapporto tra variazione di pressione massima necessaria a indurre rottura sulle faglie ( $DP_{MAX}=360-200=160$  bar) e variazione di pressione nel caso  $P_{max}=240$  bar ( $DP=240-200=40$  bar) risulta pari a 4 ( $160/40$ ). **A ulteriore vantaggio di sicurezza**, si tenga conto che il fattore di sicurezza sarebbe addirittura superiore a 4 se, come descritto, nelle condizioni di massima sollecitazione ( $P_{max}=360$  bar), per destabilizzare le faglie occorre imporre degli angoli di attrito molto bassi e poco realistici.

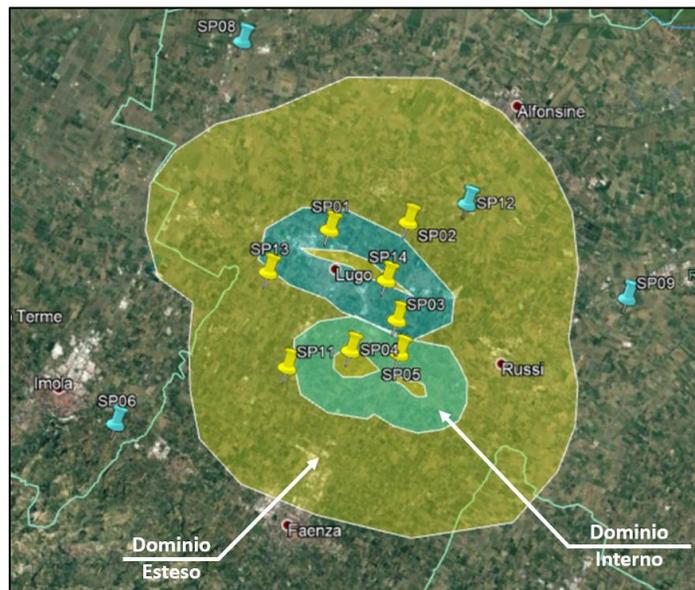
## Osservazione 12

*Le reti di monitoraggio della sismicità e delle deformazioni del suolo sono ancora in corso di implementazione da parte di Edison Stoccaggio, pertanto ai fini della significatività del monitoraggio risulta opportuno prima completare e poi mettere in esercizio tale rete al fine di avere a disposizione almeno un significativo periodo di monitoraggio di ante-operam;*

### Risposta

#### Monitoraggio sismico ante operam

La Proponente - proprio nella prospettiva delle prove di sovrappressione e come anche evidenziato dal CIRM - sin da luglio 2017 ha avviato una campagna di monitoraggio microsismico della zona con 6 stazioni superficiali, diventate 11 superficiali + 1 in pozzo da gennaio 2018. Le 13 stazioni di **monitoraggio microsismico ante operam** sono state selezionate tra i 15 siti previsti dal progetto definitivo e ricadono principalmente all'interno del Dominio Interno (vedi figura che segue), in prossimità dei giacimenti di stoccaggio.



*Stazioni microsismiche superficiali della rete di monitoraggio ante operam (la stazione in pozzo con array di 6 sismometri è la SP01).*

I risultati del monitoraggio ante operam nel periodo luglio 2017 – giugno 2018 sono riportati nell'**Allegato 3 e Allegato 4**.

### **Monitoraggio sismico durante le prove**

Contestualmente al monitoraggio ante operam visto sopra, a maggio 2018 sono iniziati i lavori per la realizzazione della rete di monitoraggio microsismico **permanente**. La rete consta di 18 stazioni sismiche (8 in pozzo + 7 superficiali) distribuite sul territorio ed equipaggiate con adeguata strumentazione in conformità con quanto stabilito nel documento "*Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche*" (ILG), redatto nel 2014 dal Gruppo di Lavoro istituito dalla Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie del Ministero dello Sviluppo Economico (MSE). In 11 delle 15 stazioni sismiche è prevista inoltre l'installazione di antenne GPS che andranno a raffittire la rete di monitoraggio geodetico già esistente.

La rete di monitoraggio permanente è stata realizzata al 90% e sarà completata e messa in esercizio entro il mese di novembre 2018. Da dicembre 2018 la rete consentirà un dettagliato monitoraggio degli eventuali eventi microsismici, in grado di rilevare eventi sismici con magnitudo locale (M<sub>L</sub>) inferiore a 1 grado Richter.

### **Monitoraggio delle deformazioni del suolo**

Il **monitoraggio delle deformazioni del suolo** sul campo di San Potito è stato invece avviato dalla fine del 2013. Il monitoraggio riguarda la misura di spostamenti verticali e orizzontali del suolo mediante l'analisi SAR di immagini acquisite dai satelliti TerraSAR-X e Sentinel-1 su orbite ascendenti e discendenti. I dati SAR pregressi sono stati calibrati utilizzando la rete GPS già presente nell'area e la stazione GNSS installata sul sito di Cotignola nel gennaio 2014. Come già anticipato, in concomitanza alla realizzazione della rete di monitoraggio microsismico, verrà installata una seconda stazione GNSS a doppia frequenza e 10 nuove stazioni GPS a singola frequenza. Il sistema di monitoraggio si compone inoltre di 2 pozzi piezometrici e 1 pozzo assestometrico in grado di fornire informazioni circa le variazioni di quota delle falde ed i tenori di compattazione/dilatazione dei primi 300 metri di crosta terrestre.

La rete di monitoraggio delle deformazioni del suolo è stata prescritta dal decreto VIA del 2007 e realizzata a seguito del parere di adeguatezza espresso dalla Regione Emilia Romagna con comunicazione Prot. N. PG.2012. 0263884, del 12/11/2012. I risultati del monitoraggio delle deformazioni del suolo sono comunicati con frequenza semestrale al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, alla Regione Emilia Romagna e ad ARPAE.

## **Osservazione 13**

*Tali proposte di monitoraggio delle deformazioni del suolo e della sismicità non paiono inoltre coerenti con gli "Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro" predisposte dal MISE nel 2015;*

### **Risposta**

L'osservazione non precisa quali siano le proposte di monitoraggio non coerenti con le Linee Guida del MISE del 2014 le quali, tuttavia, hanno ad oggi un carattere sperimentale e provvisorio, e potranno essere confermate/aggiornate solo una volta completata la sperimentazione in corso.

Ad ogni modo, la rete di monitoraggio delle deformazioni del suolo è stata prescritta dal decreto VIA del 2007 e realizzata a seguito del parere di adeguatezza espresso dalla Regione Emilia Romagna con comunicazione Prot. N. PG.2012. 0263884, del 12/11/2012.

Per quanto attiene alla rete di monitoraggio microsismico, il progetto è stato sottoposto al parere di esperti terzi dell'Università di Bologna, che con documento del 30 maggio 2018 (**Allegato 5**) ne hanno attestato la conformità con quanto stabilito nel documento "*Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche*" (ILG), redatto nel 2014 dal Gruppo di Lavoro istituito dalla Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie del Ministero dello Sviluppo Economico (MSE). In 11 delle 15 stazioni sismiche è prevista inoltre l'installazione di antenne GPS che andranno ad infittire la rete di monitoraggio geodetico già esistente.

## Osservazione 14

*Lo Studio Preliminare Ambientale indica che le attività previste non comporteranno impatti aggiuntivi in superficie (emissioni, rumore, attività di cantiere) rispetto a quelli considerati con Decreto VIA del MATTM n. 773/2007 relativo alla Concessione di stoccaggio di San Potito e Cotignola, in quanto il progetto originario autorizzato prevedeva quantitativi di stoccaggio nel giacimento interessato di San Potito - BB1, significativamente superiori a quelli che si intendono raggiungere con le prove di iniezione in sovrappressione; si sottolinea a tal proposito che le valutazioni fatte sono riferite a più di 10 anni fa e si basano su un progetto che poi si è rivelato sostanzialmente diverso in termini di caratteristiche del giacimento e di conseguenza con stime di stoccaggio errate;*

### Risposta

Il SIA realizzato nell'ambito della procedura VIA del 2007 faceva riferimento ad un impianto che avrebbe dovuto trattare volumi ben maggiori (circa +70%) degli attuali e quindi, in tale scenario, gli impatti ambientali valutati allora sono molto conservativi rispetto alla realtà odierna dell'impianto.

Per quanto realizzate più di 10 anni fa, tali valutazioni – anche alla luce dei volumi incrementali previsti dall'esecuzione delle prove in oggetto – rimangono tuttora valide e sempre molto conservative.

Per quanto attiene alla componente suolo e sottosuolo, gli impatti attesi dall'iniezione in sovrappressione a  $P_{max}=240$  bar ( **$P_{max}=1.2 P_i$** ) sulle deformazione del suolo, sull'integrità della roccia serbatoio e di copertura e sulla stabilità delle faglie presenti intorno al giacimento, sono stati approfonditamente trattati negli studi di modellazione geomeccanica allegati all'istanza (M3E, 2017 - <http://www.va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1753/3104>, elaborati PRG-009 e 010) e nelle analisi integrative riportate in **Allegato 1**.

## Osservazione 15

*Si ritiene necessaria la progettazione di una rete di monitoraggio per il rilevamento di fuoriuscite al suolo e negli acquiferi superficiali del gas movimentato durante i cicli di stoccaggio/erogazione;*

### Risposta

Edison Stoccaggio si è già attivata per realizzare entro il primo trimestre 2019 una **stazione per il monitoraggio geochimico-ambientale** delle matrici suolo, aria ed acque di falda nell'area di stoccaggio di gas naturale del campo di San Potito. La stazione prevede un sistema di monitoraggio in continuo dei valori di concentrazione di metano in atmosfera, dei valori di concentrazione di gas disciolto nelle acque sotterranee (prima falda) e la misura del rateo di emissione di gas naturale all'interfaccia

suolo atmosfera e consentirà di valutare l'evoluzione temporale di tali parametri dando quindi la possibilità di discriminare eventuali emissioni nell'ambiente di gas naturale a seguito delle attività di stoccaggio.

Il 22 ottobre 2018 sono partite le attività di valutazione dei valori di background delle emissioni di metano all'interfaccia suolo atmosfera e della loro distribuzione superficiale nell'area di pertinenza del campo di San Potito. Tale attività prevede una campagna di misure nell'area che sovrasta il giacimento di San Potito, con l'obiettivo di:

- ✓ evidenziare eventuali anomalie di flusso di metano (gas naturale);
- ✓ quantificare l'emissione totale di metano all'interfaccia suolo atmosfera dell'intera area;
- ✓ evidenziare la distribuzione superficiale delle emissioni, realizzando una mappa di isoflusso.

Tale obiettivo verrà perseguito eseguendo una campagna di misure all'interfaccia suolo-atmosfera, tramite misure puntuali di flusso di metano e biossido di carbonio, secondo una maglia di 50x50 m nelle aree interne e di 100x100 m e di 200x200 m nelle aree di rispetto più esterne. Una elaborazione statistica permetterà di fornire una robusta stima dell'emissione totale di metano dall'area indagata e dei limiti di confidenza di tale stima. Una ulteriore elaborazione del dato con tecniche geostatistiche avanzate (Kriging) permetterà di stimare in modo affidabile la distribuzione spaziale delle emissioni, generando una mappa di isoflusso abbinata ad una mappa dell'errore associato alla stima.

La mappatura delle emissioni naturali da gas dal suolo è propedeutica alla scelta del sito dove installare la stazione di monitoraggio permanente che verrà concordato di concerto con ARPA - Emilia Romagna.

## Osservazione 16

*Si segnala infine la necessità che gli impatti ambientali sia diretti che indiretti, derivanti dall'attività in progetto, siano relazionati ai territori dei singoli Comuni interessati, anche in relazione agli interventi di compensazione e riequilibrio ambientale che possono essere oggetto di accordo; a tal proposito si evidenzia che la concessione di stoccaggio originaria è stata oggetto di un accordo tramite convenzione tra Edison e i sei Comuni coinvolti.*

### Risposta

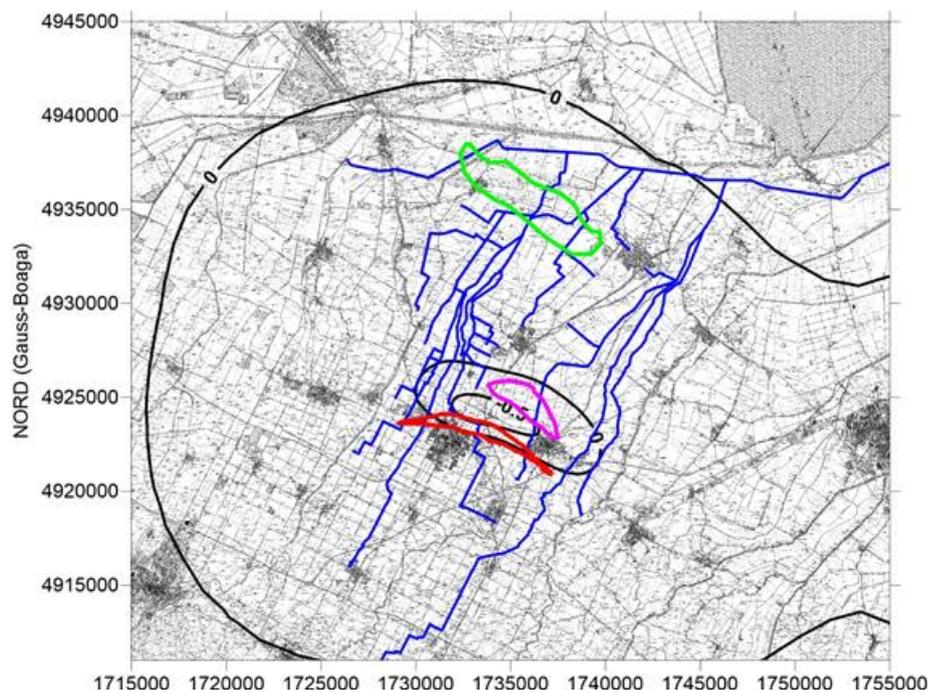
La Proponente è disponibile ad incontrare i Comuni / Enti interessati per fornire ogni eventuale chiarimento e valutare eventuali interventi di compensazione, in particolare laddove i risultati delle prove proposte prospettassero la possibilità di un eventuale esercizio definitivo del campo in sovrappressione.

## **ALLEGATO 1**

### **Analisi integrative dei processi geomeccanici nel campo di San Potito**

**Commessa: M3E 11/18**

**Analisi integrative dei processi geomeccanici nel campo di San  
Potito (RA) e analisi dell'impatto della subsidenza sulla rete  
scolante nell'area del campo**



**Committente: EDISON STOCCAGGIO S.p.A.**

**Elaborato: REV\_3 Relazione Tecnica**

**Data: ottobre 2018**



## INDICE

1	INTRODUZIONE.....	11
2	RICHIAMI AL MODELLO DI PRODUZIONE E AL MODELLO GEOMECCANICO .....	12
3	CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE DELLE CONDIZIONI GEOMECCANICHE.....	17
3.1	<b>Parametri geomeccanici .....</b>	<b>17</b>
3.2	<b>Parametri per la valutazione dell'integrità meccanica.....</b>	<b>18</b>
3.3	<b>Regime tensionale naturale .....</b>	<b>18</b>
4	CRITICITÀ E SCENARI ANALIZZATI.....	21
5	QUANTIFICAZIONE DELLE CRITICITÀ: ANALISI CON IL MODELLO GEOMECCANICO	
	23	
5.1	<b>Spostamenti della superficie del terreno .....</b>	<b>23</b>
5.2	<b>Gradiente dello spostamento verticale .....</b>	<b>27</b>
5.3	<b>Integrità meccanica della roccia serbatoio e delle formazioni confinanti.....</b>	<b>31</b>
5.4	<b>Analisi tensionale sulle faglie prossime al giacimento .....</b>	<b>35</b>
5.5	<b>Valutazione dell'insieme degli scenari analizzati .....</b>	<b>41</b>
6	QUANTIFICAZIONE DELLE CRITICITÀ: ANALISI CON MODELLO IDRAULICO DELLA	
	RETE SCOLANTE.....	45
6.1	<b>Modello idrologico .....</b>	<b>47</b>
6.1.1	Definizione della geometria del sistema .....	47
6.1.2	Set-up del modello .....	54
6.1.3	Risultati delle simulazioni.....	58
6.2	<b>Modello idraulico.....</b>	<b>60</b>
6.2.1	Definizione della geometria del sistema .....	60
6.2.2	Set-up del modello .....	62

6.2.3	Scenari analizzati .....	62
6.2.4	Risultati del modello idraulico della rete scolante .....	69
6.2.4.1	Scenario B.....	69
6.2.4.2	Scenario C.....	81
6.2.4.3	Scenario D.....	93
6.2.4.4	Scenari estremi.....	107
<b>6.3</b>	<b>Valutazione dell'insieme degli scenari analizzati .....</b>	<b>112</b>
7	DEFINIZIONE DEI FATTORI DI SICUREZZA .....	113
8	CONCLUSIONI.....	114
9	REFERENZE.....	116



## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Andamento nel tempo della variazione di pressione media (bar) nei pool mineralizzati fornita dal modello fluidodinamico Eclipse durante il periodo dicembre 1988 - marzo 2017.....	12
Figura 2: Andamento nel tempo della variazione di pressione media (bar) nei pool mineralizzati prevista dal modello fluidodinamico Eclipse durante il periodo gennaio 2018 - giugno 2028. ....	13
Figura 3: Vista prospettica della griglia tridimensionale FEM. La scala verticale è amplificata 2 volte rispetto a quella orizzontale.....	13
Figura 4: Particolare della sezione della griglia di calcolo in corrispondenza dei livelli mineralizzati. In nero sono evidenziati i profili delle faglie inserite nel modello geomeccanico e in rosso sono riportate le quote di chiusura della Faglia 2 sul livello BB1L e delle Faglie 4 e 5 sul Pliocene. La scala verticale è amplificata 2 volte rispetto a quella orizzontale.....	15
Figura 5: Vista in pianta delle faglie e della loro discretizzazione mediante elementi di interfaccia. Le faglie 2, 4 e 5 sono evidenziate rispettivamente in verde, rosso e viola. In blu è evidenziata la traccia del giacimento e in nero il perimetro dell'area interessata dal rilievo sismico 3D che ha permesso di mappare con precisione la giacitura delle superfici di faglia.....	16
Figura 6: Pressione indisturbata $P_0$ al variare della profondità in corrispondenza al pozzo SP-6d...20	
Figura 7: Spostamento verticale (cm) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SG1: a) spostamento verticale sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) spostamento verticale in scala di colori (in blu la traccia del giacimento).....	24
Figura 8: Spostamento verticale (cm) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SG2: a) spostamento verticale sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) spostamento verticale in scala di colori (in blu la traccia del giacimento).....	25
Figura 9: Spostamento verticale (cm) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SG3: a) spostamento verticale sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) spostamento verticale in scala di colori (in blu la traccia del giacimento).....	26
Figura 10: Gradiente dello spostamento verticale (mm/m) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SG1: a) gradiente sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) gradiente in scala di colori (in blu la traccia del giacimento).....	28

Figura 11: Gradiente dello spostamento verticale (mm/m) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SG2: a) gradiente sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) gradiente in scala di colori (in blu la traccia del giacimento). .....29

Figura 12: Gradiente dello spostamento verticale (mm/m) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SG3: a) gradiente sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) gradiente in scala di colori (in blu la traccia del giacimento). .....30

Figura 13. Rappresentazione dello stato tensionale nel piano  $\sigma$ - $\tau$  e spostamento dei cerchi di Mohr-Coulomb a seguito dello stoccaggio ( $p > p_0$ ) o erogazione ( $p < p_0$ ) di fluidi dal sottosuolo.....31

Figura 14: Variazione di pressione (bar) durante un ciclo di stoccaggio. In rosso/arancione è evidenziato il volume di roccia  $V_R$  in cui la variazione di pressione è superiore ai 60 bar. ....34

Figura 15: Variazione della tensione normale al piano di faglia  $\Delta\sigma_N$  (bar) in un ciclo di stoccaggio nello scenario “base” TF1: a) vista in pianta; b) vista assonometrica. ....36

Figura 16: Variazione della tensione normale al piano di faglia  $\Delta\tau$  (bar) in un ciclo di stoccaggio nello scenario “base” TF1: a) vista in pianta; b) vista assonometrica. ....37

Figura 17: Stato tensionale ( $\sigma_N$ ,  $\tau$ ) nella zona più sollecitata di ogni faglia (F2, F4 e F5) in alcuni istanti significativi per lo scenario TF1: T0) stato iniziale indisturbato (2013); T1) termine della fase di stoccaggio; T2) termine della fase di erogazione .....38

Figura 18: Stato tensionale ( $\sigma_N$ ,  $\tau$ ) nella zona più sollecitata di ogni faglia (F2, F4 e F5) in alcuni istanti significativi per lo scenario TF2: T0) stato iniziale indisturbato (2013); T1) termine della fase di stoccaggio; T2) termine della fase di erogazione.....39

Figura 19: Stato tensionale ( $\sigma_N$ ,  $\tau$ ) nella zona più sollecitata di ogni faglia (F2, F4 e F5) in alcuni istanti significativi per lo scenario TF3: T0) stato iniziale indisturbato (2013); T1) termine della fase di stoccaggio; T2) termine della fase di erogazione.....39

Figura 20: Stato tensionale ( $\sigma_N$ ,  $\tau$ ) nella zona più sollecitata di ogni faglia (F2, F4 e F5) in alcuni istanti significativi per lo scenario TF3: T0) stato iniziale indisturbato (2013); T1) termine della fase di stoccaggio; T2) termine della fase di erogazione. L’involuppo a rottura di Mohr-Coulomb con coesione nulla e  $\phi = 30^\circ$  è evidenziato in nero. Per ogni faglia, il coefficiente di attrito minimo necessario per non oltrepassare l’involuppo di rottura è evidenziato in rosso. ....40

Figura 21: Velocità verticale media (mm/anno) nei PS nel periodo 2013 – 2017: a) misurata dal SAR, b) calcolata con  $c_M$  media; c) calcolata con  $c_M +95\%$ . .....42

Figura 22: Traccia del giacimento e sezione A-A evidenziate in verde e nero, rispettivamente. ....	43
Figura 23: Variazione di tensione verticale $\Delta\sigma_z$ (bar) in un ciclo di stoccaggio con $P_{MAX} = 360$ bar ( $P_{MAX}=1.8Pi$ ), nella sezione verticale A-A di Figura 22. La scala verticale è amplificata due volte rispetto a quella orizzontale.....	43
Figura 24: Particolare 1 di Figura 23. La scala verticale è amplificata due volte rispetto a quella orizzontale.....	44
Figura 25: Particolare 2 di Figura 23. La scala verticale è amplificata due volte rispetto a quella orizzontale.....	44
Figura 26: Inquadramento territoriale con indicazione planimetrica della rete scolante e la traccia dei giacimenti di produzione primaria e UGS.....	46
Figura 27: Bacini idrografici principali del comprensorio di bonifica analizzato con HEC-HMS.....	48
Figura 28: Schematizzazione del Nuovo Tratturo nel modello HEC-HMS.....	49
Figura 29: Schematizzazione del Canal Vela nel modello HEC-HMS.....	50
Figura 30: Schematizzazione dello Scolo Alfonsine nel modello HEC-HMS.....	52
Figura 31: Schematizzazione del Fosso Vecchio nel modello HEC-HMS.....	53
Figura 32 Fosso Vecchio e Canal Vela: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.....	56
Figura 33 Scolo Alfonsine: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.....	57
Figura 34 Scolo Nuovo Tratturo: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.....	57
Figura 35: Nuovo Tratturo: idrogramma risultante alla sezione di chiusura. ....	58
Figura 36: Canal Vela: idrogramma risultante alla sezione di chiusura. ....	59
Figura 37: Scolo Alfonsine: idrogramma risultante alla sezione di chiusura. ....	59
Figura 38: Fosso Vecchio: idrogramma risultante alla sezione di chiusura. ....	60
Figura 39: Schematizzazione del comprensorio di bonifica nel modello HEC-RAS. ....	61
Figura 40: Spostamenti (cm) in corrispondenza del giacimento di San Potito per gli scenari B e C. Gli spostamenti sono il risultato del modello geomeccanico con $c_{M\ media}$ e $P = 240$ bar ( $P = 1.2 Pi$ ), ovvero lo scenario “base” analizzato nella precedente fase dello studio [M³E, 2017].....	63
Figura 41: Spostamento (cm) considerato negli scenari B (a) e C (b) fornito dal modello geomeccanico di San Potito nel caso “base” con $P = 240$ bar ( $P = 1.2 Pi$ ) e con $c_{M\ media}$ . La traccia del giacimento di San Potito è riportata in rosso, assieme a quelle dei campi di Longanesi (in viola) e Alfonsine (in verde). La rete scolante nel modello HEC-RAS è evidenziata in blu. ....	64

Figura 42: Spostamento (cm) dovuto alle attività minerarie nel campo di Alfonsine (a) e Longanesi (b) corrispondente allo “scenario C”. Le mappe sono state desunte dai rapporti di Teatini et al. [2017] e dallo scenario “Cmed_Kdef” (interpolato all’anno 2030) in ENI [2010], rispettivamente. Le tracce dei giacimenti di San Potito, Longanesi e Alfonsine sono evidenziate rispettivamente in rosso, viola e verde. La rete scolante nel modello HEC-RAS è evidenziata in blu. ....	65
Figura 43: Spostamento (cm) considerato nello scenario D. Le tracce dei giacimenti di San Potito, Longanesi e Alfonsine sono evidenziate rispettivamente in rosso, viola e verde. La rete scolante nel modello HEC-RAS è evidenziata in blu. ....	66
Figura 44: Sezione Sud-Ovest – Nord-Est delle mappe di spostamento (cm) di Figura 41a, Figura 42a, Figura 42b e Figura 43, rispettivamente in rosso, verde, viola e nero. ....	66
Figura 45: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Destra Reno. ....	69
Figura 46: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Nuovo Tratturo. ....	70
Figura 47: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Traversagno. ....	70
Figura 48: Profilo dei livelli massimi lungo il Canal Vela. ....	71
Figura 49: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo. ....	72
Figura 50: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Casale. ....	72
Figura 51: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fossatone di San Bernardino. ....	73
Figura 52: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Lunga a Ponente. ....	73
Figura 53: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova nel Casale. ....	74
Figura 54: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Ascensione. ....	74
Figura 55: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello. ....	75
Figura 56: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Runzi. ....	75
Figura 57: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Santa Lucia. ....	76
Figura 58: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Frassona Maggiore. ....	76
Figura 59: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Cocorre. ....	77
Figura 60: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Sant’Antonio. ....	77
Figura 61: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Fusignano. ....	78
Figura 62: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova. ....	78
Figura 63: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Alfonsine. ....	79
Figura 64: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vecchio. ....	80
Figura 65: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vetro. ....	80

Figura 66: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio.....	81
Figura 67: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Destra Reno.....	81
Figura 68: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Nuovo Tratturo.....	82
Figura 69: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Traversagno.....	82
Figura 70: Profilo dei livelli massimi lungo il Canal Vela.....	83
Figura 71: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo.....	84
Figura 72: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Casale.....	84
Figura 73: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fossatone di San Bernardino.....	85
Figura 74: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Lunga a Ponente.....	85
Figura 75: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova nel Casale.....	86
Figura 76: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Ascensione.....	86
Figura 77: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello.....	87
Figura 78: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Runzi.....	87
Figura 79: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Santa Lucia.....	88
Figura 80: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Frassona Maggiore.....	88
Figura 81: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Cocorre.....	89
Figura 82: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Sant'Antonio.....	89
Figura 83: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Fusignano.....	90
Figura 84: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova.....	90
Figura 85: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Alfonsine.....	91
Figura 86: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vecchio.....	92
Figura 87: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vetro.....	92
Figura 88: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio.....	93
Figura 89: Variazione di livello idrico (cm) lungo la rete scolante nel modello HEC-RAS nello scenario D. Le tracce dei giacimenti di San Potito, Longanesi e Alfonsine sono evidenziate rispettivamente in nero, viola e arancione.....	94
Figura 90: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Destra Reno.....	95
Figura 91: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Nuovo Tratturo.....	96
Figura 92: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Traversagno.....	96
Figura 93: Profilo dei livelli massimi lungo il Canal Vela.....	97
Figura 94: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo.....	98

Figura 95: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Casale. ....	98
Figura 96: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fossatone di San Bernardino. ....	99
Figura 97: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Lunga a Ponente. ....	99
Figura 98: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova nel Casale. ....	100
Figura 99: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Ascensione. ....	100
Figura 100: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello. ....	101
Figura 101: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Runzi. ....	101
Figura 102: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Santa Lucia. ....	102
Figura 103: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Frassona Maggiore. ....	102
Figura 104: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Cocorre. ....	103
Figura 105: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Sant'Antonio. ....	103
Figura 106: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Fusignano. ....	104
Figura 107: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova. ....	104
Figura 108: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Alfonsine. ....	105
Figura 109. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vecchio. ....	106
Figura 110. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vetro. ....	106
Figura 111. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio. ....	107
Figura 112. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo per lo scenario E. ....	108
Figura 113. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello per lo scenario E. ....	108
Figura 114. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Sant'Antonio per lo scenario E. ....	109
Figura 115. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio per lo scenario E. ....	109
Figura 116. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo per lo scenario F. ....	110
Figura 117. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello per lo scenario F. ....	110
Figura 118. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Sant'Antonio per lo scenario F. ....	111
Figura 119. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio per lo scenario F. ....	111

## I INTRODUZIONE

Il presente rapporto tecnico descrive i risultati ottenuti dalle analisi integrative in relazione alla sicurezza geomeccanica dello stoccaggio di gas naturale nel giacimento di San Potito e dell'impatto degli spostamenti superficiali sulla rete scolante nell'area del campo.

Lo studio costituisce un'integrazione alle analisi modellistiche condotte in precedenza [M<sup>3</sup>E, 2017]. Le finalità principali dell'integrazione sono le seguenti: (1) validare la caratterizzazione geomeccanica adottata nelle simulazioni modellistiche alla luce delle recenti misure *in situ* e prove di laboratorio condotte da EDISON STOCCAGGIO; (2) verificare le possibili criticità geomeccaniche e idrauliche a seguito del previsto progetto di stoccaggio a  $P = 240$  bar, cioè  $P = 1.2 P_i$  ( $P_i$ , pressione iniziale), con particolare riferimento al gradiente di spostamento in superficie, la tenuta strutturale del caprock, l'attivazione delle faglie e l'efficienza idraulica della rete di bonifica; (3) quantificazione dei fattori di sicurezza per ciascuna delle criticità sopra elencate.

L'analisi dei processi geomeccanici è stata condotta attraverso il modello numerico agli elementi finiti (FEM) sviluppato nelle fasi precedenti dello studio; la valutazione dell'impatto degli spostamenti superficiali sulla rete scolante è stata eseguita sviluppando un modello di deflusso superficiale con il codice HEC-RAS.

Il rapporto è strutturato come segue. Un breve riepilogo del modello fluidodinamico di giacimento fornito da EDISON STOCCAGGIO e del modello geomeccanico messo a punto da M<sup>3</sup>E negli studi precedenti è riportato al capitolo 2. Nel capitolo 3 sono le analisi eseguite con misure *in situ* e prove di laboratorio per la caratterizzazione geomeccanica dell'area del giacimento, confrontandone i risultati con le ipotesi adottate nella modellizzazione numerica. Nel capitolo 4 sono esposte le criticità analizzate e gli scenari investigati. Il capitolo 5 riassume i risultati del modello geomeccanico FEM in relazione agli spostamenti superficiali (e.g. la subsidenza), al gradiente di spostamento, all'integrità meccanica del giacimento e delle formazioni confinanti e alla propagazione del disturbo tensionale sul sistema di faglie poste in prossimità del giacimento. Il capitolo 6 riassume i risultati del modello idraulico in relazione alla variazione del livello idrico rispetto allo stato attuale in seguito alle operazioni di stoccaggio/erogazione previste. Nel capitolo 7 vengono definiti i fattori di sicurezza per ciascuna delle criticità analizzate. Infine, alcune considerazioni conclusive sono presentate nel capitolo 8.

## 2 RICHIAMI AL MODELLO DI PRODUZIONE E AL MODELLO GEOMECCANICO

EDISON STOCCAGGIO ha fornito il modello dinamico di giacimento, sviluppato mediante il software Eclipse, utilizzato per la gestione di produzione e stoccaggio nei livelli del giacimento di San Potito. Da tale modello si è ricavato l'andamento nel tempo e nello spazio della pressione di strato durante la fase di produzione primaria del campo, la seguente ripressurizzazione fino al 2017 (Figura 1) e la prevista fase di stoccaggio/erogazione di gas naturale dal 2017 al 2028 (Figura 2). La variazione di pressione in giacimento durante ciascun ciclo di stoccaggio/erogazione è pari a 60-70 bar.

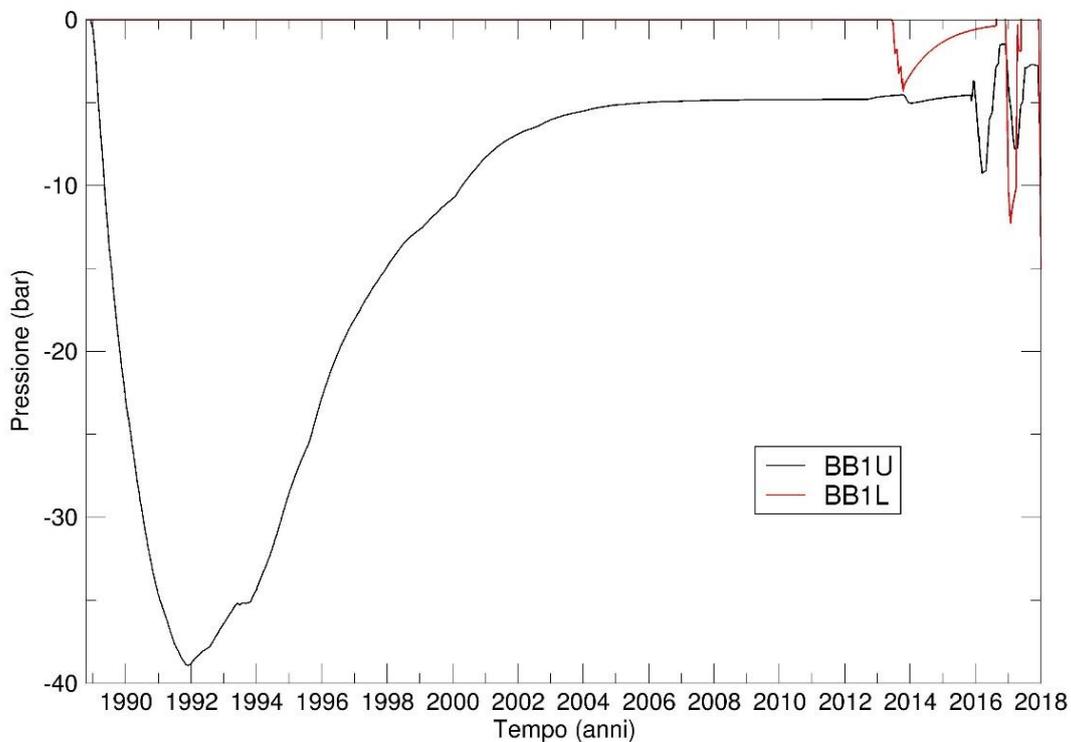


Figura 1: Andamento nel tempo della variazione di pressione media (bar) nei pool mineralizzati fornita dal modello fluidodinamico Eclipse durante il periodo dicembre 1988 - marzo 2017.

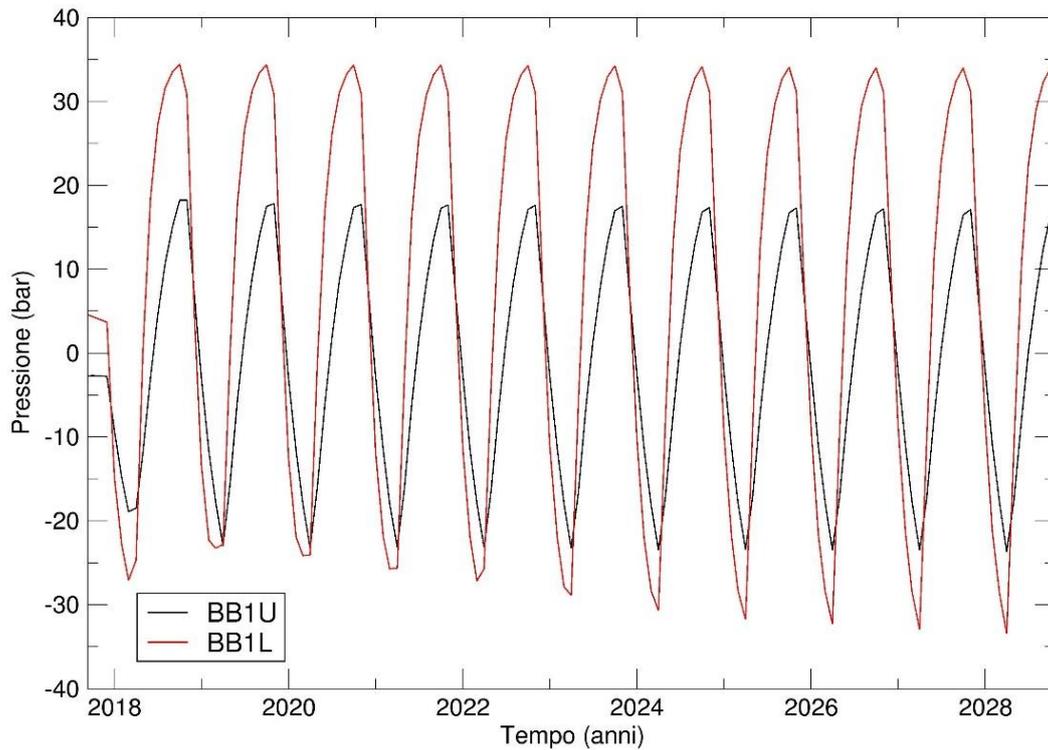


Figura 2: Andamento nel tempo della variazione di pressione media (bar) nei pool mineralizzati prevista dal modello fluidodinamico Eclipse durante il periodo gennaio 2018 - giugno 2028.

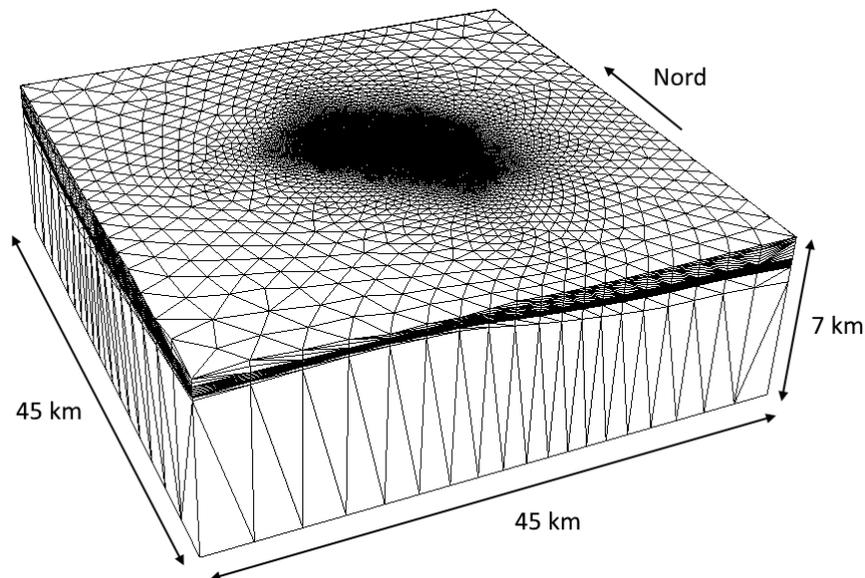


Figura 3: Vista prospettica della griglia tridimensionale FEM. La scala verticale è amplificata 2 volte rispetto a quella orizzontale.

Il modello geomeccanico sviluppato nello studio precedente [M<sup>3</sup>E, 2017] utilizza un dominio di calcolo con estensione areale 45x45 km in cui il giacimento di San Potito è collocato in posizione baricentrica. La griglia di calcolo 3D è stata ottenuta utilizzando il generatore automatico di griglie TetGen [Si, 2008], con l'accortezza di vincolare i vari layer di elementi finiti alla geometria degli orizzonti geologici. È stato così generato un dominio parallelepipedo che ha il basamento posto a 7 km di profondità, è limitato superiormente dalla superficie del terreno ed è discretizzato in modo tale da riprodurre con accuratezza le chiusure a pinch-out dei livelli geologici, i volumi dei pool mineralizzati, le quote dei GWC e le geometrie dell'acquifero connesso idraulicamente al giacimento. La vista prospettica dell'intera griglia del modello geomeccanico è mostrata in Figura 3. Le tre faglie più vicine al giacimento (faglie 2, 4 e 5), e conseguentemente interessate da un maggior disturbo tensionale a seguito delle operazioni di produzione e erogazione/stoccaggio, sono state inserite nel modello geomeccanico (Figura 4 e Figura 5). Tali discontinuità strutturali sono state rappresentate inserendo all'interno della griglia ad elementi finiti degli appropriati elementi detti "elementi d'interfaccia" che, raddoppiando i nodi giacenti sulla superficie lungo la quale la faglia si sviluppa, permettono la simulazione della possibile riattivazione della discontinuità qualora lo stato tensionale raggiunga un valore critico definito, ad esempio, attraverso un criterio alla Mohr-Coulomb [Franceschini *et al.*, 2016]. Sono stati utilizzati 4,939 elementi di interfaccia per simulare il comportamento delle tre faglie. La griglia così generata consiste complessivamente di 1,078,733 nodi e 6,629,877 elementi.

La caratterizzazione geomeccanica del modello è stata eseguita utilizzando una relazione costitutiva che fornisce la compressibilità verticale  $c_M$  del mezzo poroso in funzione della tensione verticale efficace  $\sigma_z$ . Nel caso in esame, è stata utilizzata come relazione costitutiva quella ricavata per l'Alto Adriatico attraverso l'analisi statistica delle misure di compattazione in situ attraverso la tecnica dei marker radioattivi [Baù *et al.*, 2002] e poi validata attraverso l'interpretazione di misure InSAR su alcuni campi di stoccaggio già in esercizio nella Pianura Padana [Ferronato *et al.*, 2013]. In particolare, il valor medio  $c_{M \text{ media}}$  e il limite superiore dell'intervallo di confidenza al 95%  $c_{M +95\%}$  risultano essere:

$$c_{M \text{ media}} = 0.01004 \times \sigma_z^{-1.1347} \quad (1)$$

$$c_{M +95\%} = 0.01959 \times \sigma_z^{-1.1347} \quad (2)$$

con  $c_M$  espressa in  $\text{MPa}^{-1}$  e  $\sigma_z$  espressa in MPa.

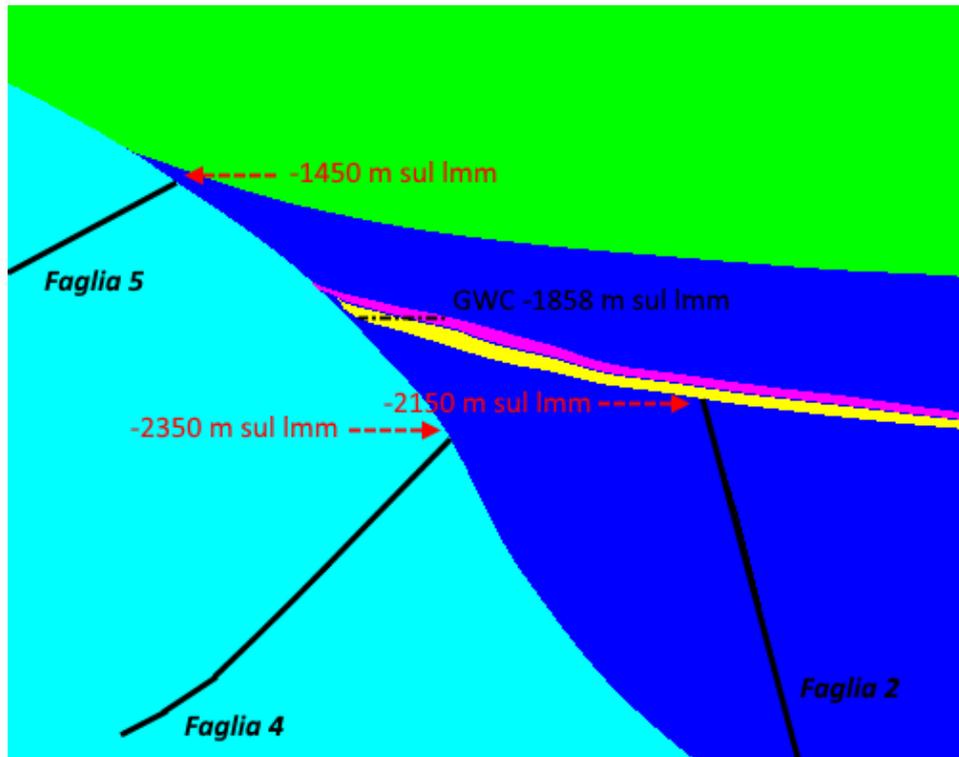


Figura 4: Particolare della sezione della griglia di calcolo in corrispondenza dei livelli mineralizzati. In nero sono evidenziati i profili delle faglie inserite nel modello geomeccanico e in rosso sono riportate le quote di chiusura della Faglia 2 sul livello BBIL e delle Faglie 4 e 5 sul Pliocene. La scala verticale è amplificata 2 volte rispetto a quella orizzontale.

Durante i cicli di erogazione/stoccaggio la deformazione del mezzo poroso è governata dalla compressibilità verticale  $c_M$  in II ciclo di carico. Per determinarne il valore, è necessario conoscere il rapporto  $s$  tra la compressibilità verticale in I e in II ciclo al momento dell'inversione del carico. Una volta transitata in II ciclo, la  $c_M$  può ancora essere descritta da una funzione esponenziale di  $\sigma_z$  utilizzando la procedura riportata in Baù et al. [2000]. Per il parametro  $s$  si è utilizzato un valore pari a 3 come adottato per altri campi del bacino padano [Teatini et al., 2011; Janna et al., 2012]. Per il modulo di Poisson è stato utilizzato il valore  $\nu = 0.3$  sulla base dei dati di bibliografia. Infine, per il calcolo dello stato tensionale verticale iniziale è stato utilizzato il gradiente di overburden già utilizzato per ricavare la legge dell'Alto Adriatico ottenuto dal density log del pozzo Amelia-21:

$$\text{obg}(z) = 10^{-6} \times (3270.8771 + 2415.588 \times \ln z)$$

con obg espresso in MPa/m e la profondità  $z$  in m.

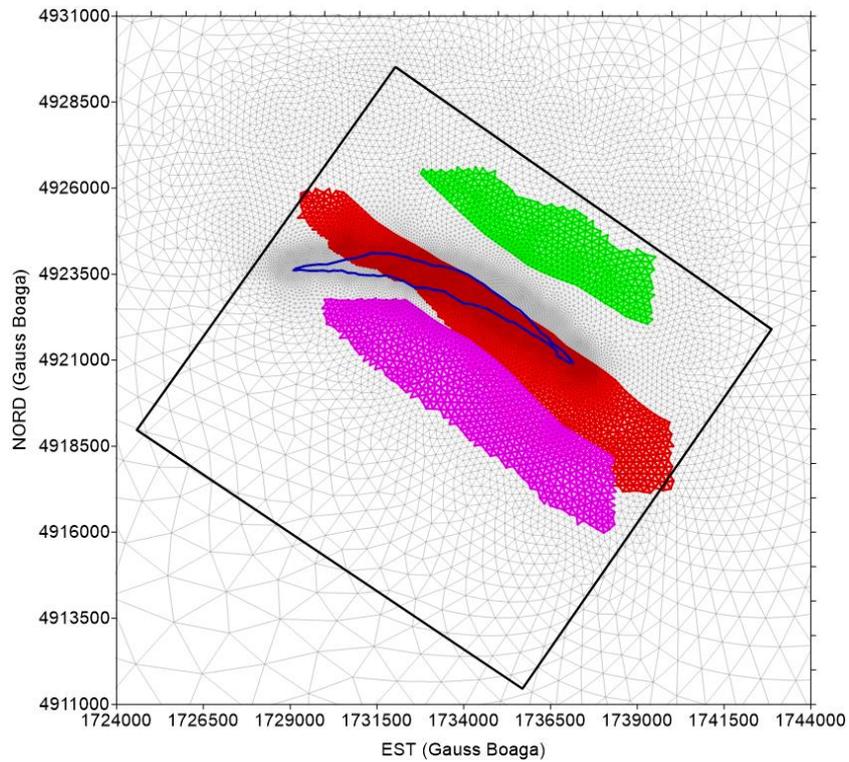


Figura 5: Vista in pianta delle faglie e della loro discretizzazione mediante elementi di interfaccia. Le faglie 2, 4 e 5 sono evidenziate rispettivamente in verde, rosso e viola. In blu è evidenziata la traccia del giacimento e in nero il perimetro dell'area interessata dal rilievo sismico 3D che ha permesso di mappare con precisione la giacitura delle superfici di faglia.

### 3 CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE DELLE CONDIZIONI GEOMECCANICHE

EDISON STOCCAGGIO ha recentemente condotto delle prove *in situ* e in laboratorio sulle rocce del reservoir e del caprock di San Potito, con l'obiettivo di caratterizzare dal punto di vista geomeccanico le formazioni geologiche interessate dalle operazioni di stoccaggio. In particolare sono stati eseguiti:

- test di laboratorio su 29 m di carote prelevate dal pozzo “San Potito A1dir” (SP-A1d) tra le profondità 1921 m (caprock) a 1950 m (reservoir) [GEOSTOCK, 2012];
- test di laboratorio su 20.35 m di carote prelevate dal pozzo “San Potito A2dir” (SP-A2d) da 2551 m MD a 2275 m MD (caprock) [EDISON EDF GROUP, 2018];
- stress test MDT al pozzo “San Potito 6dir” (SP-6d) [Schlumberger, 2018].

Nel seguito sono analizzati i parametri geomeccanici desunti dalle prove di laboratorio e dai test *in situ*, confrontandoli con quelli utilizzati nel modello geomeccanico e nelle verifiche strutturali dello studio modellistico condotto da M³E [2017]. Nel dettaglio, i parametri presi in considerazione sono i seguenti: la compressibilità verticale edometrica del mezzo poroso  $c_M$ , la coesione, l'angolo d'attrito e il regime tensionale naturale.

#### 3.1 Parametri geomeccanici

La caratterizzazione geomeccanica del modello di simulazione è stata eseguita utilizzando la relazione costitutiva che fornisce la  $c_M$  del mezzo poroso in funzione della tensione verticale efficace  $\sigma_z$  (eq. 1) mentre per il modulo di Poisson è stato utilizzato il valore  $\nu = 0.3$  sulla base dei dati di bibliografia.

Dalle prove triassiali sui campioni prelevati ai pozzi SP-A1d e SP-A2d è stato misurato il modulo di Young  $E$  al variare della pressione di confinamento. Il valore di  $E$  è legato alla compressibilità edometrica dalla ben nota relazione  $c_M = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{E(1-\nu)}$ , con il coefficiente di Poisson  $\nu$  stimato in 0.3.

In Tabella I sono riportati i valori di  $E$  misurati ( $E_M$ ) e derivati dalla relazione  $c_M - \sigma_z$  utilizzata nello studio modellistico ( $E_{GM}$ ) per diversi valori rispettivamente della pressione di confinamento e della tensione verticale efficace. Il confronto tra i due set di valori evidenzia come la caratterizzazione geomeccanica utilizzata nel modello sia in linea con i valori ricavati dalle prove di laboratorio.

Pressione di confinamento / Tensione verticale (Mpa)	$E_{MI}$ (GPa)	$E_{MG}$ (GPa)
5	0.57	0.46
7.5	0.48	0.72
10	1.39	1.00

Tabella 1: Modulo di Young  $E$  misurato ( $E_{MI}$ ) e derivato dalla relazione costitutiva  $c_M - \sigma_z$  adottata nel modello geomeccanico ( $E_{MG}$ ), per diversi valori di pressione di confinamento e tensione verticale.

	Prova di taglio diretto	Prova a trazione diretta	Utilizzati nella verifica strutturale
Resistenza a trazione (bar)	0	0.7 - 1.3	0
Coesione (bar)	0 - 0.56	-	0
Angolo d'attrito ( $^\circ$ )	31 - 37	-	30

Tabella 2: Parametri costitutivi del modello di Mohr-Coulomb misurati e adottati nelle verifiche strutturali.

### 3.2 Parametri per la valutazione dell'integrità meccanica

Per quanto riguarda la valutazione dell'integrità meccanica della roccia serbatoio, delle formazioni confinanti e la possibile attivazione delle faglie, il criterio di rottura adottato è quello di Mohr-Coulomb. In Tabella 2 sono riportati i valori dei parametri costitutivi del modello di Mohr-Coulomb (resistenza a trazione, coesione e angolo d'attrito) misurati dalle prove di taglio diretto e trazione diretta (brasiliiana) e quelli implementati nel modello geomeccanico 3D: i valori utilizzati sono consistenti con quelli ricavati in laboratorio, e comunque conservativi.

### 3.3 Regime tensionale naturale

Lo stato tensionale naturale considerato nel modello geomeccanico è di tipo normale: le tensioni principali orizzontali sono pari alla tensione verticale moltiplicata per il coefficiente di confinamento  $M$ . Data la peculiarità generale del bacino padano di essere in condizioni di normal-consolidazione fino a profondità relativamente elevate [Montone et al., 2004], il coefficiente di confinamento

utilizzato è pari a quello fornito dalla relazione  $M = \frac{\nu}{1-\nu} = 0.43$ . Secondo analisi più recenti [Carminati et al., 2010], tale valore di M risulta essere particolarmente cautelativo alla luce di quanto riportato dagli autori citati per la profondità del giacimento di San Potito in una zona non distante dal campo oggetto del presente studio: si evidenzia infatti la presenza di una zona di transizione da un regime "shallow tensional" ( $\sigma_h < \sigma_H < \sigma_z$ ), con  $\sigma_h$  e  $\sigma_H$  le tensioni principali orizzontali rispettivamente minima e massima, a "strike-slip" ( $\sigma_h < \sigma_z < \sigma_H$ ), se non addirittura "compressivo" ( $\sigma_z < \sigma_h < \sigma_H$ ). Per il calcolo dello stato tensionale verticale è stato utilizzato il gradiente di overburden ottenuto dal density log del pozzo Amelia-21.

Al pozzo SP-6d sono stati eseguiti 2 stress test MDT per determinare il valore della tensione principale orizzontale (minima). In Tabella 3 sono riportati i valori della tensione principale orizzontale misurati e utilizzati nel modello geomeccanico 3D: il confronto evidenzia come i valori utilizzati nel modello geomeccanico siano in linea con quelli misurati *in situ*, e comunque conservativi.

Quota (TVD m)	P0 (bar)	CP (bar)	$\sigma_h$ MDT (bar) = CP – P0	$\sigma_z$ MG (bar)	$\sigma_h$ MG (bar) = M x $\sigma_z$
-1773	195	284	<b>89</b>	180	<b>77</b>
-1927	207	321	<b>114</b>	195	<b>84</b>

Tabella 3: Pressione indisturbata P0 ottenuta dalle misure riportate in Figura 6, Closure Pressure CP e tensione orizzontale  $\sigma_h$  misurata (MDT) e assunta nel Modello Geomeccanico (MG) in corrispondenza alle quote dove è stato condotto lo stress test.

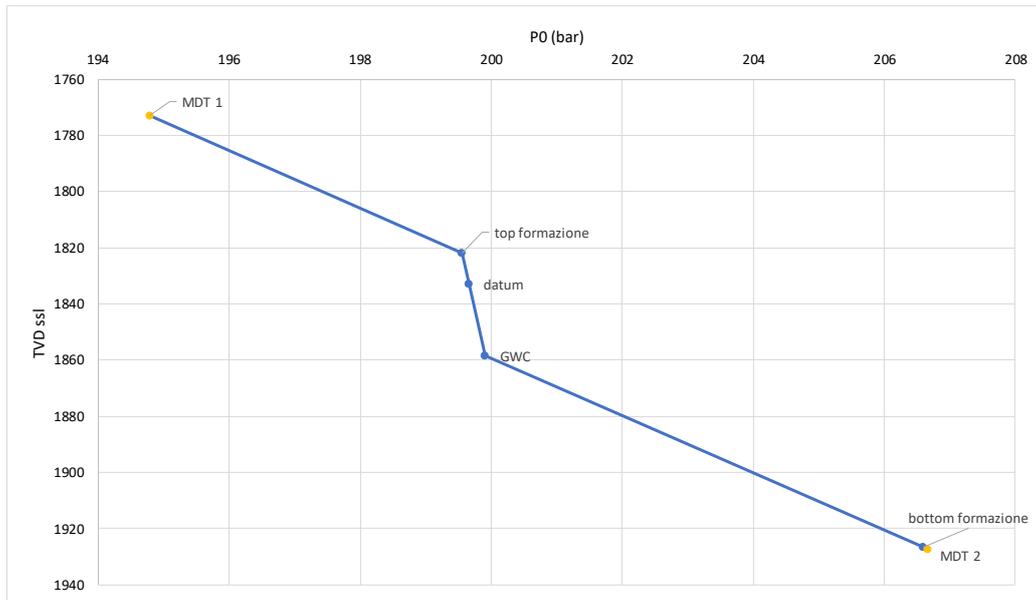


Figura 6: Pressione indisturbata  $P_0$  al variare della profondità in corrispondenza al pozzo SP-6d.

## 4 CRITICITÀ E SCENARI ANALIZZATI

Le attività di stoccaggio/erogazione inducono variazioni di tensione e di deformazione, con la perturbazione della tensione che rimane sostanzialmente confinata all'interno della roccia serbatoio mentre le deformazioni si propagano fino in superficie. In questo ambito, una valutazione esaustiva del possibile impatto delle attività UGS previste deve considerare i seguenti elementi di possibile criticità:

- il gradiente dello spostamento verticale in superficie (C1): la generazione di cedimenti e/o spostamenti differenziali può indebolire la capacità portante di manufatti e/o infrastrutture sovrastanti il giacimento e le aree limitrofe, causando l'innescio di fessurazioni o deformazioni inaccettabili in relazione all'integrità della struttura;
- l'integrità meccanica della roccia serbatoio e delle formazioni confinanti (C2): la generazione di fratture/fessurazioni per rottura a taglio può causare micro-sismicità o compromettere la tenuta idraulica del caprock;
- la riattivazione delle faglie prossime al giacimento (C3): la riattivazione delle faglie in prossimità del campo può causare sismicità indotta;
- l'efficienza idraulica della rete di bonifica (C4): la generazione di spostamenti del piano campagna modifica le quote altimetriche della rete idraulica naturale e artificiale con una possibile riduzione dell'efficienza idraulica della stessa e, di conseguenza, maggiori rischi di esondazioni / allagamenti (minore sicurezza idraulica) o la necessità di un utilizzo più massivo degli impianti di sollevamento idrico.

Mantenendo inalterato il campo di pressione a seguito dello stoccaggio/erogazione a  $P = 240$  bar, cioè  $P = 1.2 P_i$ , nelle analisi che seguono le criticità C1 – C4 sono state valutate per diversi scenari ottenuti variando alcuni dei parametri di configurazione del modello geomeccanico sviluppato nello studio precedente [M<sup>3</sup>E, 2017]. La finalità è quella di analizzare quale è il grado di sicurezza dello sviluppo proposto a  $P = 1.2 P_i$  in relazione a possibili conseguenze di origine geomeccanica. Nel dettaglio, sono stati presi in considerazione i seguenti scenari:

- una diversa compressibilità edometrica verticale  $c_M$ : è stato considerato sia il valor medio  $c_{M, media}$  fornito per il bacino padano dalla letteratura specialistica [Baù et al., 2002; Ferronato et al., 2013], sia il limite superiore dell'intervallo di confidenza al 95%  $c_{M, +95\%}$  - ovvero una compressibilità assai elevata sulla base dei dati a disposizione - come definito in Baù et al.,

[2002]. Si fa presente che il bacino padano è una delle zone con la migliore caratterizzazione geomeccanica a livello mondiale visti i numerosissimi studi condotti sulla tematica della subsidenza a partire dagli anni 1980;

- una maggiore variazione di pressione: la variazione di pressione generata dalle attività di stoccaggio/erogazione come previste dal modello Eclipse  $P = 240$  bar ( $P = 1.2 P_i$ ) (Figura 2) è stata amplificata fino a  $P_{MAX} = 360$  bar ( $P_{MAX} = 1.8 P_i$ ).

## 5 QUANTIFICAZIONE DELLE CRITICITÀ: ANALISI CON IL MODELLO GEOMECCANICO

Per i diversi scenari sopra delineati, di seguito sono riportati i risultati del modello FEM geomeccanico in termini di spostamenti e spostamenti differenziali in superficie, nonché variazione di tensione in un ciclo di stoccaggio standard (primavera 2023 – autunno 2023). Tali movimenti e variazioni di tensione si ripetono ad ogni ciclo in modo sostanzialmente identico in modulo e di segno opposto in fase di erogazione in quanto i) la variazione di pressione attesa in giacimento si ripete in modo sostanzialmente identico in tutti i cicli di stoccaggio ed erogazione e ii) il comportamento geomeccanico della roccia serbatoio in fase di scarico/ricarico (Il ciclo di carico) è sostanzialmente elastico [Teatini et al., 2011].

### 5.1 Spostamenti della superficie del terreno

In Tabella 4 sono riassunti i parametri di configurazione degli scenari analizzati; da notare che lo scenario SG1 corrisponde allo scenario “base” già esaminato nella fase precedente dello studio geomeccanico. In Figura 7, Figura 8 e Figura 9 si riportano le mappe degli spostamenti verticali durante un ciclo di stoccaggio, con i valori massimi  $\Delta U_{MAX}$  che sono riassunti in Tabella 5: rispetto allo scenario base SG1, gli scenari SG2 e SG3 hanno spostamenti che risultano moltiplicati per un fattore pari rispettivamente a circa 2 e 5.

Scenario	$c_M$	$P_{MAX}$
SG1	$c_{M \text{ media}}$	240 bar = 1.2 Pi
SG2	$c_{M +95\%}$	240 bar = 1.2 Pi
SG3	$c_{M \text{ media}}$	360 bar = 1.8 Pi

Tabella 4: Parametri di configurazione degli scenari investigati in relazione agli spostamenti in superficie e al gradiente dello spostamento verticale.

Scenario	$\Delta U_{MAX}$ (cm)
SG1	1.2
SG2	2.7
SG3	6.3

Tabella 5: Spostamenti massimi durante un ciclo di stoccaggio  $U_{MAX}$  per i diversi scenari investigati.

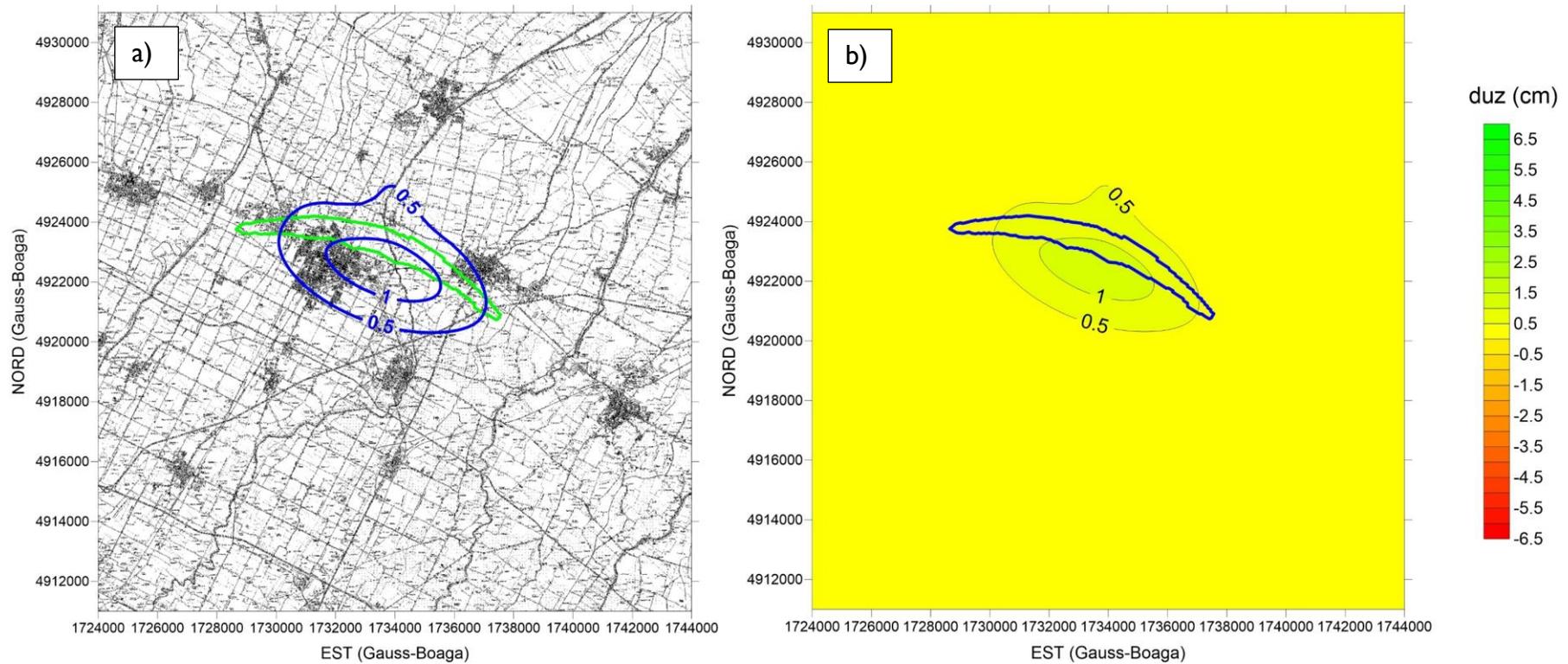


Figura 7: Spostamento verticale (cm) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SGI: a) spostamento verticale sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) spostamento verticale in scala di colori (in blu la traccia del giacimento).

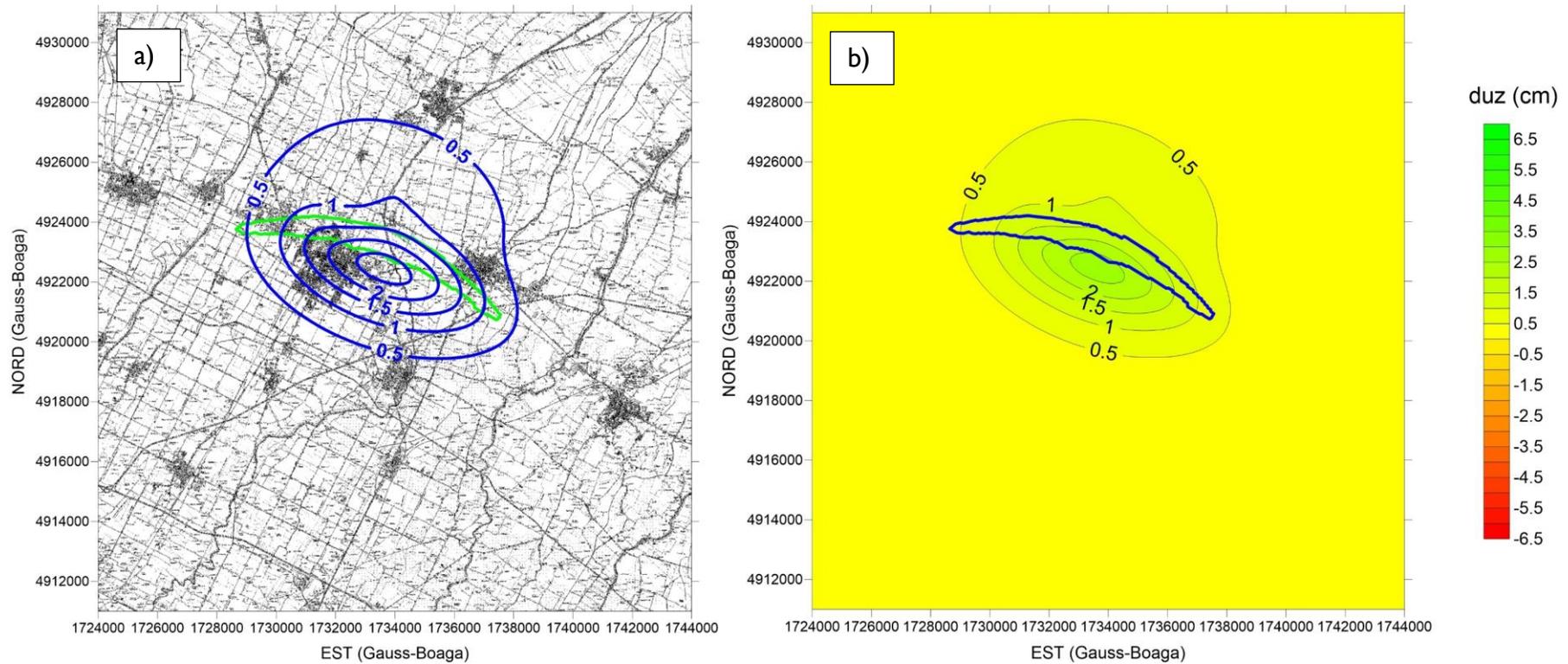


Figura 8: Spostamento verticale (cm) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SG2: a) spostamento verticale sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) spostamento verticale in scala di colori (in blu la traccia del giacimento).

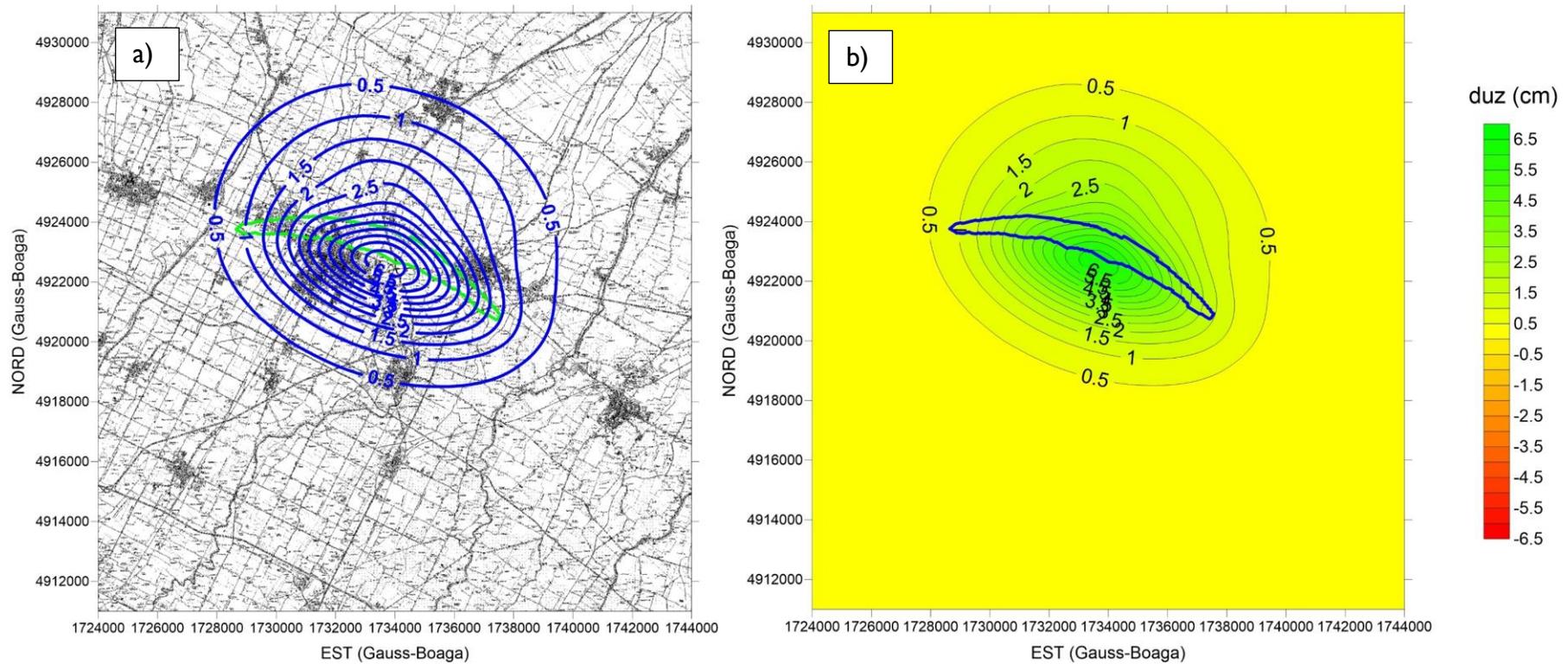


Figura 9: Spostamento verticale (cm) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SG3: a) spostamento verticale sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) spostamento verticale in scala di colori (in blu la traccia del giacimento).

## 5.2 Gradiente dello spostamento verticale

A partire dal campo di spostamento fornito dal modello, il calcolo degli spostamenti differenziali si esegue con una semplice operazione “gradiente”. In Figura 10, Figura 11 e Figura 12 sono riportati i risultati ottenuti durante il ciclo di stoccaggio per gli stessi scenari riportati in Tabella 4.

Tali gradienti assumono significato qualora vengano confrontati con le distorsioni massime ammissibili per strutture di superficie. Le strutture multipiano in muratura sono le più sensibili agli spostamenti differenziali, con il limite più cautelativo per il gradiente di deformazione verticale fissato in  $50e-5$ , vale a dire 5 cm su 100 m [Viggiani, 2003]. I limiti ammissibili consigliati per tutti gli altri tipi di struttura sono superiori a quest’ultimo [Simeoni et al., 2017], anche di 100 volte per fabbricati flessibili come quelli realizzati in acciaio. In Tabella 6, per ogni scenario, è riportato il gradiente massimo  $G_{Max}$  e il rapporto in termini percentuali tra il gradiente massimo e il gradiente limite  $G_L$  per strutture multipiano in muratura: nel caso più gravoso, SG3, il gradiente massimo è inferiore al 6% del valore limite.

Scenario	$G_{Max}$	$G_{Max}/G_L$ (%)
SG1	0.7e-5	1.3
SG2	1.3e-5	2.6
SG3	2.8e-5	5.6

Tabella 6: Gradiente massimo  $G_{Max}$  e rapporto tra il gradiente massimo e il gradiente limite  $G_L$  per strutture multipiano in muratura ( $50e-5$ ) per ogni scenario investigato.

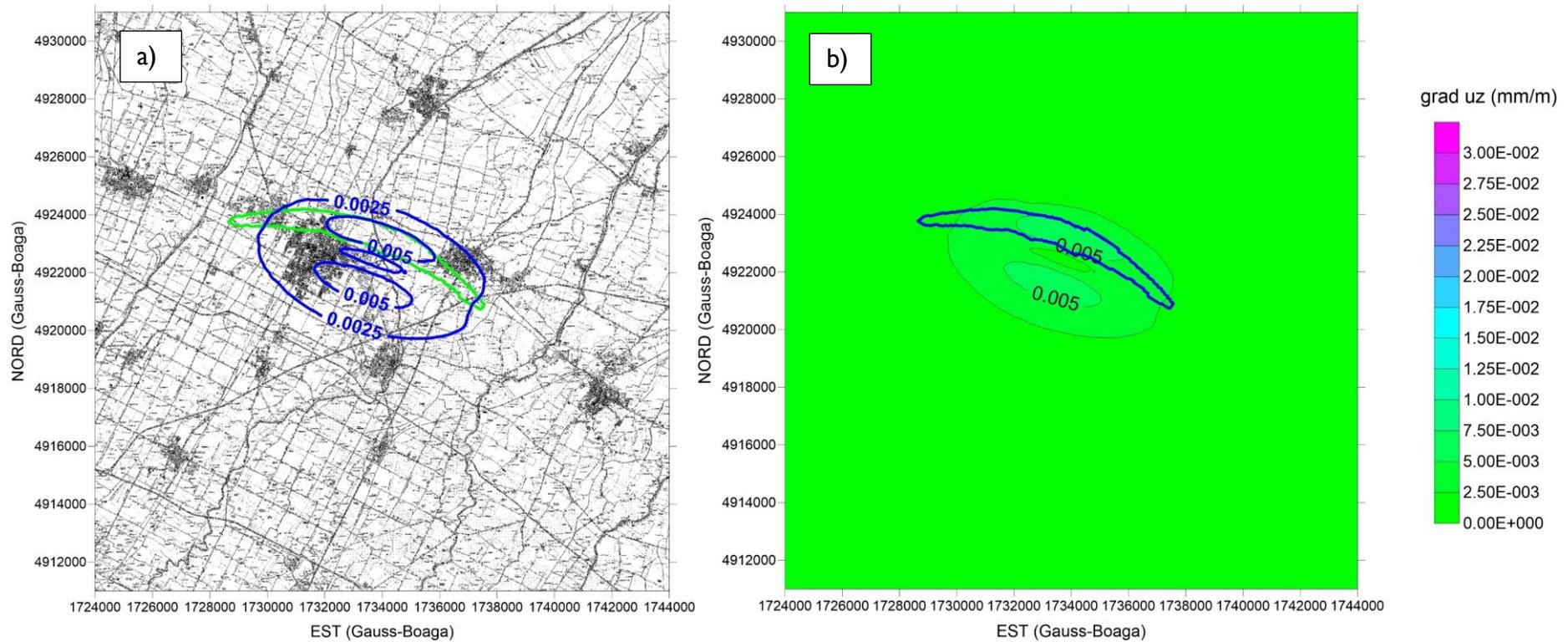


Figura 10: Gradiente dello spostamento verticale (mm/m) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SGI: a) gradiente sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) gradiente in scala di colori (in blu la traccia del giacimento).

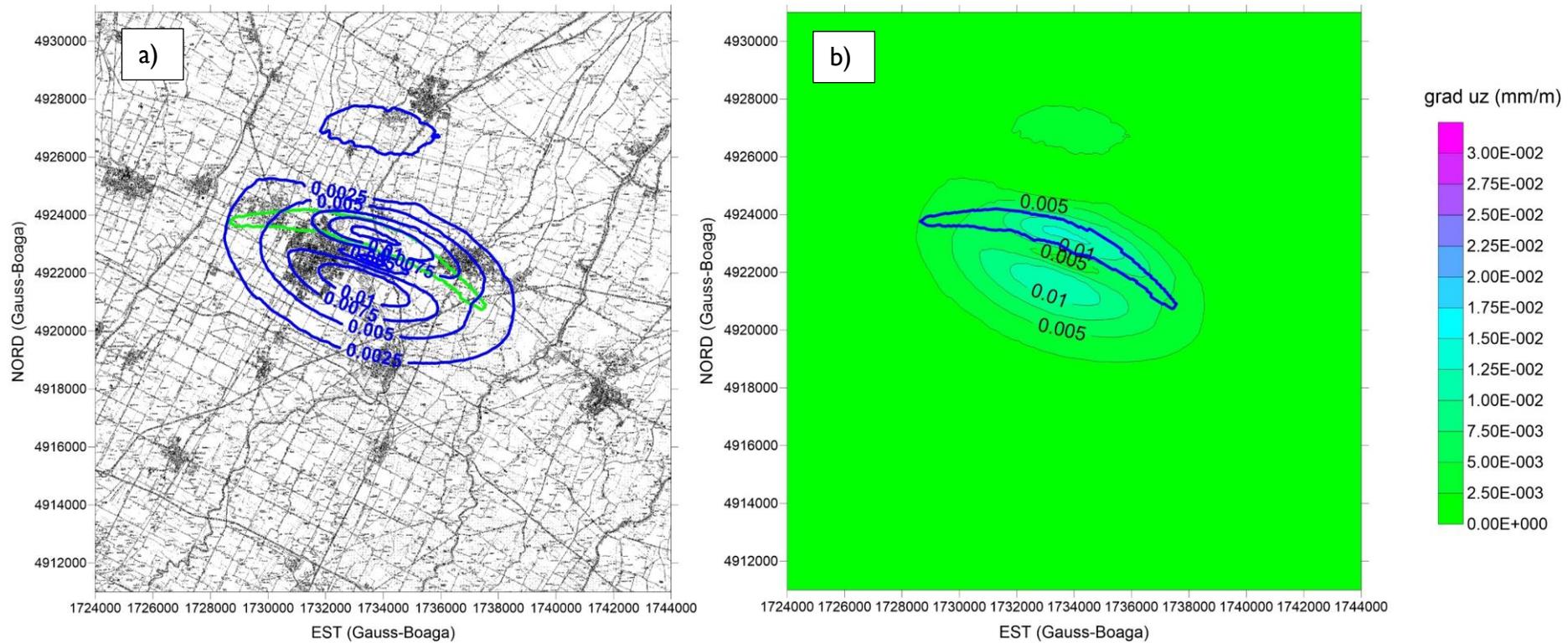


Figura 11: Gradiente dello spostamento verticale (mm/m) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SG2: a) gradiente sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) gradiente in scala di colori (in blu la traccia del giacimento).

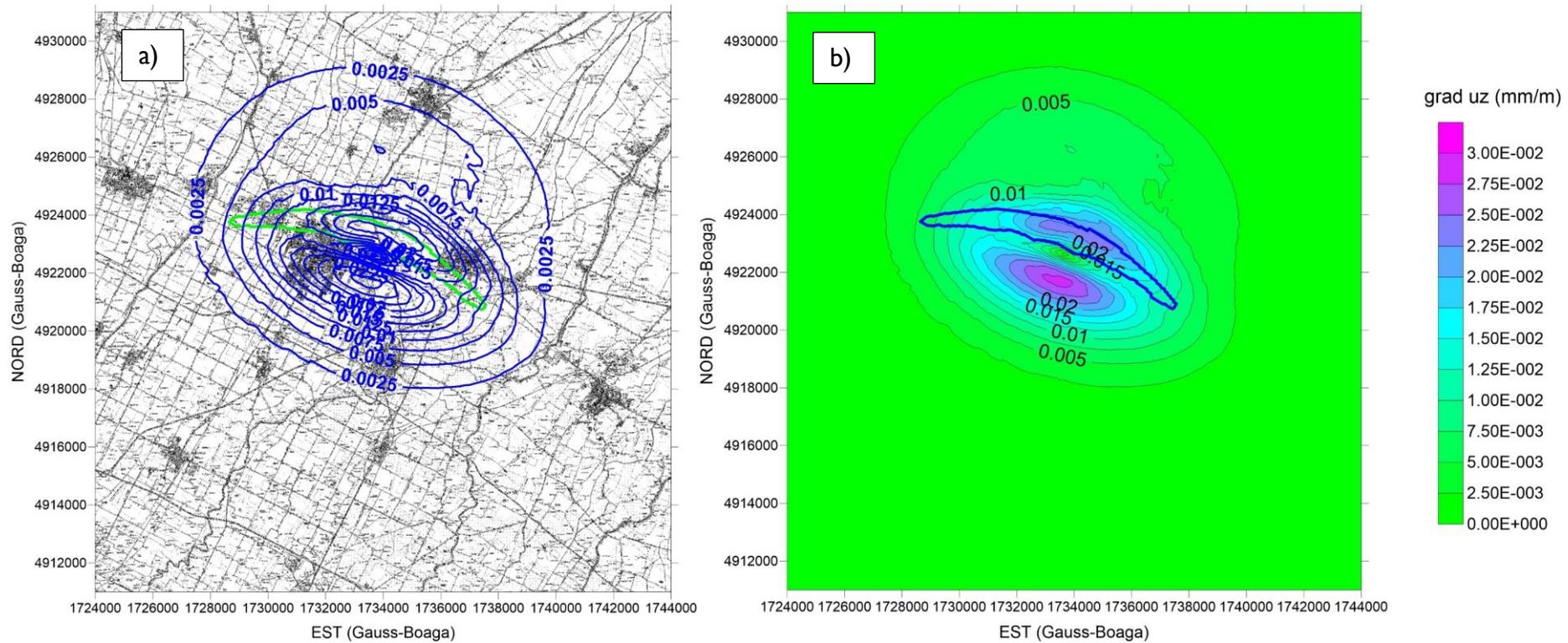


Figura 12: Gradiente dello spostamento verticale (mm/m) simulato durante un ciclo di stoccaggio per lo scenario SG3: a) gradiente sovrapposto alla CTR25000 (in verde la traccia del giacimento); b) gradiente in scala di colori (in blu la traccia del giacimento).

### 5.3 Integrità meccanica della roccia serbatoio e delle formazioni confinanti

L'attività di stoccaggio/erogazione di gas induce una variazione del regime tensionale naturale in giacimento e, in parte, nelle formazioni confinanti. Risulta quindi importante valutare se tale perturbazione possa compromettere l'integrità meccanica di questi orizzonti geologici, generando fratture che possano potenzialmente causare micro-sismicità o limitare la tenuta idraulica del caprock. I meccanismi di rottura che possono innescarsi sono legati al tipo di sollecitazione esercitata sulle rocce; ciò è usualmente analizzato attraverso la rappresentazione grafica e i criteri limite di rottura tipo quello di Mohr-Coulomb. Uno schema indicativo di come i cerchi di Mohr-Coulomb varino in funzione della pressione neutra è riportato in Figura 13, ove si è utilizzata la convenzione di indicare come verso crescente di  $\sigma$  quello corrispondente ad un aumento della compressione, in coerenza con le notazioni tipicamente utilizzate nella letteratura geomeccanica. Si individuano con  $\sigma_1$  la tensione principale massima e con  $\sigma_3$  quella minima.

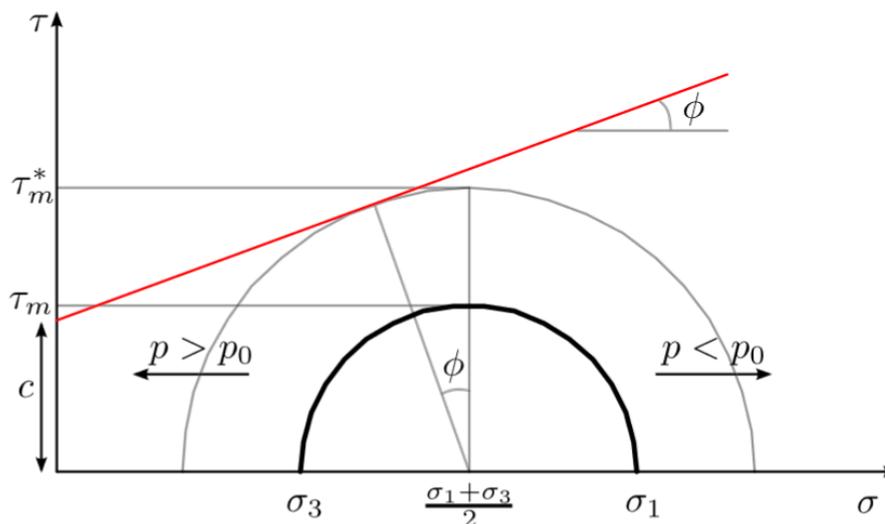


Figura 13. Rappresentazione dello stato tensionale nel piano  $\sigma$ - $\tau$  e spostamento dei cerchi di Mohr-Coulomb a seguito dello stoccaggio ( $p > p_0$ ) o erogazione ( $p < p_0$ ) di fluidi dal sottosuolo.

Durante l'erogazione di fluidi la pressione di strato diminuisce con un progressivo trasferimento di stress alla matrice porosa. Lo stato tensionale viene quindi descritto da un cerchio di Mohr che nel piano  $\sigma$ - $\tau$  di Figura 13 tende a spostarsi verso destra, cioè tende ad allontanarsi dall'involucro a rottura secondo Mohr-Coulomb.

Per tale motivo, in fase di produzione la roccia non presenta generalmente problemi di rottura per taglio o per trazione se non quando le variazioni di  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$  siano molto diverse (con  $\sigma_1 \gg \sigma_3$ ) per cui il diametro del cerchio di Mohr aumenta in modo così significativo che toccando la superficie limite può generarsi rottura a taglio. Viceversa, durante l'iniezione di fluidi, la pressione di strato aumenta ed il cerchio di Mohr nel piano  $\sigma$ - $\tau$  tende a spostarsi verso sinistra (Figura 13), cioè tende ad avvicinarsi all'involuppo a rottura secondo Mohr-Coulomb ed al limite tensionale ammesso in trazione. Possono pertanto insorgere più facilmente stati tensionali che avvicinano la roccia a condizioni di rottura. Le rocce di copertura del giacimento risultano particolarmente sensibili a questi rischi, in quanto la generazione di punti di debolezza nel materiale potrebbe indurre una diminuzione della capacità di tenuta del serbatoio.

La distanza dello stato tensionale generato nella formazione mineralizzata e nel caprock dalle condizioni limite di rottura per trazione e per taglio viene quantificata utilizzando due appropriati coefficienti [Castelletto et al., 2013; Teatini et al., 2014]. Il coefficiente  $\psi$  rispetto alla rottura a trazione viene definito come:

$$\psi = \frac{\sigma_3}{\sigma_{3,0}} \quad (3)$$

dove  $\sigma_{3,0}$  rappresenta la tensione di minima compressione in condizioni indisturbate. Tanto più il coefficiente  $\psi$  si avvicina a 0, tanto più sono prossime le condizioni di rottura per trazione. Si noti che, poiché la coesione  $c$  in bacini sedimentari è generalmente limitata, nell'equazione (3) si assume  $c = 0$  a favore di sicurezza. Pertanto il coefficiente  $\psi$  non cambia al variare di  $c$ .

Il coefficiente  $\chi$  rispetto alla rottura a taglio viene definito come:

$$\chi = 1 - \frac{\tau_m}{\tau_m^*} \quad (4)$$

dove  $\tau_m$  è la tensione tangenziale massima che si sviluppa in un determinato regime tensionale e  $\tau_m^*$  è la tensione tangenziale massima a rottura, cioè la distanza minima del centro del cerchio di Mohr corrente dall'involuppo a rottura. In funzione delle tensioni principali,  $\tau_m$  e  $\tau_m^*$  risultano:

$$\tau_m = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (5)$$

$$\tau_m^* = c \cos \phi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \phi \quad (6)$$

dove  $\phi$  è l'angolo d'attrito della formazione. L'interpretazione grafica nel piano  $\sigma$ - $\tau$  delle (5) e (6) è fornita in Figura 13.

In Tabella 7 sono riportati i valori dei parametri di resistenza  $c$  e  $\phi$  utilizzati nella valutazione dell'integrità meccanica: la configurazione *conservativa* coincide con quella analizzata nella fase precedente dello studio (definita sulla base di informazioni di letteratura e di altri studi pregressi condotti sulla stessa area); i valori della configurazione *realistica* sono in accordo con le misure *in situ* e le prove di laboratorio (Capitolo 3).

Si deve far presente che una valutazione locale della rottura a livello di singolo elemento risulta poco significativa: un modello FEM con elementi tetraedrici permette di ricostruire in modo molto accurato il campo degli spostamenti (che vengono calcolati su ciascun nodo della griglia) mentre il campo delle tensioni (che è calcolato a livello di ciascun elemento) può presentare delle oscillazioni locali in presenza di elementi molto distorti dal punto di vista geometrico, come quelli in prossimità della chiusura a pinch-out dei livelli mineralizzati sull'alto strutturale di Cotignola (Figura 4). Pertanto, risulta più significativo adottare una valutazione globale in due step: (1) calcolo dei valori  $\psi$  e  $\chi$  locali per ogni elemento del modello FEM al termine della fase di stoccaggio; (2) calcolo del volume di roccia che giunge a rottura (cioè nella quale si realizzano le condizioni  $\psi = 0$  e/o  $\chi = 0$ )  $V_F$  in termini percentuali rispetto al volume complessivo del serbatoio  $V_R$ , cioè il volume di roccia che subisce una variazione di pressione maggiore di una certa soglia durante un ciclo di stoccaggio (Figura 2 e Figura 14). Fissata tale soglia in 60 bar, risulta  $V_R = 89 \text{ Mm}^3$ . Per eliminare gli effetti locali di concentrazione delle tensioni, si è assunto che l'integrità meccanica risulti globalmente soddisfatta se  $V_F/V_R < 0.1$  %. In Tabella 8 sono riassunti i parametri di configurazione degli scenari investigati, da notare che lo scenario TCI corrisponde allo scenario "base" già investigato nello studio precedente.

Valutazione	$c$ (bar)	$\phi$ (°)
<i>Conservativa</i>	0.0	30
<i>Realistica</i>	0.2	34

Tabella 7: Parametri di resistenza utilizzati nella valutazione dell'integrità meccanica della roccia serbatoio e delle formazioni confinanti.

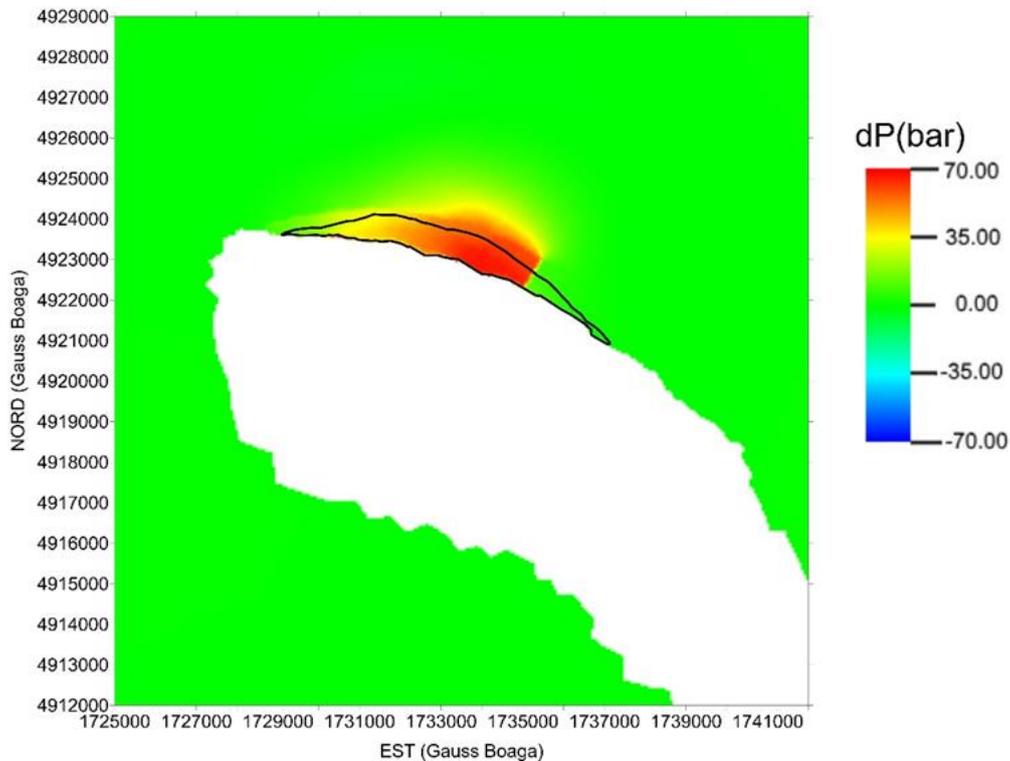


Figura 14: Variazione di pressione (bar) durante un ciclo di stoccaggio. In rosso/arancione è evidenziato il volume di roccia  $V_R$  in cui la variazione di pressione è superiore ai 60 bar.

Scenario	$C_M$	$P_{MAX}$
TC1	$C_M$ media	240 bar = 1.20 Pi
TC2	$C_M +95\%$	240 bar = 1.20 Pi
TC3	$C_M$ media	244 bar = 1.22 Pi
TC4	$C_M$ media	248 bar = 1.24 Pi
TC5	$C_M$ media	260 bar = 1.30 Pi
TC6	$C_M$ media	264 bar = 1.32 Pi
TC7	$C_M$ media	268 bar = 1.34 Pi

Tabella 8: Parametri di configurazione degli scenari investigati in relazione alla valutazione dell'integrità meccanica della roccia serbatoio e delle formazioni confinanti.

I risultati della valutazione dell'integrità meccanica della roccia al termine della fase di stoccaggio (ovvero nella situazione di maggiore criticità) sono riassunti in Tabella 9. Utilizzando parametri di resistenza conservativi, negli scenari TC1 – TC4 l'integrità meccanica risulta globalmente soddisfatta (il volume che giunge a rottura è inferiore allo 0.5% del volume del reservoir): la variazione di pressione prevista durante i cicli di stoccaggio/erogazione (Figura 2) può essere amplificata fino a 248 bar, cioè  $P_{MAX} = 1.24 P_i$ , senza indurre problemi meccanici significativi nelle formazioni coinvolte. Con parametri di resistenza realistici, l'integrità meccanica non risulta globalmente soddisfatta solamente nello scenario TC7: la variazione di pressione prevista durante i cicli di stoccaggio/erogazione (Figura 2) può essere amplificata fino a 264 bar, cioè  $P_{MAX} = 1.32 P_i$ , senza indurre alcun problema meccanico di rottura nelle formazioni coinvolte.

Scenario	Valutazione <i>conservativa</i>		Valutazione <i>realistica</i>	
	n° elementi giunti a rottura	$V_F/V_R$ (%)	n° elementi giunti a rottura	$V_F/V_R$ (%)
TC1	3	0.0	0	0.0
TC2	3	0.0	0	0.0
TC3	10	0.0	0	0.0
TC4	306	0.4	0	0.0
TC5	14,537	21.2	2	0.0
TC6	24,848	36.1	239	0.3
TC7	45,289	64.9	2460	3.0

Tabella 9: Risultati della valutazione globale dell'integrità meccanica della roccia serbatoio e delle formazioni confinanti.

#### 5.4 Analisi tensionale sulle faglie prossime al giacimento

Come anticipato al Paragrafo 3.3, lo stato tensionale naturale considerato nel modello geomeccanico è di tipo normale: le tensioni principali orizzontali sono pari alla tensione verticale moltiplicata per il coefficiente di confinamento  $M$  pari a 0.43.

La fase precedente dello studio ha evidenziato come le faglie in prossimità del campo (Figura 4) siano interessate da una variazione tensionale dovuta alle operazioni di stoccaggio/erogazione previste con  $P = 240$  bar ( $P = 1.2 P_i$ ) assai limitata: nelle zone più sollecitate, la variazione di tensione è pari allo

0.29% e 0.44% delle tensioni iniziali, rispettivamente per la tensione normale  $\Delta\sigma_N$  (Figura 15) e la tensione tangenziale  $\Delta\tau$  (Figura 16) al piano di faglia.

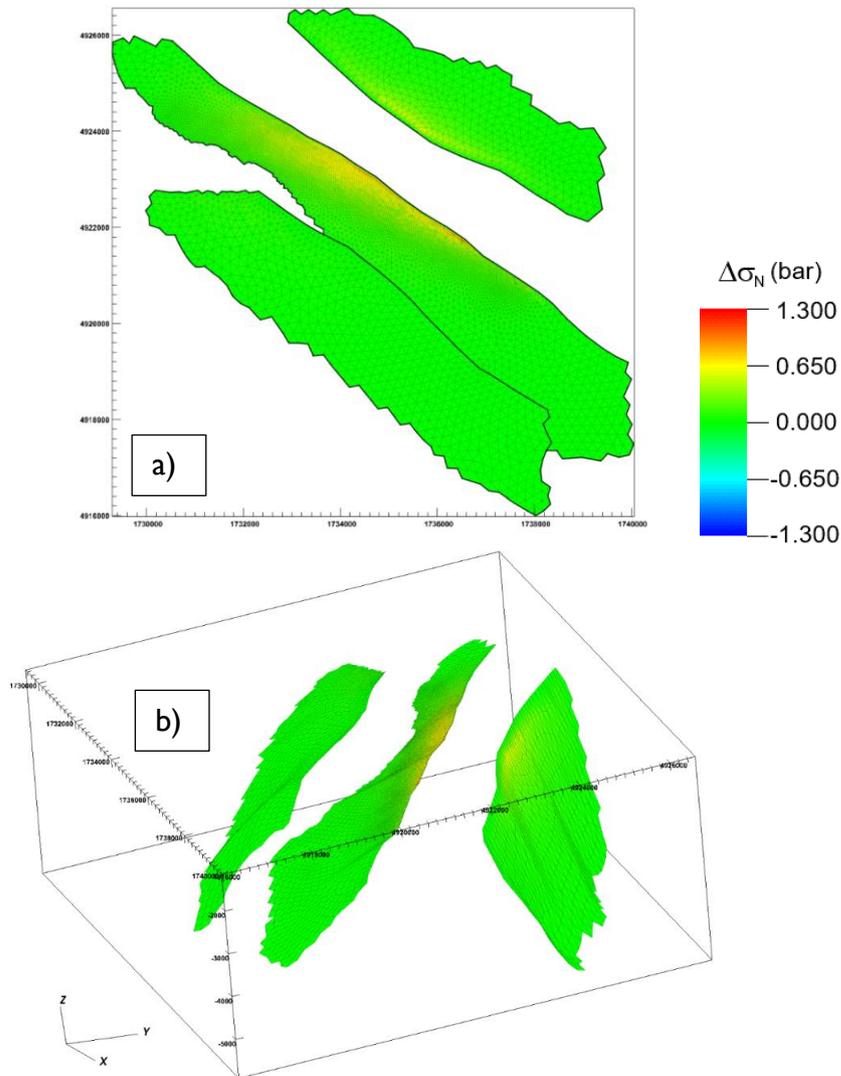


Figura 15: Variazione della tensione normale al piano di faglia  $\Delta\sigma_N$  (bar) in un ciclo di stoccaggio nello scenario “base” TFI: a) vista in pianta; b) vista assometrica.

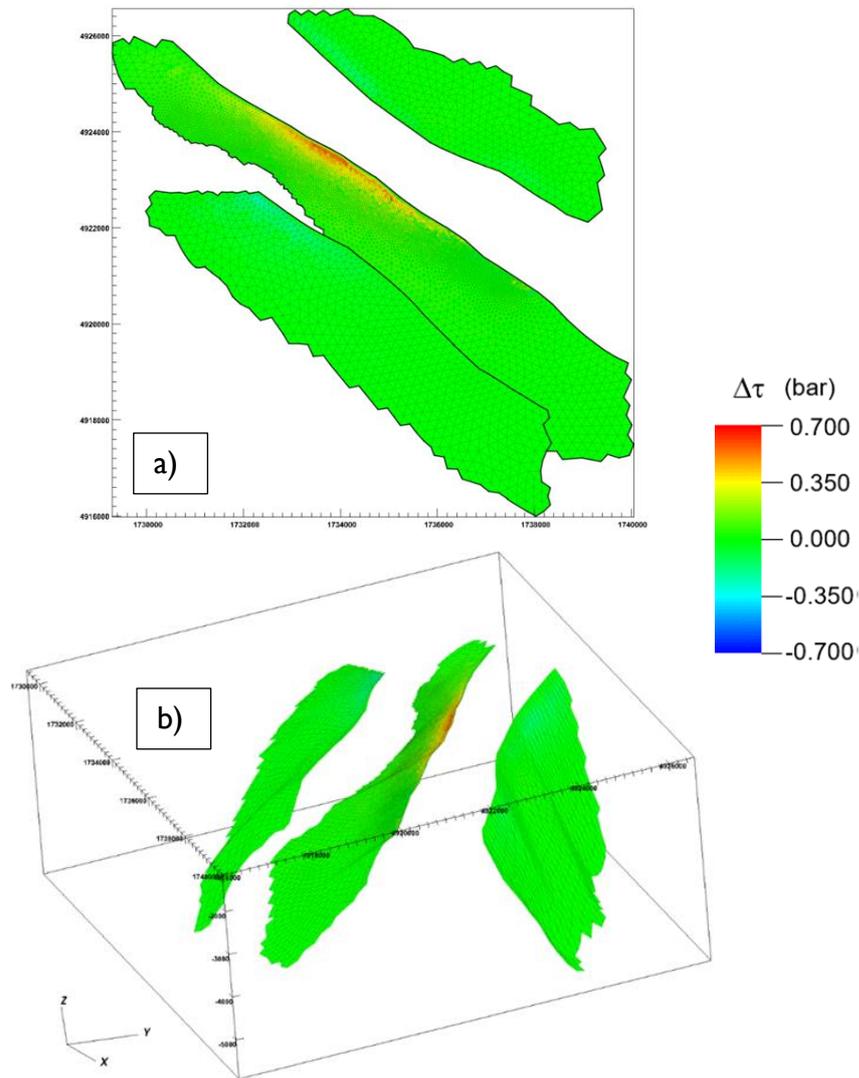


Figura 16: Variazione della tensione normale al piano di faglia  $\Delta\tau$  (bar) in un ciclo di stoccaggio nello scenario “base” TFI: a) vista in pianta; b) vista assonometrica.

Di seguito sono stati analizzati ulteriori scenari, amplificando la compressibilità del mezzo poroso e la variazione di pressione prevista in esercizio. In Tabella 10 sono riassunti i parametri di configurazione degli scenari analizzati; da notare che lo scenario TFI corrisponde allo scenario “base” già esaminato nello studio precedente. Per ognuna delle faglie considerate nel modello geomeccanico è stato analizzato lo stato tensionale ( $\sigma_N$ ,  $\tau$ ) nelle zone più sollecitate in alcuni istanti significativi: T0) stato iniziale indisturbato (2013); T1) termine della fase di stoccaggio; T2) termine della fase di erogazione. In Figura 17, Figura 18 e Figura 19 sono evidenziati i risultati rispettivamente per gli scenari TFI, TF2 e TF3. I parametri di resistenza adottati per tracciare l’involuppo di rottura

di Mohr-Coulomb sono quelli *conservativi* definiti in precedenza in Tabella 7. Anche nello scenario più gravoso TF3, amplificando la variazione di pressione fornita da Eclipse fino a  $P_{MAX} = 360$  bar, cioè  $P_{MAX} = 1.8 P_i$ , le variazioni di tensione sono trascurabili. Inoltre, le stesse figure evidenziano come il regime tensionale sia in condizioni di sicurezza rispetto all'involuppo a rottura di Mohr-Coulomb.

Scenario	$C_M$	$f_{\Delta P}$	$P_{MAX}$
TF1	$C_M$ media	1.0	240 bar = 1.2 $P_i$
TF2	$C_M +95\%$	1.0	240 bar = 1.2 $P_i$
TF3	$C_M$ media	4.0	360 bar = 1.8 $P_i$

Tabella 10: Parametri di configurazione degli scenari investigati in relazione all'analisi tensionale sulle faglie in prossimità del campo.

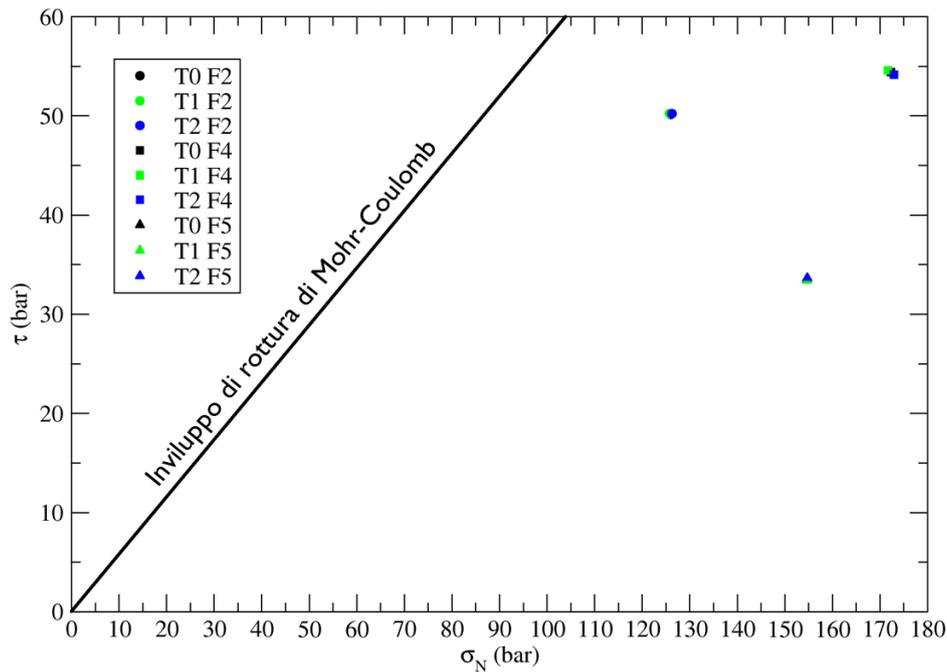


Figura 17: Stato tensionale ( $\sigma_N$ ,  $\tau$ ) nella zona più sollecitata di ogni faglia (F2, F4 e F5) in alcuni istanti significativi per lo scenario TF1: T0) stato iniziale indisturbato (2013); T1) termine della fase di stoccaggio; T2) termine della fase di erogazione

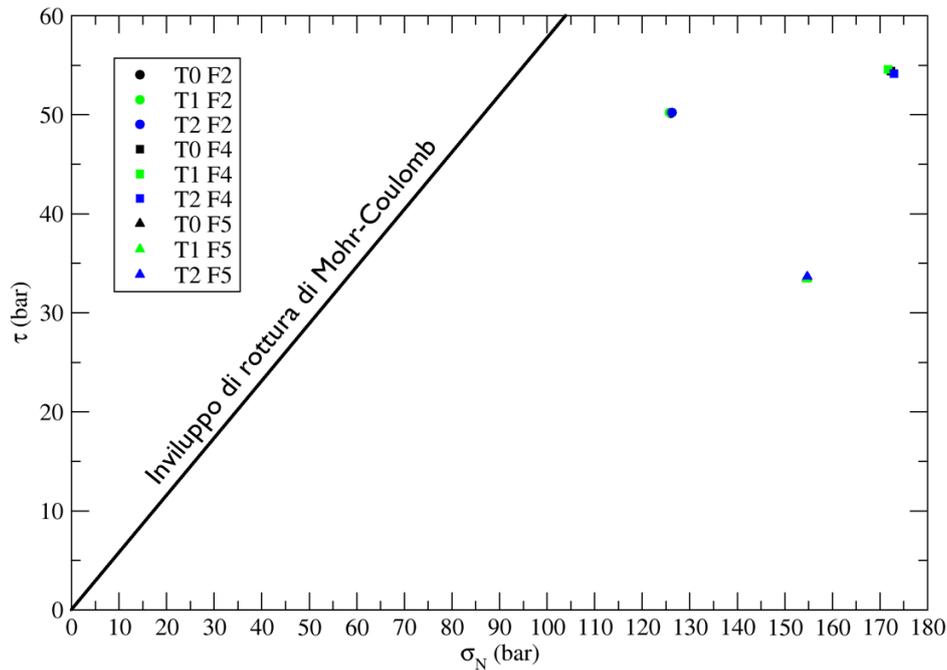


Figura 18: Stato tensionale ( $\sigma_N$ ,  $\tau$ ) nella zona più sollecitata di ogni faglia (F2, F4 e F5) in alcuni istanti significativi per lo scenario TF2: T0) stato iniziale indisturbato (2013); T1) termine della fase di stoccaggio; T2) termine della fase di erogazione.

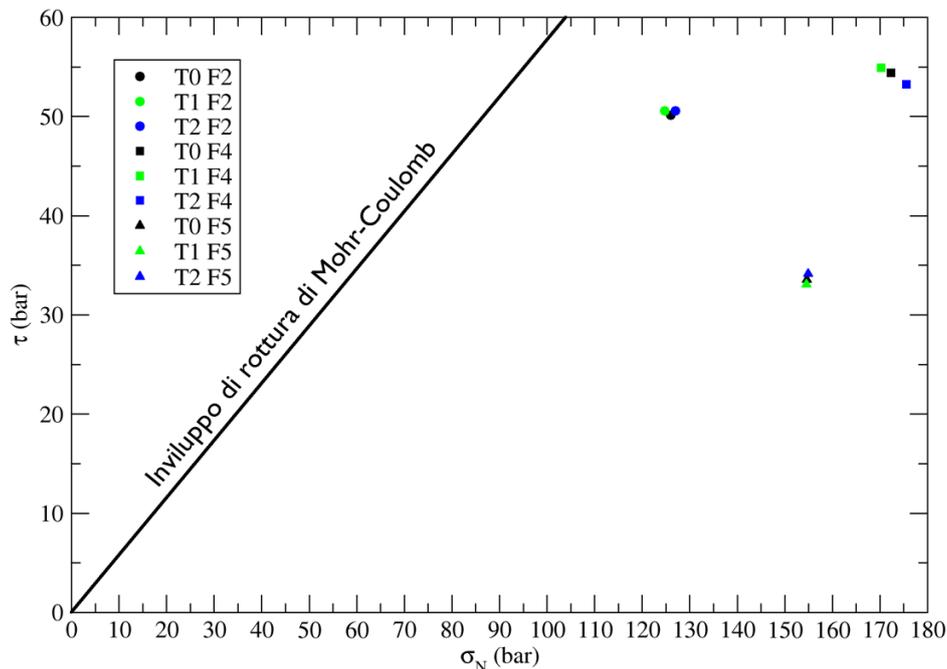


Figura 19: Stato tensionale ( $\sigma_N$ ,  $\tau$ ) nella zona più sollecitata di ogni faglia (F2, F4 e F5) in alcuni istanti significativi per lo scenario TF3: T0) stato iniziale indisturbato (2013); T1) termine della fase di stoccaggio; T2) termine della fase di erogazione.

Come ulteriore analisi, in Figura 20 si riporta per lo scenario estremo TF3 il valore minimo che deve assumere il coefficiente di attrito  $\phi$  perché gli elementi di ciascuna faglia più sollecitati arrivino a rottura. I valori ottenuti sono compresi tra  $13^\circ$  e  $24^\circ$ , ovvero significativamente minori del valore pari a  $30^\circ$  utilizzato nello scenario conservativo. Si tenga inoltre presente che valori così bassi sono poco realistici in quanto, data la giacitura delle discontinuità, lo stesso regime tensionale naturale supererebbe il limite a rottura.

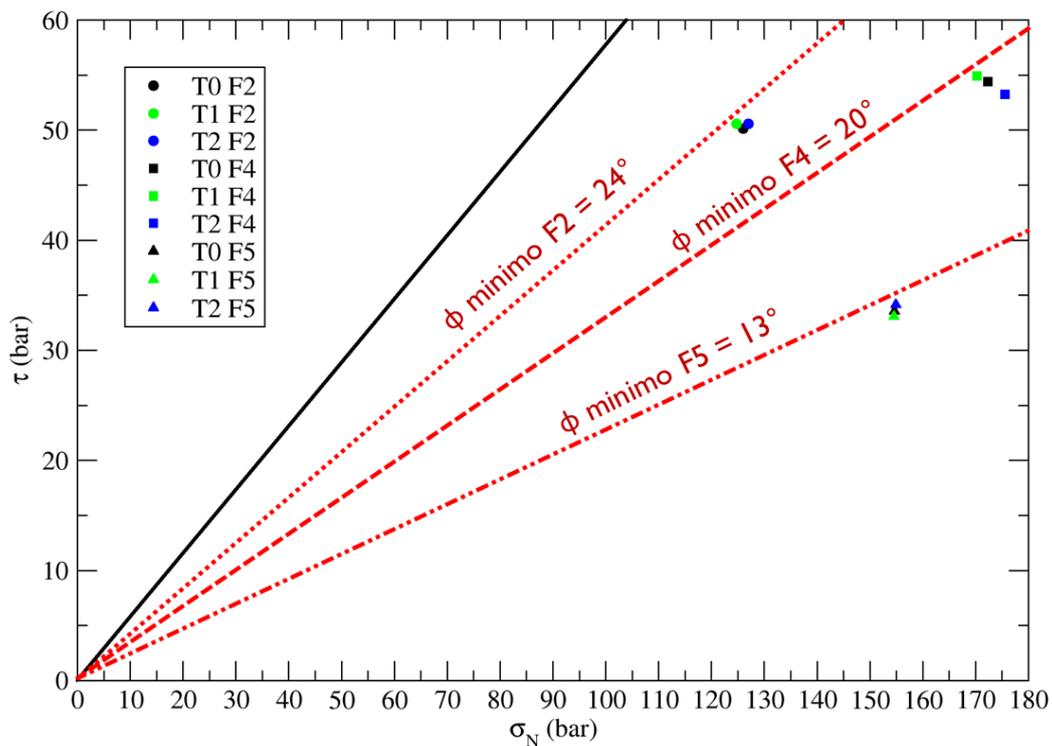


Figura 20: Stato tensionale ( $\sigma_N$ ,  $\tau$ ) nella zona più sollecitata di ogni faglia (F2, F4 e F5) in alcuni istanti significativi per lo scenario TF3: T0) stato iniziale indisturbato (2013); T1) termine della fase di stoccaggio; T2) termine della fase di erogazione. L'involuppo a rottura di Mohr-Coulomb con coesione nulla e  $\phi = 30^\circ$  è evidenziato in nero. Per ogni faglia, il coefficiente di attrito minimo necessario per non oltrepassare l'involuppo di rottura è evidenziato in rosso.

## 5.5 Valutazione dell'insieme degli scenari analizzati

L'insieme degli scenari analizzati risulta particolarmente conservativo in relazione all'intervallo di variabilità della compressibilità edometrica verticale e alla pressione massima prevista durante i cicli di stoccaggio/erogazione.

Quanto la compressibilità  $c_{M+95\%}$  sia conservativa (ovvero sovrastimi un valore realistico) può essere evidenziato confrontando i risultati del modello con le misurazioni SAR a disposizione. In Figura 21 è mostrato il confronto tra le misure SAR fornite da EDISON STOCCAGGIO in termini di velocità verticale tra il 2013 e il 2017 e i risultati del modello geomeccanico con compressibilità verticale rispettivamente  $c_{M\ media}$  e  $c_{M+95\%}$ . I valori misurati della velocità media verticale misurate per i diversi PS sono contenuti entro +/- 1 mm/anno coerentemente con lo scenario con  $c_{M\ media}$ ; mentre le velocità calcolate nello scenario con  $c_{M+95\%}$  raggiungono i -4 mm/anno, un valore molto superiore rispetto a quello fornito dalle misure.

La variazione di pressione prevista con  $P = 240$  bar ( $P = 1.2 P_i$ ) è stata amplificata fino a  $P_{MAX} = 360$  bar, cioè è stato valutato il caso con  $P_{MAX} = 1.8 P_i$ : una amplificazione maggiore avrebbe comportato la situazione non fisica in cui la roccia di giacimento è soggetta a uno sforzo di trazione. In Tabella 11 e Tabella 12 sono riportate le variazioni di tensione verticale  $\Delta\sigma_z$  durante la fase di stoccaggio con  $P_{MAX} = 1.8 P_i$ , in alcuni punti significativi del giacimento e delle formazioni confinanti evidenziati rispettivamente in Figura 24 e Figura 25. Anche nello scenario più gravoso, la variazione di tensione durante i cicli di stoccaggio/erogazione rimane confinata negli strati interessati dallo stoccaggio e si smorza in poche decine di metri.

	A	B	C	D	E	F	G	H
$\Delta\sigma_z$ (bar)	-0.4	7.0	225.0	-0.1	6.0	242.0	237.0	-5.0

Tabella 11: Variazione di tensione verticale  $\Delta\sigma_z$  (bar) in un ciclo di stoccaggio con  $P_{MAX} = 360$  bar ( $P_{MAX}=1.8P_i$ ), in corrispondenza dei punti riportati in Figura 24.

	I	L	M	N	O	P	Q	R
$\Delta\sigma_z$ (bar)	0.2	84.0	50.0	0.6	0.6	33.0	67.0	0.1

Tabella 12: Variazione di tensione verticale  $\Delta\sigma_z$  (bar) in un ciclo di stoccaggio con  $P_{MAX} = 360$  bar ( $P_{MAX}=1.8P_i$ ), in corrispondenza dei punti riportati in Figura 25.

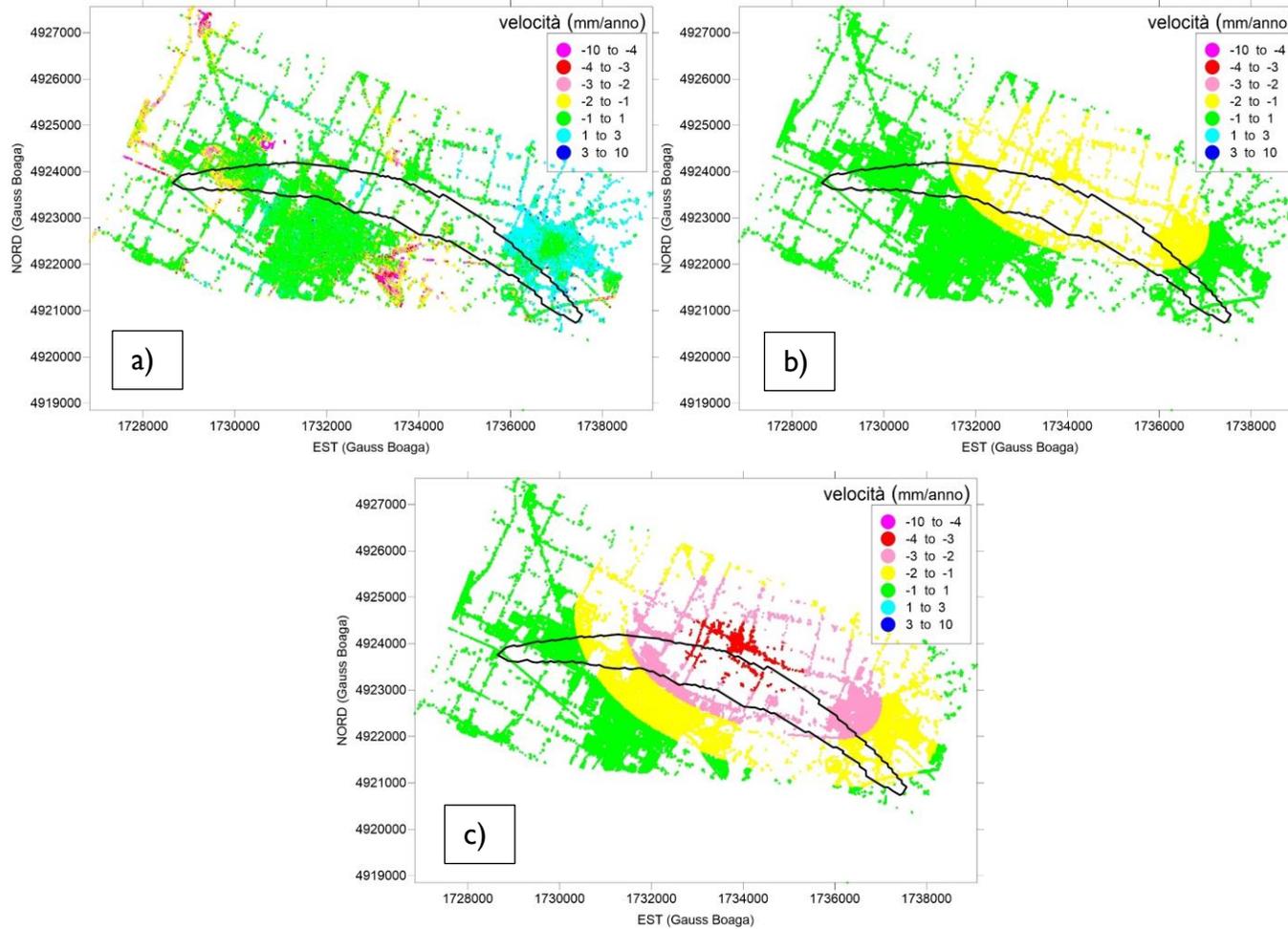


Figura 21: Velocità verticale media (mm/anno) nei PS nel periodo 2013 – 2017: a) misurata dal SAR, b) calcolata con  $CM_{media}$ ; c) calcolata con  $CM_{+95\%}$ .

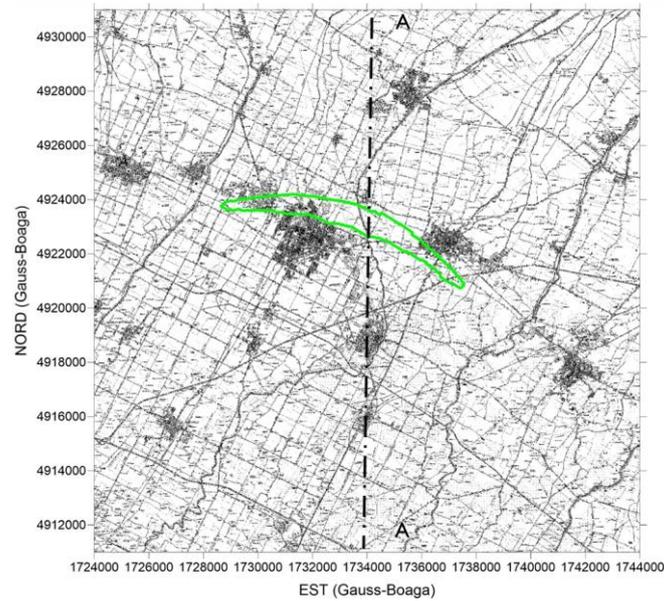


Figura 22: Traccia del giacimento e sezione A-A evidenziate in verde e nero, rispettivamente.

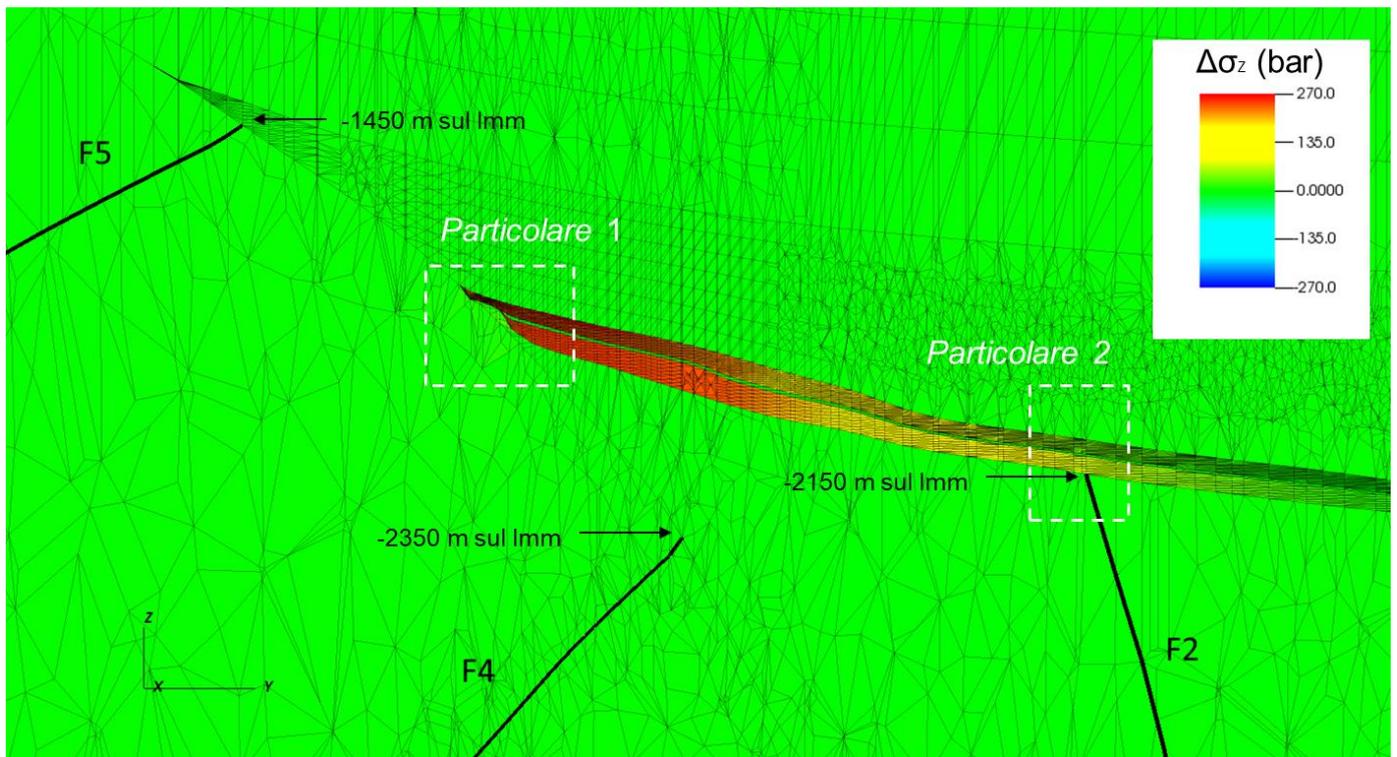


Figura 23: Variazione di tensione verticale  $\Delta\sigma_z$  (bar) in un ciclo di stoccaggio con  $P_{MAX} = 360$  bar ( $P_{MAX} = 1.8P_i$ ), nella sezione verticale A-A di Figura 22. La scala verticale è amplificata due volte rispetto a quella orizzontale.

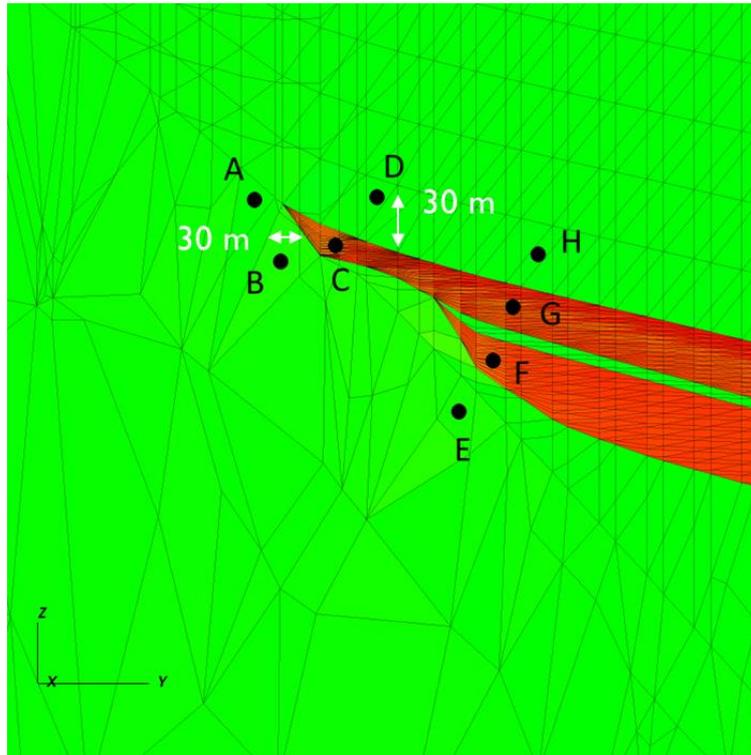


Figura 24: Particolare 1 di Figura 23. La scala verticale è amplificata due volte rispetto a quella orizzontale.

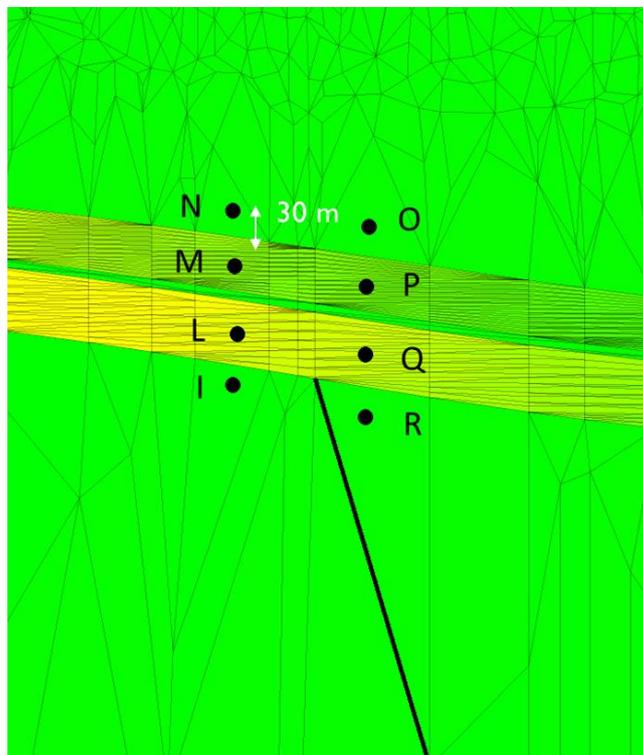


Figura 25: Particolare 2 di Figura 23. La scala verticale è amplificata due volte rispetto a quella orizzontale.

## 6 QUANTIFICAZIONE DELLE CRITICITÀ: ANALISI CON MODELLO IDRAULICO DELLA RETE SCOLANTE

Il modello idrologico-idraulico della rete di deflusso superficiale interessata dagli spostamenti indotti dalle attività UGS è stato realizzato con il codici HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) [USACE-HEC, 2010] e HEC-RAS (River Analysis System) [USACE-HEC, 2016] sviluppati dall'U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center.

La descrizione della topografia del corso d'acqua è fatta attraverso la definizione delle sue sezioni trasversali. I dati di base per lo studio sono stati i rilievi topografici d'alveo messi a disposizione dal Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale (planimetrie, profili e sezioni dei canali, schede impianti idrovori). Le sezioni di rilievo coprono la maggior parte dei tratti da modellare; tuttavia alcuni tratti sono mancanti, altri non completamente sviluppati, per cui si è reso necessario un lavoro di interpolazione e di ricostruzione delle sezioni sulla scorta dei dati cartografici e di fotointerpretazione di immagini satellitari. In Figura 26 è riportato un inquadramento territoriale dell'area oggetto di indagine con gli assi dei canali esaminati mediante modello idrologico-idraulico, e indicati i nomi dei canali principali del sistema investigato. Sono rappresentate anche le tracce dei giacimenti San Potito, Longanesi e Alfonsine presenti nell'area.

Per i tratti per i quali i rilievi topografici sono disponibili, si deve evidenziare che questi sono stati eseguiti in un intervallo temporale che va dagli anni 1970 agli anni scorsi; pertanto molte informazioni sono quantomeno datate e, con ogni probabilità, non rappresentative della situazione attuale reale. Tuttavia, poiché lo scopo di questa analisi è quello di mettere a confronto il sistema nelle configurazioni pre/post-avvio delle attività di stoccaggio/erogazione, la non-contemporaneità dei rilievi a disposizione ha un effetto marginale.

I risultati della presente analisi devono dunque essere interpretati non tanto come verifica idraulica del sistema di drenaggio dal punto di vista dell'officiosità idraulica o meno, ma piuttosto una ordinaria messa a confronto dei profili idrici nei diversi scenari.

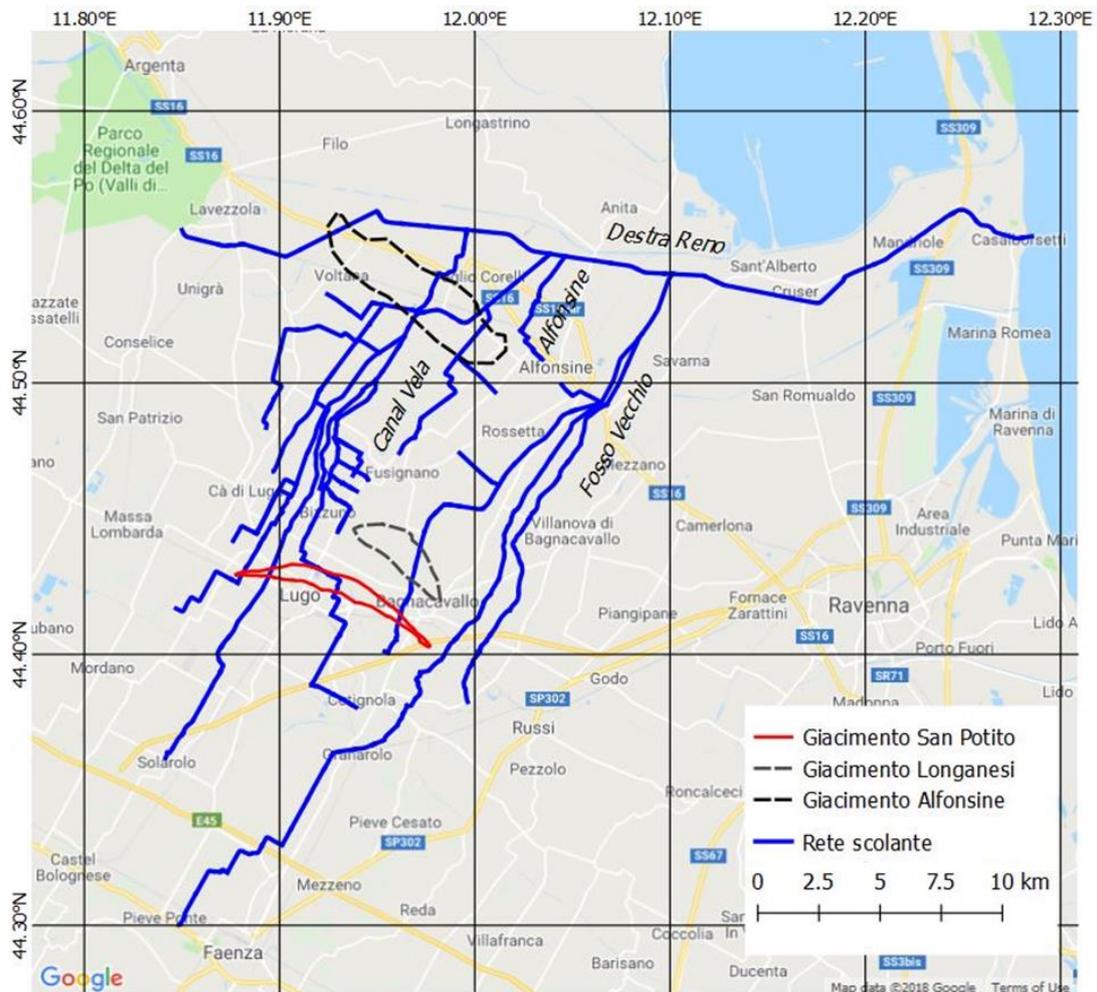


Figura 26: Inquadramento territoriale con indicazione planimetrica della rete scolante e la traccia dei giacimenti di produzione primaria e UGS

Nel modello sono stati schematizzati i seguenti canali:

- Canale Destra Reno,
- Scolo Nuovo Tratturo,
- Scolo Traversagno,
- Canal Vela,
- Tratturo,
- Casale,
- Fossatone di San Bernardino,
- Via Lunga a Ponente,
- Via Nuova nel Casale,

- Ascensione,
- Arginello,
- Menata di Runzi,
- Santa Lucia,
- Frassona Maggiore,
- Cocorre,
- Sant'Antonio,
- Menata di Fusignano,
- Via Nuova,
- Scolo Alfonsine,
- Fosso Vecchio,
- Fosso Vetro,
- Fosso Munio.

## 6.1 Modello idrologico

### 6.1.1 Definizione della geometria del sistema

La suddivisione in sottobacini è stata fatta sulla base della rete di bonifica, considerando i quattro principali scoli affluenti al canale collettore Destra Reno, asse portante del sistema di drenaggio della Bonifica. Secondo i dati forniti dal Consorzio, la Figura 27 riportata la suddivisione in sottobacini, per gli scoli Nuovo Tratturo, Canal Vela, Alfonsine, e Fosso Vecchio.

Ognuno dei quattro bacini è stato schematizzato in HMS, ottenendo quattro modelli indipendenti, in grado di fornire le condizioni al contorno per il successivo modello idraulico. Le immagini che seguono (Figura 28 - Figura 31) mostrano la schematizzazione dei quattro bacini, evidenziando l'ulteriore suddivisione in sottobacini principali, canali e sezioni di chiusura, confrontata con l'immagine satellitare dell'area corrispondente; le tabelle (Tabella 13 - Tabella 16) riportano la suddivisione in sottobacini, secondo la nomenclatura del consorzio, e le rispettive estensioni.

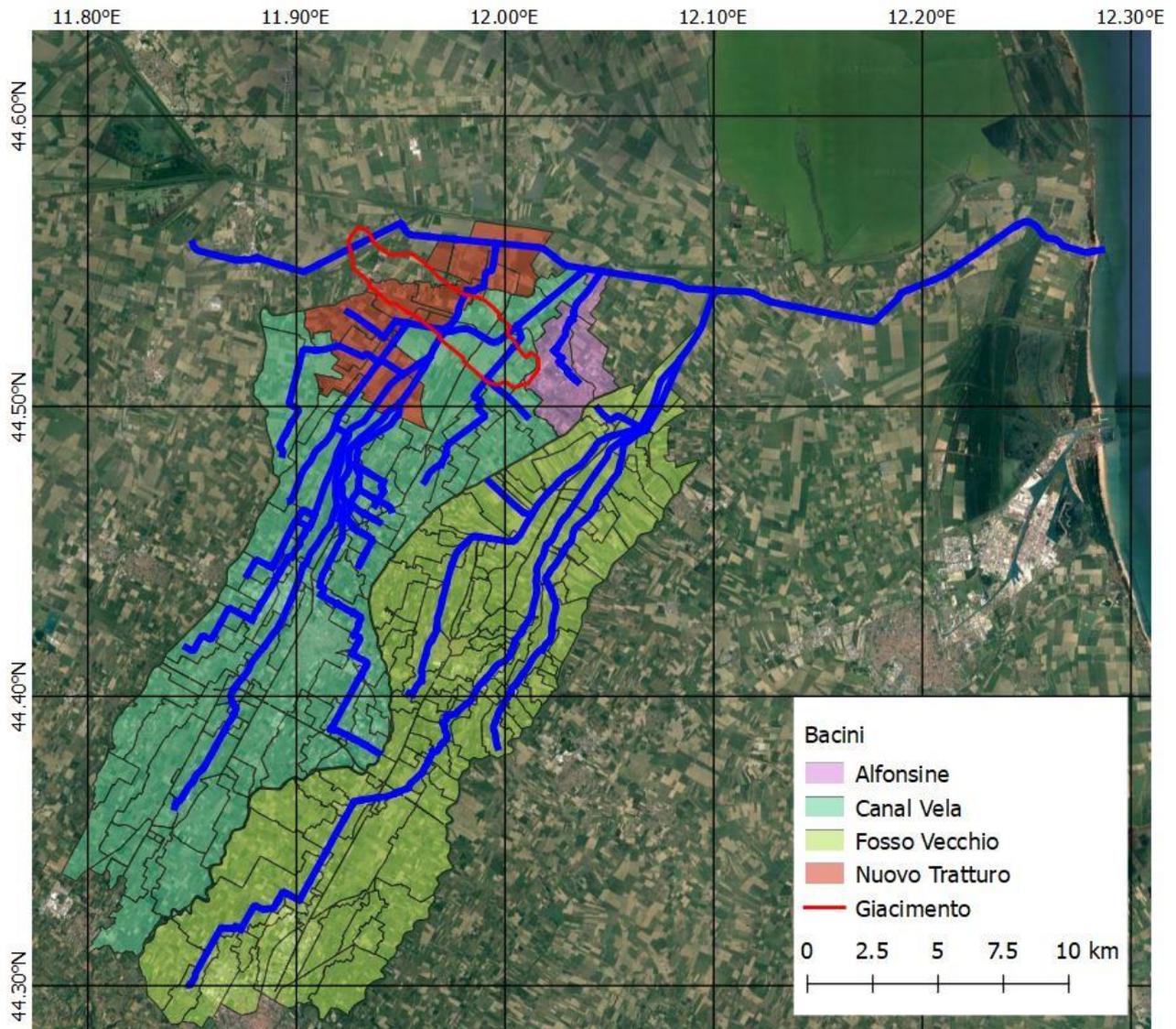


Figura 27: Bacini idrografici principali del comprensorio di bonifica analizzato con HEC-HMS.

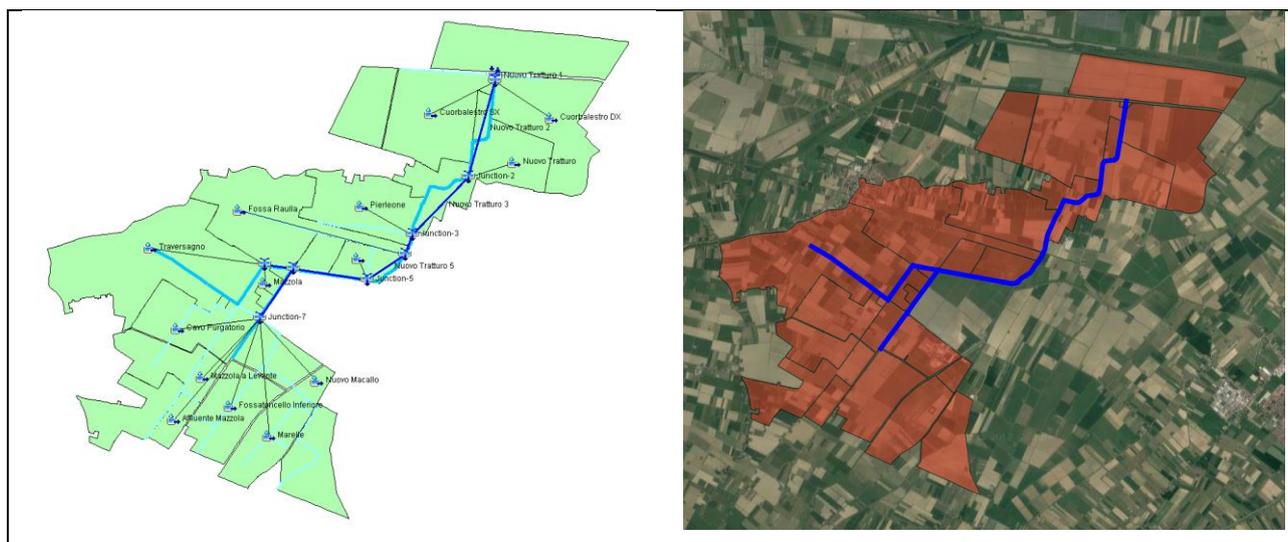


Figura 28: Schematizzazione del Nuovo Tratturo nel modello HEC-HMS.

<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>	<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>
AFFLUENTE MAZZOLA	0.34	MAZZOLA	0.24
CAVO PURGATORIO	1.84	MAZZOLA A LEVANTE	1.64
CUORBALESTRO DESTRA	1.99	NUOVO MACALLO	2.10
DIVERSIVO RAULLA	0.50	NUOVO TRATTURO	2.65
FOSSA RAULLA	2.53	PIERLEONE	1.55
FOSSATONCELLO INFERIORE	1.34	TRAVERSAGNO	3.97
MARELLE	1.11	CUORBALESTRO SINISTRA	5.02
		<b>TOTALE</b>	<b>26.82</b>

Tabella 13: Estensione areale dei sottobacini del bacino Nuovo Tratturo.

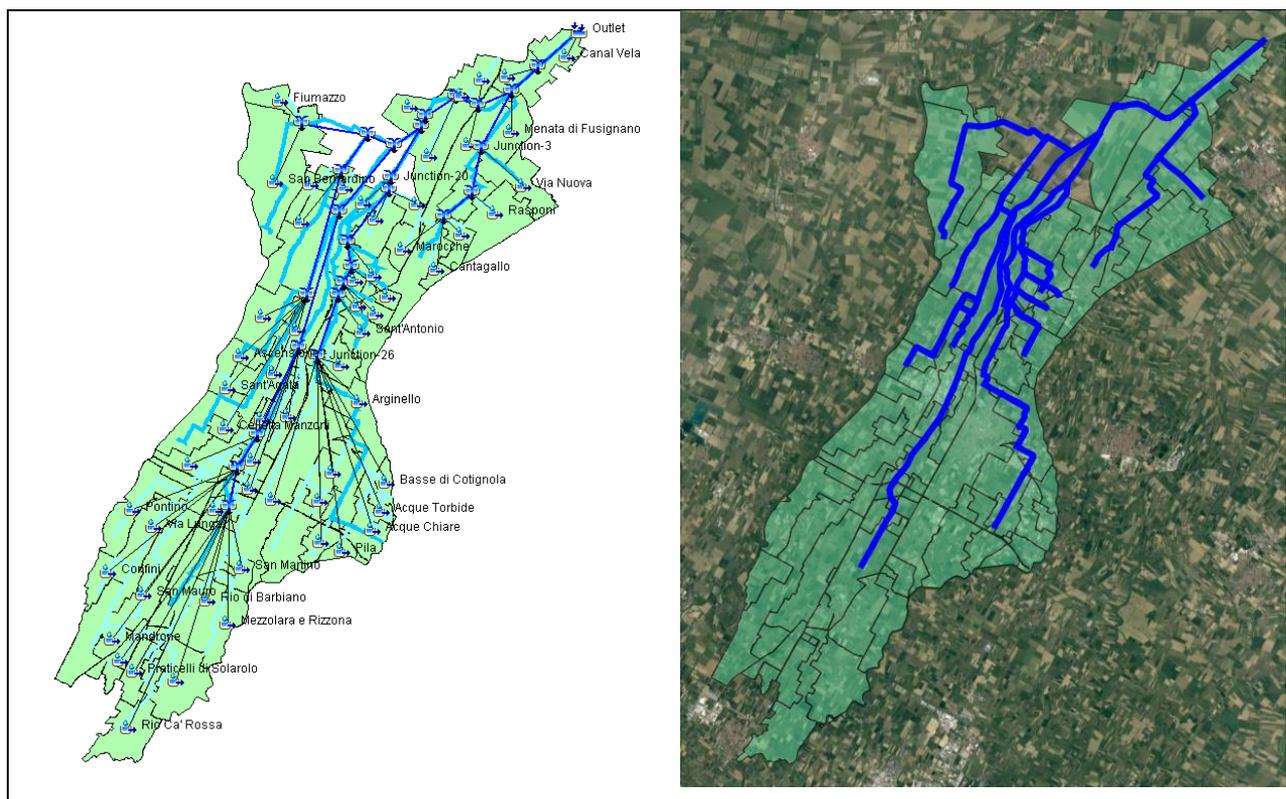


Figura 29: Schematizzazione del Canal Vela nel modello HEC-HMS.

NOME SOTTOBACINO	Area [km <sup>2</sup> ]	NOME SOTTOBACINO	Area [km <sup>2</sup> ]
ACQUE CHIARE	1.7	MANDRONE	1.0
ACQUE TORBIDE	0.6	MAROCCHE	1.5
AFFLUENTE DESTRA DANE	3.9	MAZZOLA A PONENTE	1.1
ARGINELLO	10.1	MENATA DI FUSIGNANO	7.7
ASCENSIONE	1.9	MENATA DI RUNZI	1.9
BALLIRANA	4.6	MEZZOLARA E RIZZONA	2.5
BASSE DI COTIGNOLA	0.9	PILA	0.8
BEDAZZO	1.3	PONTINO	3.9
BRIGNANI VIVO	9.6	PRATI DI SOLAROLO	1.8
CANAL VELA	3.8	PRATICELLI DI SOLAROLO	1.7
CANAL VELA ABBANDONATO	1.4	RASPONI	4.0
CANALETTA DI BUDRIO	6.5	RIO CA' ROSSA	4.9
CANALETTA DI ZAGONARA	3.2	RIO DI BARBIANO	3.5
CANALETTO	1.7	SAN MARTINO	1.0
CANTAGALLO	1.1	SAN MAURO	5.0
CASALE	11.7	SAN SAVINO	1.4
CAVALLINE	0.8	SANT'AGATA	0.8
CELLETTA MANZONI	0.8	SANT'ANTONIO	2.1
COCORRE	1.1	SANTA LUCIA	1.9
COCORRETTO	0.2	SECCHETTO	1.7

<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>	<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>
CONFINI	1.7	TAGLIO CORELLI	2.1
FIUMAZZO	1.4	TAGLIO CORELLI INFERIORE	0.3
FONDAGNOLO	3.4	TOMBA A LEVANTE	1.7
FOSSATONCELLO A PONENTE	1.1	TRATTURO	8.4
FOSSATONE DI SAN BERNARDINO	9.9	VIA DI BUDRIO	0.8
FRASSONA MAGGIORE	0.6	VIA LUNGA A PONENTE	2.8
FRASSONA MINORE	0.5	VIA LUNGA O CONDOTTELLO DI BAGNARA	8.2
GAIANO	4.5	VIA NUOVA	3.1
GESUITA	0.8	VIA NUOVA NEL CASALE	3.0
MACALLO	2.4	ZAGONARA	0.5
MACERI	1.4	<b>TOTALE</b>	<b>175.97</b>

Tabella 14: Estensione areale dei sottobacini del bacino Canal Vela.

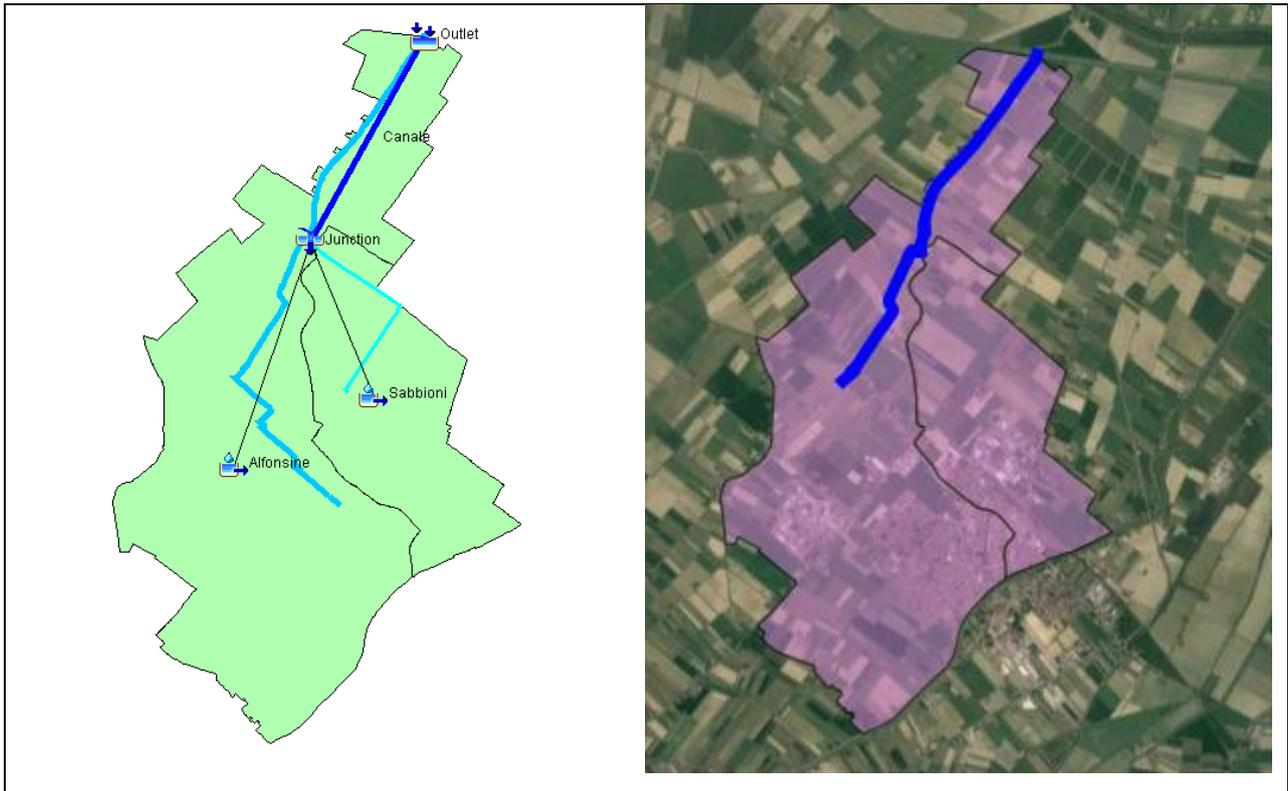


Figura 30: Schematizzazione dello Scolo Alfonsine nel modello HEC-HMS.

<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>
ALFONSINE	8.62
SABBIONI	3.01
<b>TOTALE</b>	<b>11.63</b>

Tabella 15: Estensione areale dei sottobacini del bacino Alfonsine.

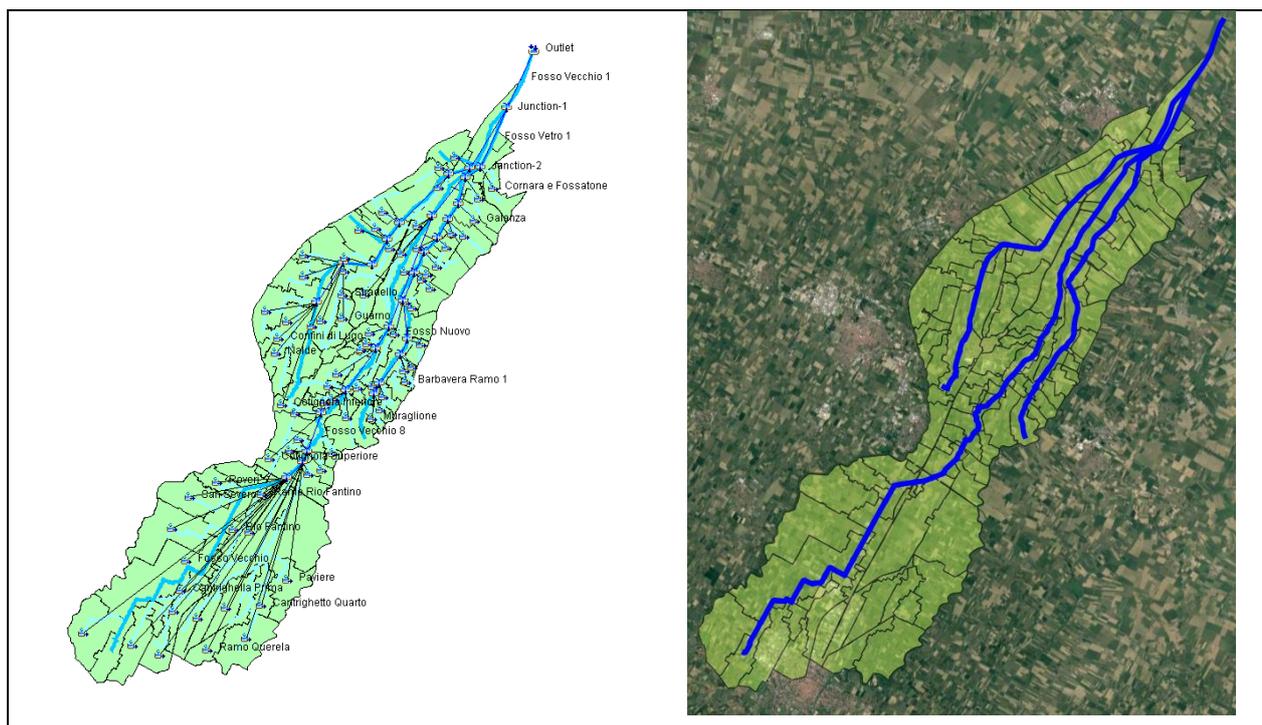


Figura 31: Schematizzazione del Fosso Vecchio nel modello HEC-HMS.

NOME SOTTOBACINO	Area [km <sup>2</sup> ]	NOME SOTTOBACINO	Area [km <sup>2</sup> ]
AGUTA INFERIORE	0.04	GABINA A DESTRA	0.71
AGUTA SUPERIORE	0.37	GABINA A SINISTRA	0.61
ALBERGONE	0.65	GALANZA	1.51
ALFONSINE	2.37	GUARNO	1.61
BARBAVERA	1.20	MADRARA A DESTRA	0.89
BARBAVERA 1 RAMO	0.29	MADRARA A SINISTRA	0.41
BARBAVERA 2 RAMO	0.14	MASIERA INFERIORE	0.80
BONCELLINO	2.36	MASIERA SUPERIORE	1.87
BRUNELLO INFERIORE	0.89	MONTANARI	0.43
BRUNELLO SUPERIORE	2.32	MURAGLIONE	0.48
CANALA DI CASSANIGO	6.07	NALDE	0.92
CANTRIGHELLA PRIMA O TABACCA	0.65	PARADOSSO	2.48
CANTRIGHELLA SECONDA O DI MERLASCHIO	9.07	PARTITA GRANDE O VIAZZA NUOVA	1.08
CANTRIGHETTO PRIMO	4.74	PAVIERE	3.57
CANTRIGHETTO QUARTO	1.00	PIEVE	2.41
CANTRIGHETTO QUINTO DI GRANAROLO	6.51	PRIMO DELLA ROSSETTA	1.26
CANTRIGHETTO SECONDO	3.46	PUNTA DI FUSIGNANO	0.40
CANTRIGHETTO TERZO O CANTRIGHELLA DI SAN	3.03	RAMO FORMELLINO	4.33

<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>	<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>
SILVESTRO			
CAPUCCINI	1.63	RAMO MEZZENO	2.68
CERCHIA	1.43	RAMO QUERELA	1.90
COCCHI INFERIORE DESTRO	0.03	RAMO REDA	0.11
COCCHI SUPERIORE A DESTRA	1.50	RAMO RIO FANTINO	0.10
COCCHI SUPERIORE A SINISTRA	0.14	RAMO STRADELLO	0.20
COLOMBARONE	2.02	REDA	0.73
CONFINI DI LUGO	0.75	REDINO	1.79
CORNARA E FOSSATONE	1.98	RIO FANTINO	1.94
CORSINI	1.95	ROVERI	1.42
COTIGNOLA	1.95	SAN GERVASIO	0.74
COTIGNOLA INFERIORE	0.61	SAN POTITO	2.99
COTIGNOLA SUPERIORE	0.81	SAN SEVERO	3.79
ERCOLINE	0.39	SANT'ANTONIO	3.02
FIUME VETRO	3.75	SECONDO DELLA ROSSETTA	1.31
FOSETTA A DESTRA	3.05	STRADELLO	0.71
FOSETTA A SINISTRA	2.90	TRATURO	1.75
FOSETTE RIUNITE	0.32	TRAVERSARA	0.54
FOSSO MUNIO	9.29	VALLETTA	0.79
FOSSO NUOVO	1.56	VIA CHIARA	2.48
FOSSO VECCHIO	26.64	VIAZZA INFERIORE	2.23
FOSSO VETRO	9.89	VIAZZA SUPERIORE	0.32
FUMAROLO	0.50	ZIA	0.42
		<b>TOTALE</b>	<b>175.97</b>

Tabella 16: Estensione areale dei sottobacini del bacino Fosso Vecchio.

### 6.1.2 Set-up del modello

Per il calcolo del volume efficace è stato utilizzato il metodo del Curve Number, sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS) del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti [Soil Conservation Service, 1972]. Per la determinazione dell'idrogramma del deflusso superficiale è stato utilizzato il metodo dell'idrogramma unitario di Clark [1945]. Sono state trascurate le perdite per evapotraspirazione ed il deflusso profondo in quanto gli eventi di piena hanno luogo principalmente durante i mesi invernali quando le temperature sono limitate e il grado di saturazione (falda freatica) relativamente elevato. Per la traslazione dell'onda di piena all'interno dei canali è stato utilizzato il metodo cinematico, implementato sulla base delle caratteristiche fisiche del tratto di canale specifico (lunghezza, pendenza, sezione, scabrezza).

Per la generazione dell'evento su cui valutare le variazioni indotte dalla subsidenza si è partiti dalla portata massima nominale delle elettropompe installate presso l'impianto idrovoro di Tratturo a servizio del comprensorio di Bonifica, strutturato su sei elettropompe, per una portata massima

nominale complessiva pari a 10.8 m<sup>3</sup>/s. Le acque sollevate dalle idrovore vengono convogliate dal Nuovo Tratturo nel canale Destra Reno, secondo livelli di avvio e spegnimento forniti dal Consorzio. Ipotizzando che, come usualmente avviene nell'ambito della gestione della bonifica nell'area costiera padana, la portata delle pompe sia stata dimensionata per un evento con tempo di ritorno 30 anni, si è quindi cercato di generare un evento pluviometrico con Tr=30 anni che determinasse una portata al colmo di 10.8 m<sup>3</sup>/s, utilizzata come riferimento per la taratura del parametro CN per la definizione della pioggia efficace. Il parametro CN così identificato (CN=63) è stato poi applicato anche agli altri bacini presi in esame.

Il tempo di corrivazione dei bacini simulati è stato calcolato con la formula di Pasini [Da Deppo et al., 2004]:

$$t_c = \frac{0.0045}{\sqrt{i}} \sqrt[3]{SL}$$

$$\sqrt{i} = \frac{\sum l}{\sum \frac{l_n}{\sqrt{i_n}}}$$

dove  $t_c$  è il tempo di corrivazione in giorni,  $S$  la superficie del bacino in km<sup>2</sup> ed  $L$  la lunghezza del collettore in km,  $l_n$  e  $i_n$  rispettivamente lunghezza e pendenza dei diversi tratti del collettore. La Tabella 17 mostra i tempi di corrivazione ottenuti per ciascun bacino:

Bacino	Tempo di corrivazione [ore]
Fosso Vecchio	72
Alfonsine	24
Canal Vela	72
Nuovo Tratturo	48

Tabella 17 Tempi di corrivazione per bacino.

Per l'intensità di pioggia si è fatto riferimento allo studio del Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale [2001] e allo studio di Todini [1990]. Questi lavori hanno fornito la curva di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno di interesse, ottenuta sulla base di studi di regionalizzazione comprendenti il territorio indagato focalizzati alla determinazione della precipitazione intensa per eventi di varia durata. La Tabella 18 mostra la precipitazione per il tempo di ritorno di 30 anni in funzione della durata di interesse (pari ai tempi di corrivazione sopra identificati).

Durata [ore]	Precipitazione [mm]
24	105
48	130
72	135

Tabella 18 Precipitazione per il tempo di ritorno di 30 anni.

Per ogni bacino, è stato quindi creato un evento pluviometrico della durata pari al tempo di corrivazione e precipitazione cumulata pari a quella di Tabella 18 come mostrato dai grafici di Figura 32- Figura 34.

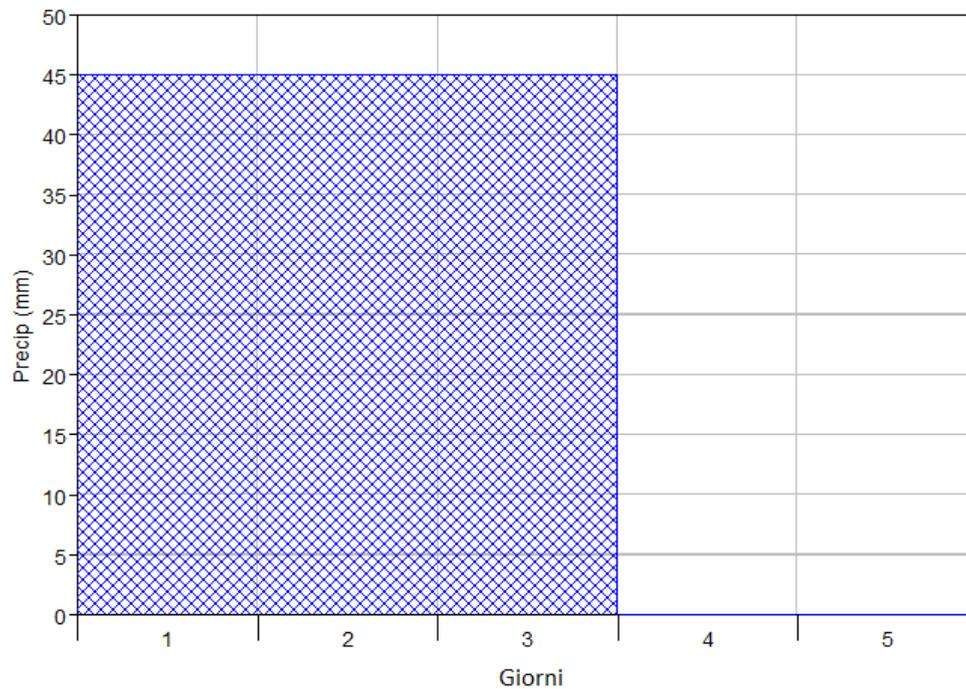


Figura 32 Fosso Vecchio e Canal Vela: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.

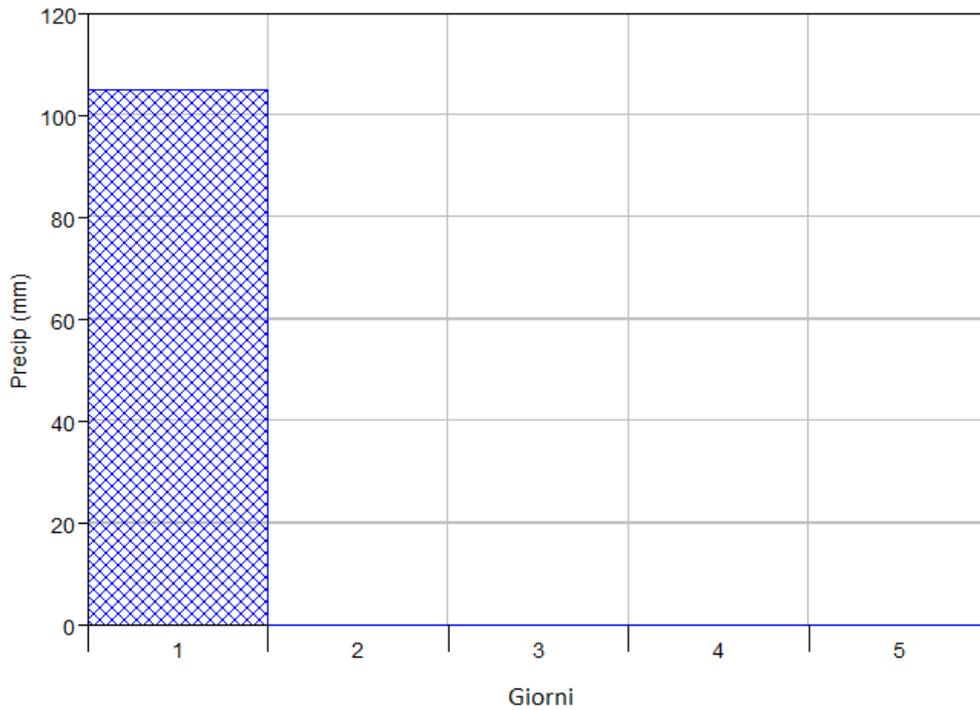


Figura 33 Scolo Alfonsine: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.

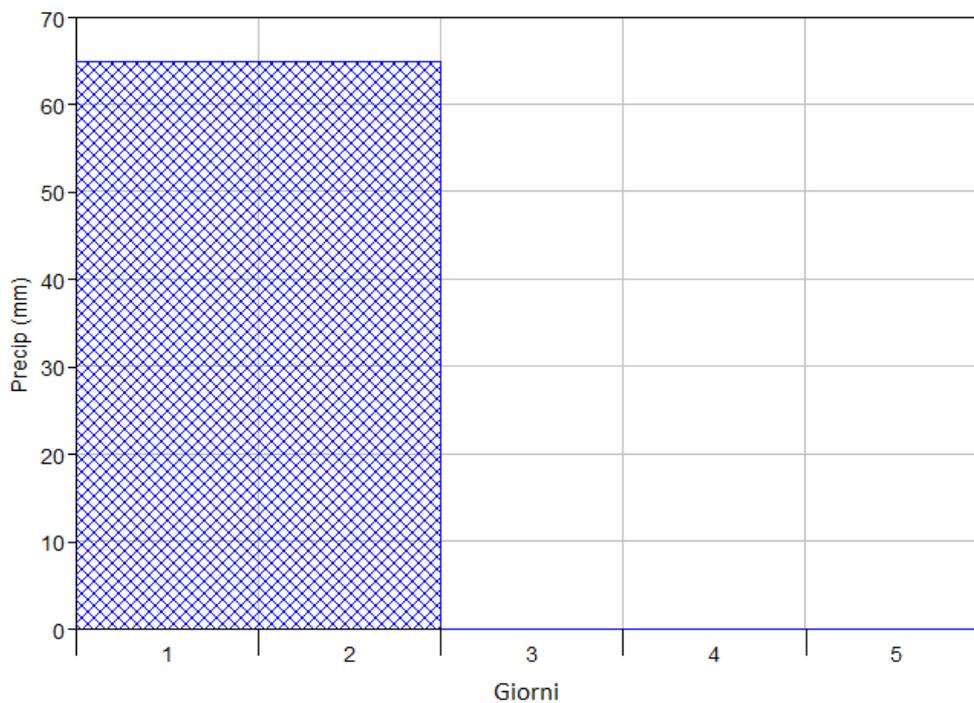


Figura 34 Scolo Nuovo Tratturo: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.

### 6.1.3 Risultati delle simulazioni

Le simulazioni effettuate hanno fornito il calcolo dell'idrogramma di piena per ognuno dei sottobacini in cui sono stati discretizzati i quattro sistemi analizzati. Tali idrogrammi, distribuiti lungo la rete, costituiscono la condizione al contorno per la successiva modellazione idraulica.

A titolo esemplificativo, in Figura 35 - Figura 38 sono riportati gli idrogrammi risultanti alla sezione di chiusura dei quattro modelli.

Da notare che la forma degli idrogrammi mostra per i bacini più estesi il ramo di discesa più ripido della parte di salita, il che rappresenta un comportamento inusuale; tale andamento è diretta conseguenza delle assunzioni fatte che prevedono, come sopra menzionato, che il deflusso profondo sia trascurato. La forma dell'idrogramma risulta pertanto impattata dall'impostazione seguita, che tuttavia non inficia la bontà dei risultati ottenuti, che, per il tipo di analisi richiesta, sono focalizzati sull'entità del picco di piena. Il valore dei picchi di piena ottenuti risulta essere in linea con quelli calcolati nel già citato Studio idrologico ed idraulico del Canale di Bonifica in Destra di Reno: per il Canal Vela e il Fosso Vecchio, che sono i bacini più significativi, i risultati delle simulazioni idrologiche condotte mostrano portate al colmo di circa  $51 \text{ m}^3/\text{s}$  per entrambi, da confrontare con le portate calcolate dal Consorzio, pari rispettivamente a  $48$  e  $52 \text{ m}^3/\text{s}$ .

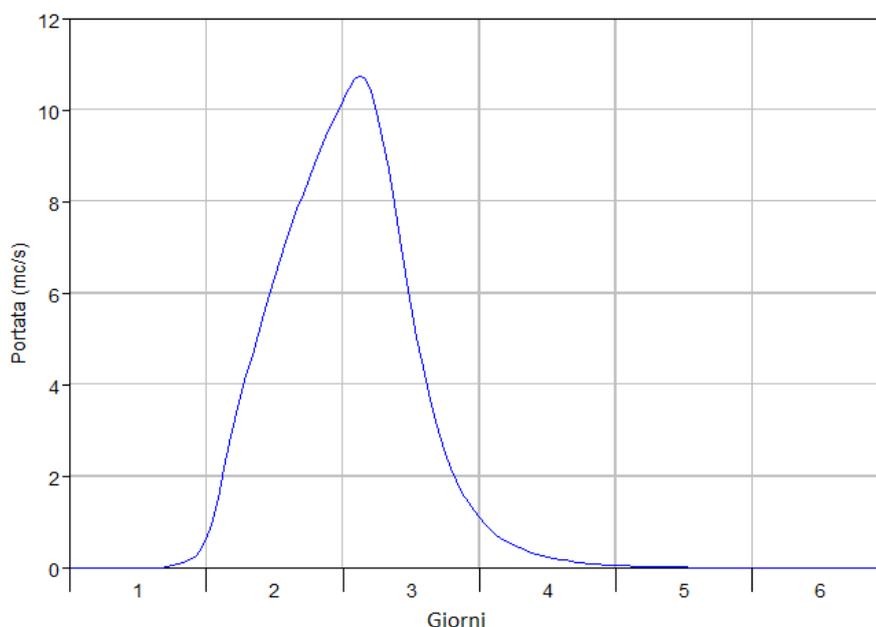


Figura 35: Nuovo Tratturo: idrogramma risultante alla sezione di chiusura.

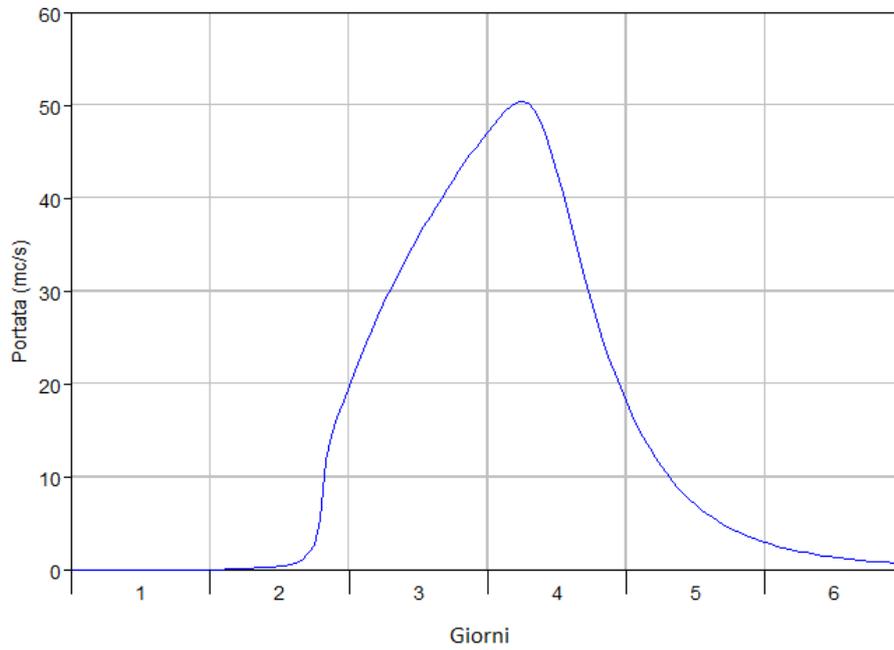


Figura 36: Canal Vela: idrogramma risultante alla sezione di chiusura.

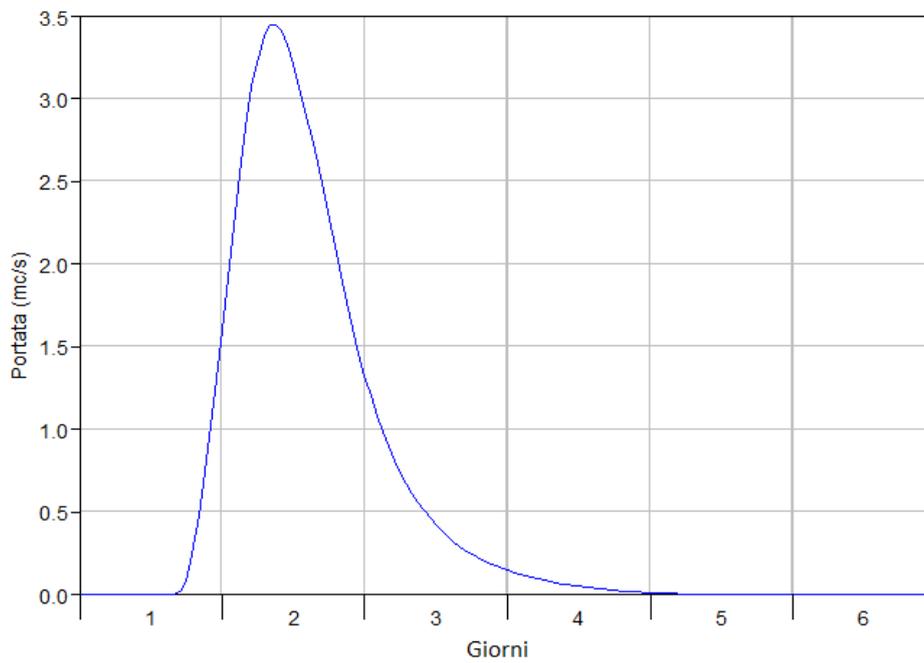


Figura 37: Scolo Alfonsine: idrogramma risultante alla sezione di chiusura.

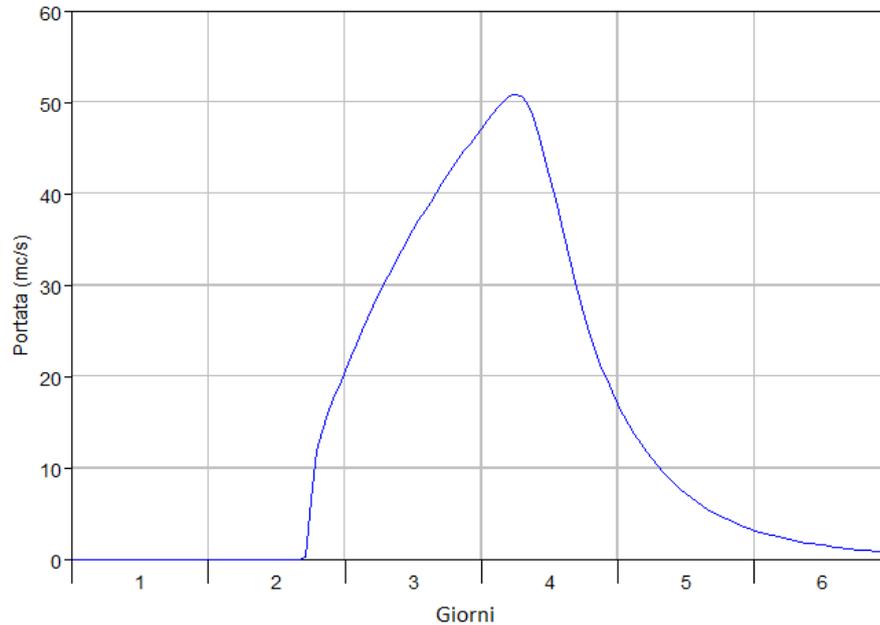


Figura 38: Fosso Vecchio: drogramma risultante alla sezione di chiusura.

## 6.2 Modello idraulico

### 6.2.1 Definizione della geometria del sistema

In Figura 39 è riportato lo schema idraulico utilizzato in HEC-RAS.

Per l'impianto idrovoro Tratturo sono a disposizione il numero e la portata delle pompe, con indicazione delle quote di avviamento e arresto. Sulla base di queste informazioni si è ipotizzato un funzionamento dell'impianto idrovoro come schematizzato in Tabella 19. Gli altri tre canali principali (Canal Vela, Scolo Alfonsine e Fosso Vecchio) confluiscono le acque in Destra Reno a semplice gravità.



### 6.2.2 Set-up del modello

L'input al modello idraulico è determinato dai risultati del modello idrologico: ogni sottobacino schematizzato in HMS determina la portata di input per il relativo canale, portata che viene distribuita come afflusso di testa o laterale lungo i tratti di canale modellati. Alcuni contributi laterali relativi a scoli minori non inclusi nella rete idraulica modellata sono gestiti mediante idrovore; per tali contributi, pur considerati tra le condizioni al contorno, gli impianti idrovori sono stati trascurati nell'implementazione del modello, considerando la porta recapitata immediatamente al ricettore di valle.

Per quanto riguarda il Canale Destra Reno, è stata imposta una portata di 50 m<sup>3</sup>/s a monte delle immissioni considerate nel modello. A valle, in foce del canale Destra Reno, è stato posto un livello medio mare pari a 0.5 m s.l.m.

Per il coefficiente di scabrezza, secondo la formulazione di Manning, sono stati considerati i seguenti valori:

- $n=0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}^{-1}$  per la parte golenale;
- $n=0.025 \text{ m}^{-1/3}\text{s}^{-1}$  per le parti di alveo attivo del canale Destra Reno;
- $n=0.030 \text{ m}^{-1/3}\text{s}^{-1}$  per le parti di alveo attivo per gli altri canali consortili.

### 6.2.3 Scenari analizzati

Il modello HEC-RAS è stato utilizzato per verificare le seguenti configurazioni geometriche:

1. Scenario A: stato "attuale", ovvero quello definito sulla base delle quote dei rilievi topografici a disposizione.
2. Scenario B: termine della fase di erogazione nel caso  $P = 240 \text{ bar}$ , cioè  $P = 1.2 P_i$  (Figura 40). Lo spostamento considerato è quello corrispondente al passaggio dallo stato attuale alla minima pressione di esercizio prevista, ottenuto nello scenario "base" ovvero con  $c_{M \text{ media}}$ . La distribuzione degli spostamenti imposti sulle sezioni dei diversi canali è riportata in Figura 41a.
3. Scenario C: termine della fase di stoccaggio nel caso  $P = 240 \text{ bar}$ , cioè  $P = 1.2 P_i$  (Figura 40). Lo spostamento considerato è quello corrispondente al passaggio dallo stato attuale alla massima pressione di esercizio prevista, ottenuto nello scenario "base" ovvero con  $c_{M \text{ media}}$ .

La distribuzione degli spostamenti imposti sulle sezioni dei diversi canali è riportata in Figura 40b.

4. Scenario D: sovrapposizione degli effetti de campi di San Potito al termine della fase di stoccaggio (Figura 41a), di Alfonsine al termine della fase di stoccaggio (Figura 42a) e di Longanesi al termine della produzione primaria (Figura 42b). La distribuzione degli spostamenti imposti sulle sezioni dei diversi canali è riportata in Figura 43: il contributo del solo campo di San Potito è quello considerato nello scenario B, per quanto riguarda i campi di Alfonsine e Longanesi si è fatto riferimento alle mappe di spostamento fornite da EDISON STOCCAGGIO e desunte da Teatini et al. [2017] e ENI [2010]. In Figura 44 è mostrata una sezione della mappa di spostamento dello scenario D: è evidente come l'effetto delle attività di stoccaggio nel campo di San Potito sia trascurabile rispetto a quello degli altri giacimenti.

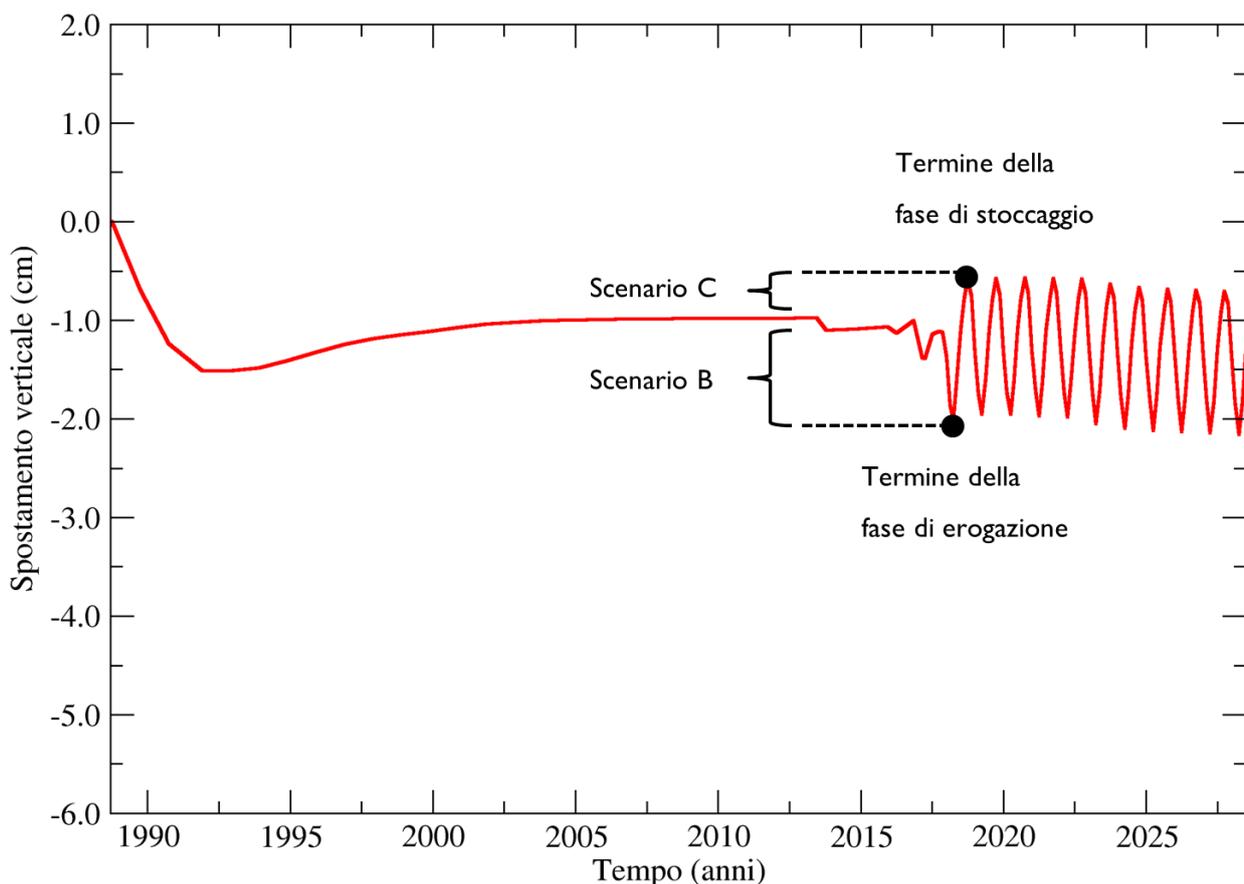


Figura 40: Spostamenti (cm) in corrispondenza del giacimento di San Potito per gli scenari B e C. Gli spostamenti sono il risultato del modello geomeccanico con  $C_M$  media e  $P = 240$  bar ( $P = 1.2$  Pi), ovvero lo scenario “base” analizzato nella precedente fase dello studio [M<sup>3</sup>E, 2017].

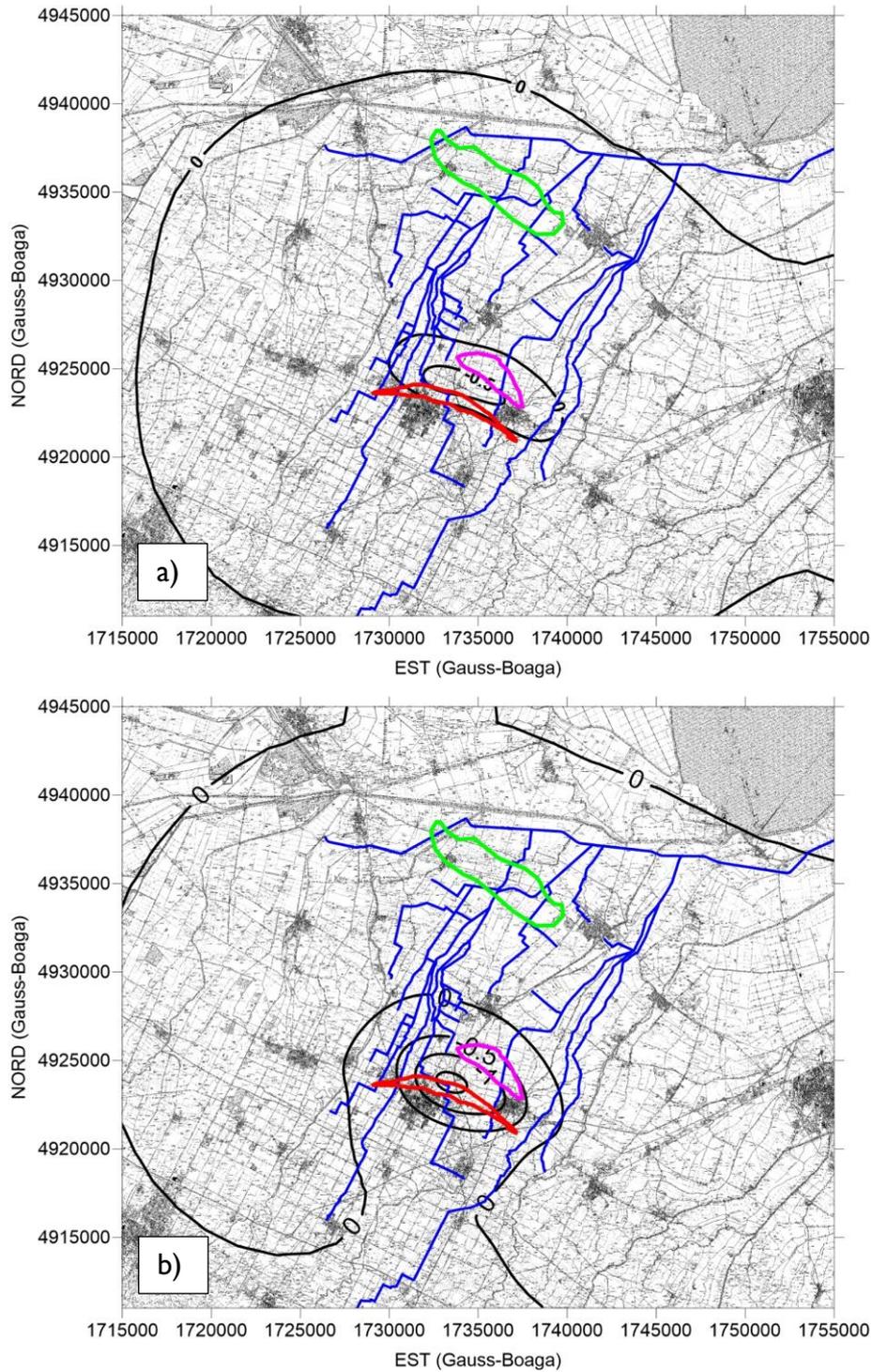


Figura 41: Spostamento (cm) considerato negli scenari B (a) e C (b) fornito dal modello geomeccanico di San Potito nel caso “base” con  $P = 240$  bar ( $P = 1.2 P_i$ ) e con  $c_M$  media. La traccia del giacimento di San Potito è riportata in rosso, assieme a quelle dei campi di Longanesi (in viola) e Alfonsine (in verde). La rete scolante nel modello HEC-RAS è evidenziata in blu.

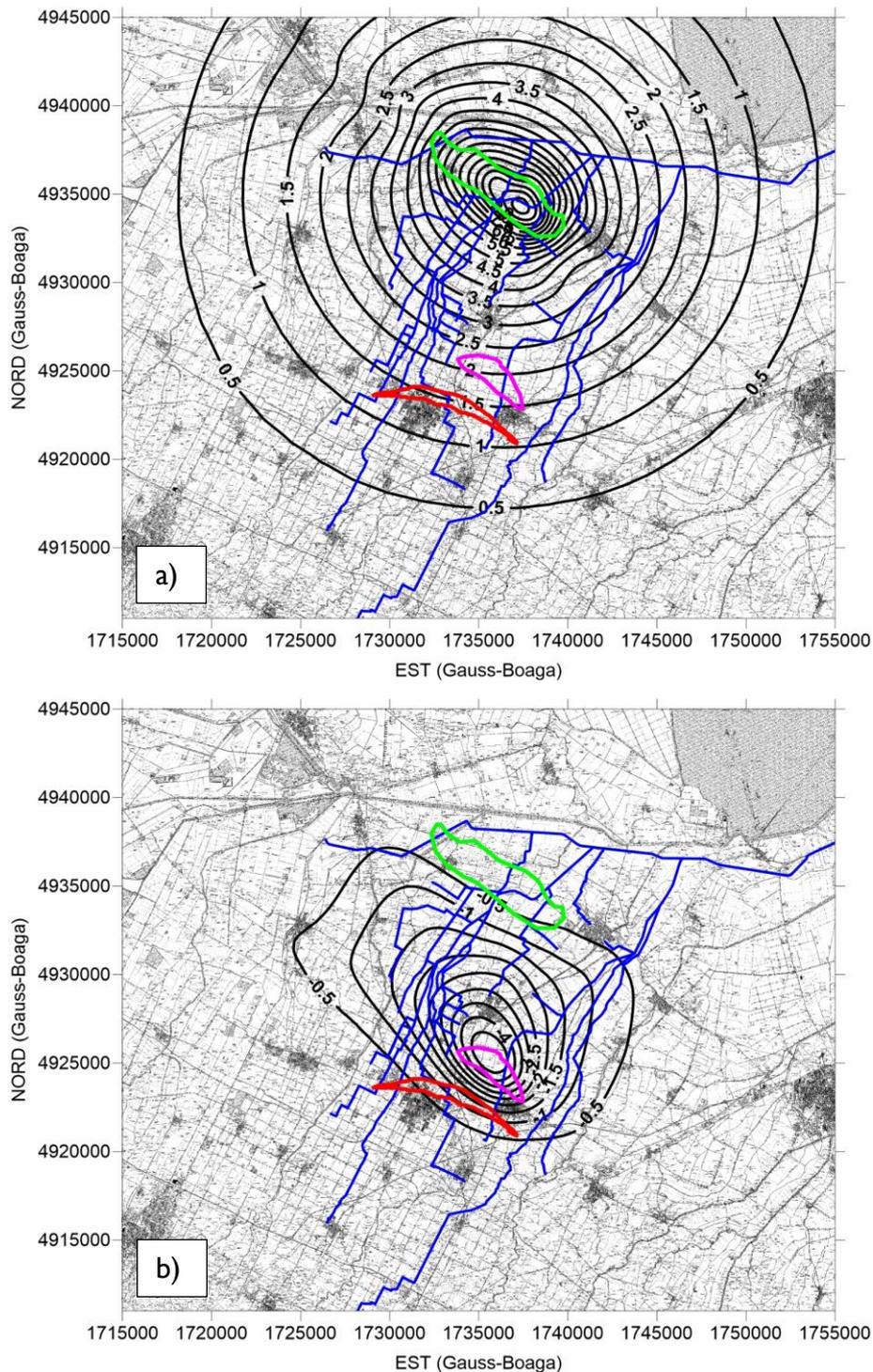


Figura 42: Spostamento (cm) dovuto alle attività minerarie nel campo di Alfonsine (a) e Longanesi (b) corrispondente allo “scenario C”. Le mappe sono state desunte dai rapporti di Teatini et al. [2017] e dallo scenario “Cmed\_Kdef” (interpolato all’anno 2030) in ENI [2010], rispettivamente. Le tracce dei giacimenti di San Potito, Longanesi e Alfonsine sono evidenziate rispettivamente in rosso, viola e verde. La rete scolante nel modello HEC-RAS è evidenziata in blu.

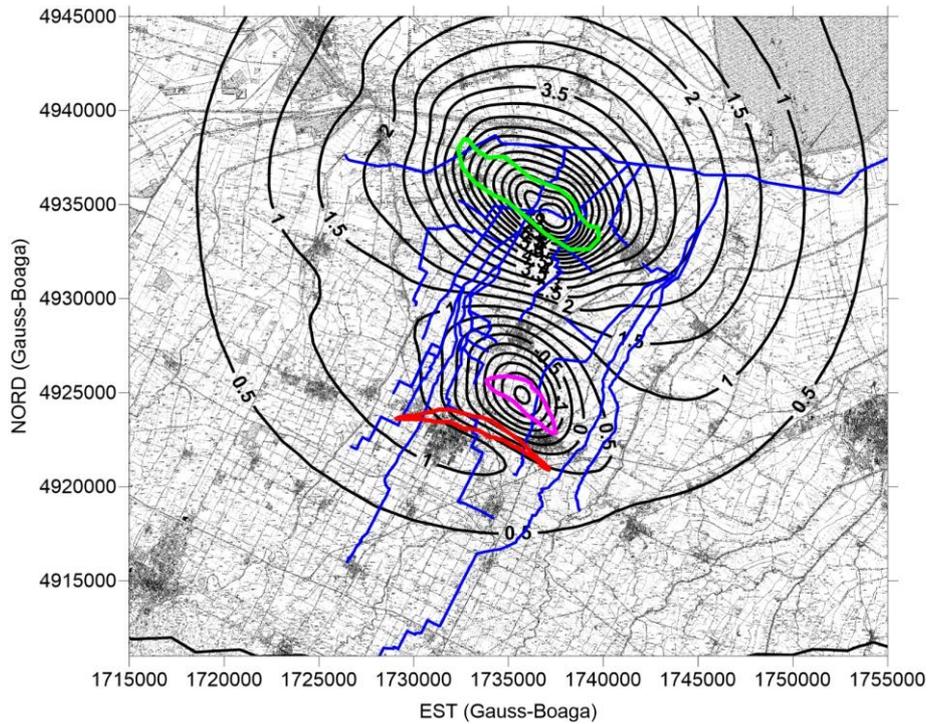


Figura 43: Spostamento (cm) considerato nello scenario D. Le tracce dei giacimenti di San Potito, Longanesi e Alfonsine sono evidenziate rispettivamente in rosso, viola e verde. La rete scolante nel modello HEC-RAS è evidenziata in blu.

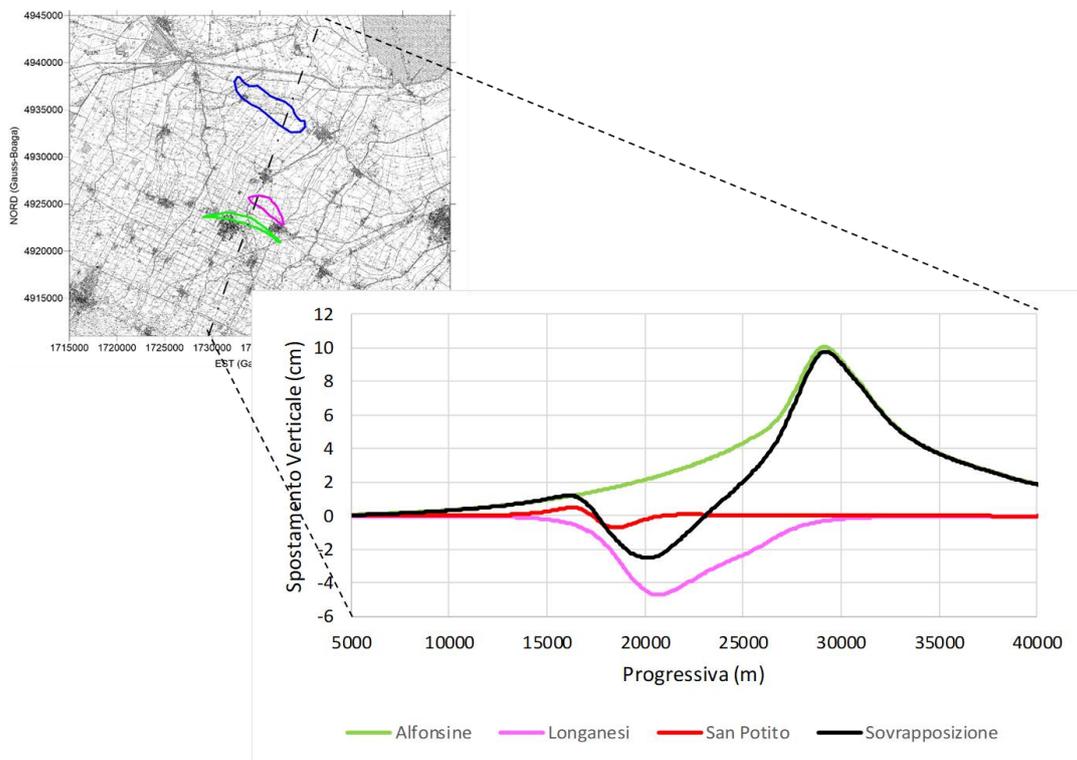


Figura 44: Sezione Sud-Ovest – Nord-Est delle mappe di spostamento (cm) di Figura 41a, Figura 42a, Figura 42b e Figura 43, rispettivamente in rosso, verde, viola e nero.

Il massimo abbassamento e il massimo innalzamento del fondo dei canali di ogni bacino considerato nel modello idraulico sono riportati in Tabella 20 - Tabella 24. Negli scenari B e C le variazioni massime sono dell'ordine del centimetro. Variazioni maggiori di un ordine di grandezza si hanno per lo scenario D, che indica come l'impatto delle attività minerarie negli altri due giacimenti (Longanesi e Alfonsine) sia superiore a quello di San Potito.

Canale	Scenario B		Scenario C		Scenario D	
	max abb. [cm]	max inn. [cm]	max abb. [cm]	max inn. [cm]	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Destra Reno	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	5.8

Tabella 20: Variazioni altimetriche (cm) dei canali del bacino Canale Destra Reno (rispetto alla situazione attuale – scenario A).

Canale	Scenario B		Scenario C		Scenario D	
	max abb. [cm]	max inn. [cm]	max abb. [cm]	max inn. [cm]	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Nuovo Tratturo	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	9.3
Traversagno	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	7.2

Tabella 21: Variazioni altimetriche (cm) dei canali del bacino Nuovo Tratturo (rispetto alla situazione attuale – scenario A).

Canale	Scenario B		Scenario C		Scenario D	
	max abb. [cm]	max inn. [cm]	max abb. [cm]	max inn. [cm]	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Alfonsine	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	5.5

Tabella 22: Variazioni altimetriche (cm) dei canali del bacino Alfonsine (rispetto alla situazione attuale – scenario A).

Canale	Scenario B		Scenario C		Scenario D	
	max abb. [cm]	max inn. [cm]	max abb. [cm]	max inn. [cm]	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Canal Vela	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	9.6
Tratturo	-0.7	0.1	-0.2	0.2	0.0	6.8
Casale	-0.4	0.1	-0.1	0.1	0.0	4.6
Fossatone di San Bernardino	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	4.2
Via Lunga a Ponente	-0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	1.8
Via Nuova nel Casale	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	1.1
Ascensione	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	1.2
Arginello	-1.4	0.1	-0.5	0.5	-0.3	6.9
Menata di Runzi	-0.2	0.1	0.0	0.1	-0.1	3.3
Santa Lucia	-0.1	0.0	0.0	0.1	-0.6	1.0
Frassona Maggiore	-0.1	0.0	0.0	0.1	-0.6	0.2
Cocorre	-0.2	0.0	0.0	0.1	-0.7	-0.1
Sant'Antonio	-1.0	0.0	-0.4	0.0	-1.2	-0.2
Menata di Fusignano	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	8.7
Via Nuova	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	7.8

Tabella 23: Variazioni altimetriche (cm) dei canali del bacino Canal Vela (rispetto alla situazione attuale – scenario A).

Canale	Scenario B		Scenario C		Scenario D	
	max abb. [cm]	max inn. [cm]	max abb. [cm]	max inn. [cm]	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Fosso Vecchio	-0.2	0.1	-0.1	0.2	0.0	2.6
Fosso Vetro	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	2.5
Fosso Munio	-1.1	0.1	-0.5	0.3	-2.7	2.6

Tabella 24: Variazioni altimetriche (cm) dei canali del bacino Fosso Vecchio (rispetto alla situazione attuale – scenario A).

## 6.2.4 Risultati del modello idraulico della rete scolante

I risultati della modellizzazione idraulica sono presentati in termini di confronto tra gli Scenari B, C e D con lo Scenario A di riferimento. I risultati delle simulazioni, riportati nei paragrafi seguenti, evidenziano come l'impatto dell'attività di stoccaggio/erogazioni nel giacimento di San Potito sulla rete idraulica di superficie risulti trascurabile.

### 6.2.4.1 Scenario B

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Destra Reno	0.0	0.1

Tabella 25: Variazioni rispetto ai livelli massimi lungo il canale Destra Reno.

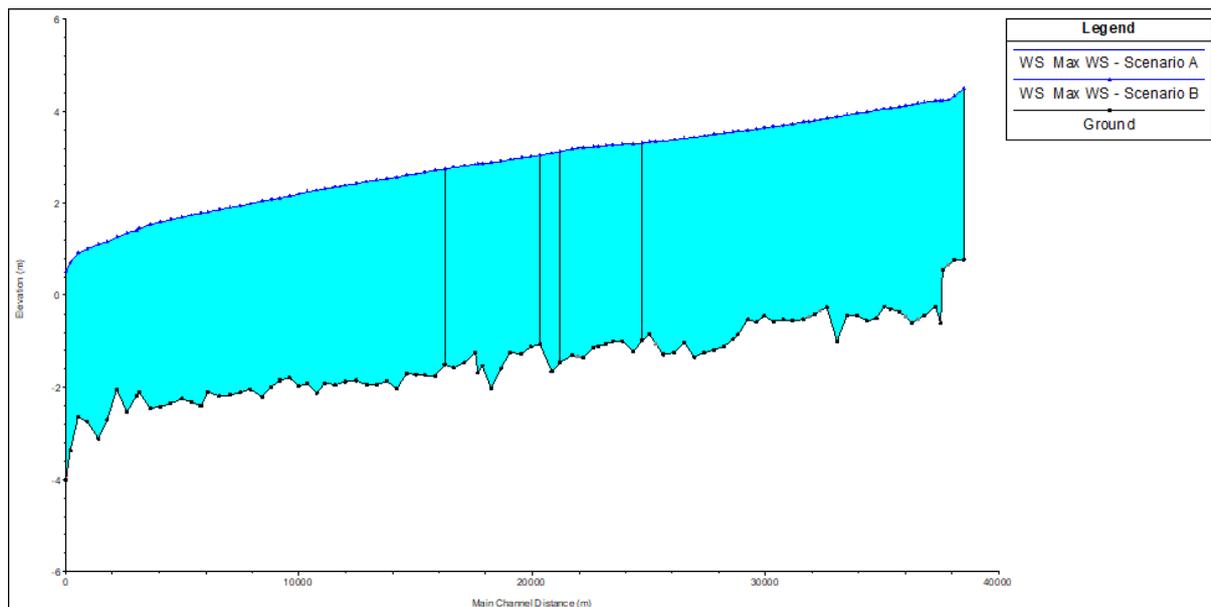


Figura 45: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Destra Reno.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Nuovo Tratturo	-0.2	0.1
Traversagno	0.0	0.1

Tabella 26: Variazioni rispetto ai livelli massimi nei canali del bacino Nuovo Tratturo.

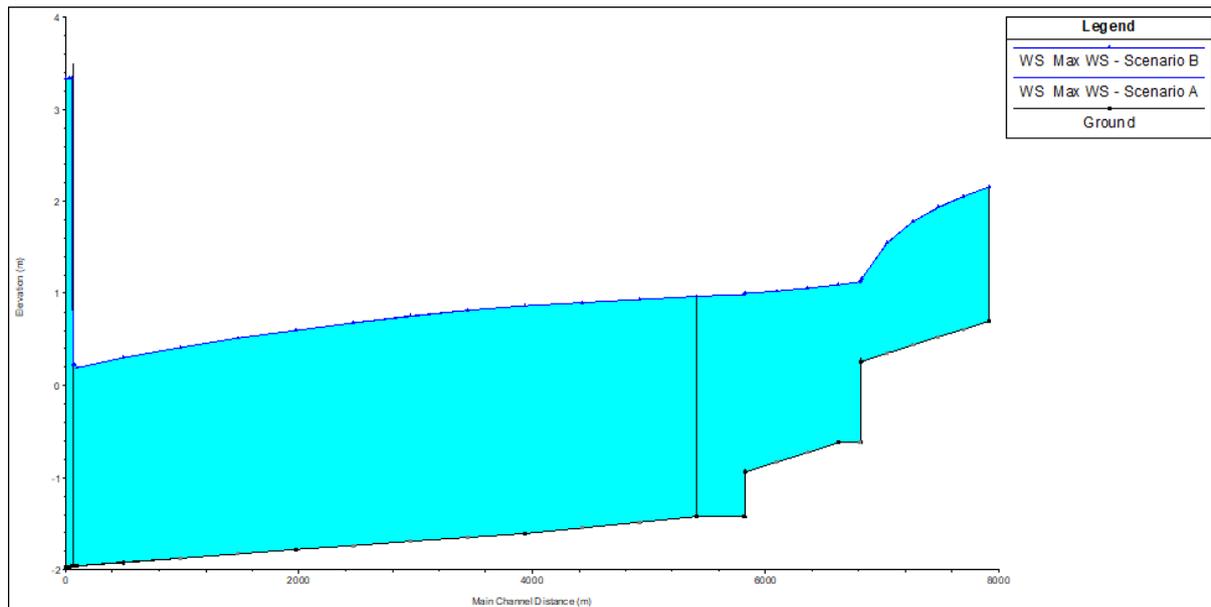


Figura 46: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Nuovo Tratturo.

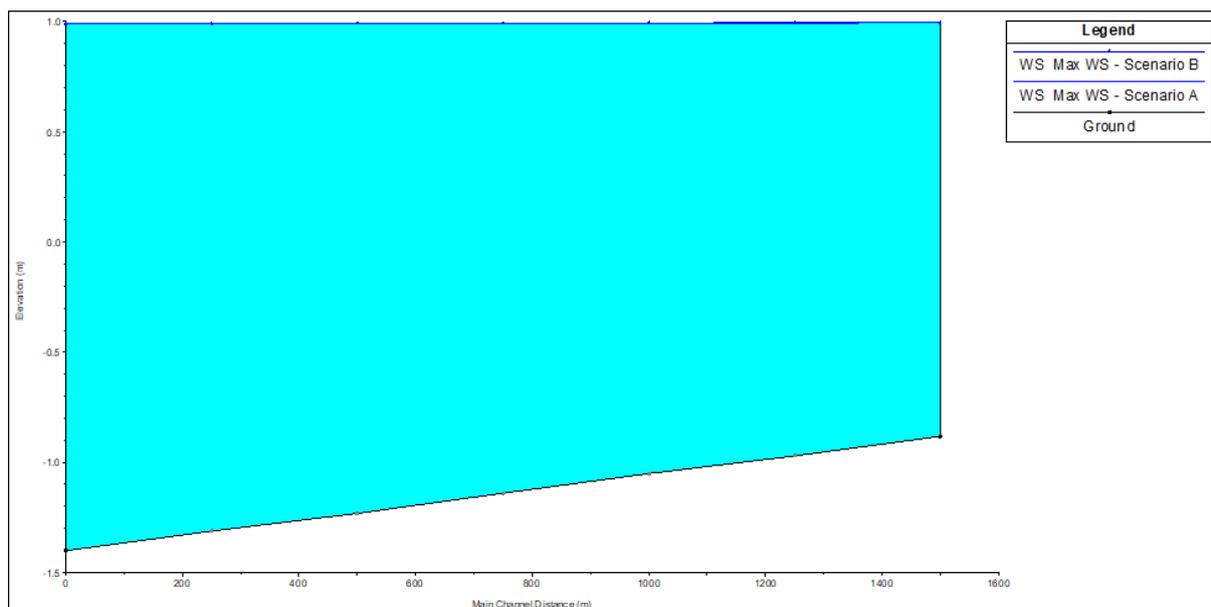


Figura 47: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Traversagno.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Canal Vela	0.0	0.1
Tratturo	-0.7	0.1
Casale	-0.4	0.2
Fossatone di San Bernardino	0.0	0.2
Via Lunga a Ponente	0.0	0.1
Via Nuova nel Casale	-0.3	0.0
Ascensione	-0.3	0.0
Arginello	-1.3	0.1
Menata di Runzi	-0.2	0.2
Santa Lucia	-0.2	0.0
Frassona Maggiore	-0.2	0.0
Cocorre	-0.2	0.0
Sant'Antonio	-1.0	0.0
Menata di Fusignano	0.0	0.2
Via Nuova	0.0	0.1

Tabella 27: Variazioni rispetto ai livelli massimi nei canali del bacino Canal Vela.

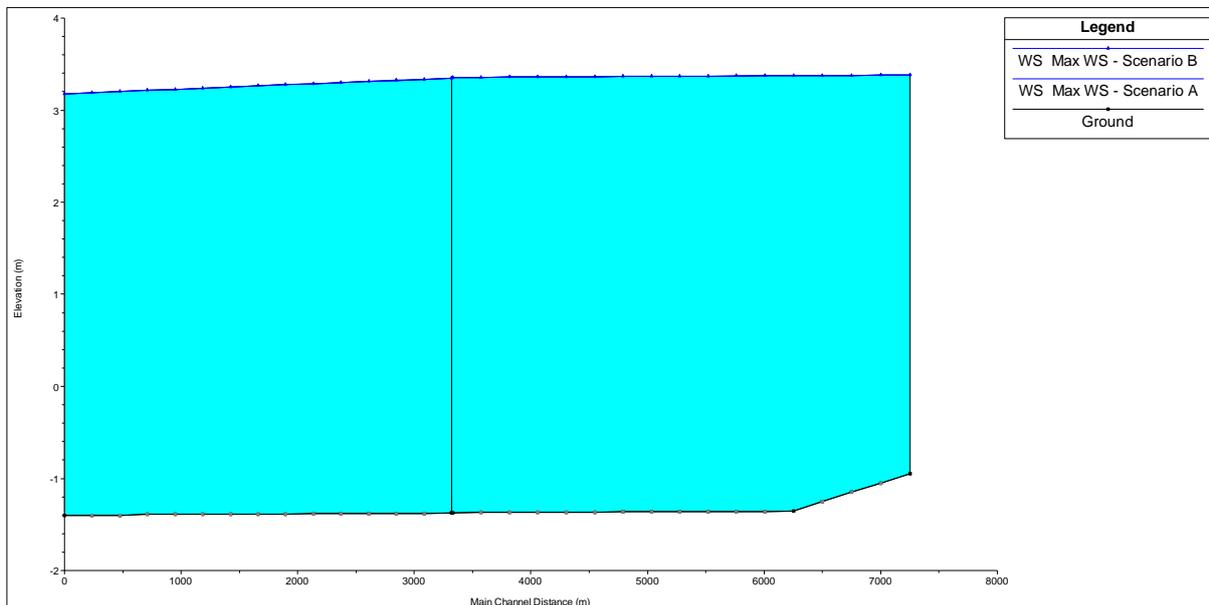


Figura 48: Profilo dei livelli massimi lungo il Canal Vela.

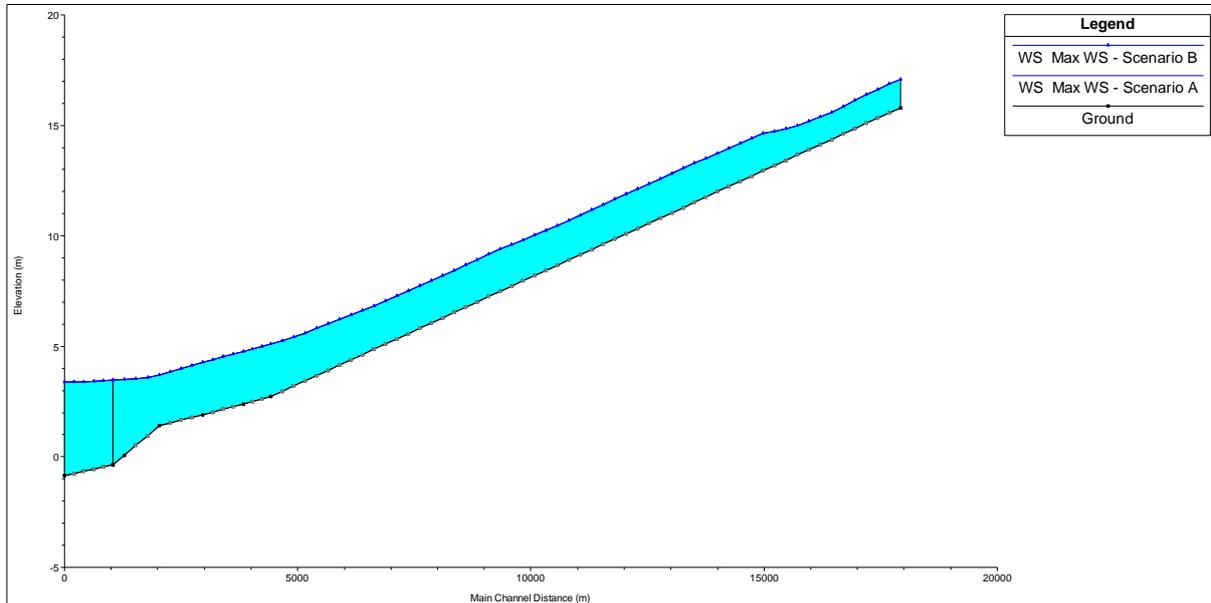


Figura 49: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo.

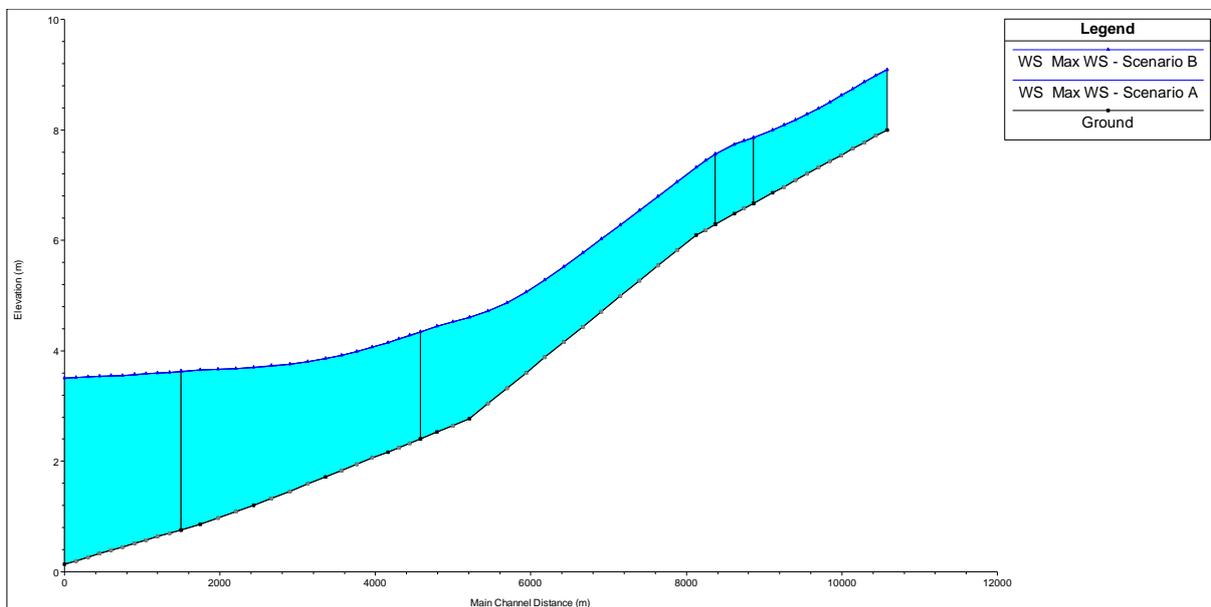


Figura 50: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Casale.

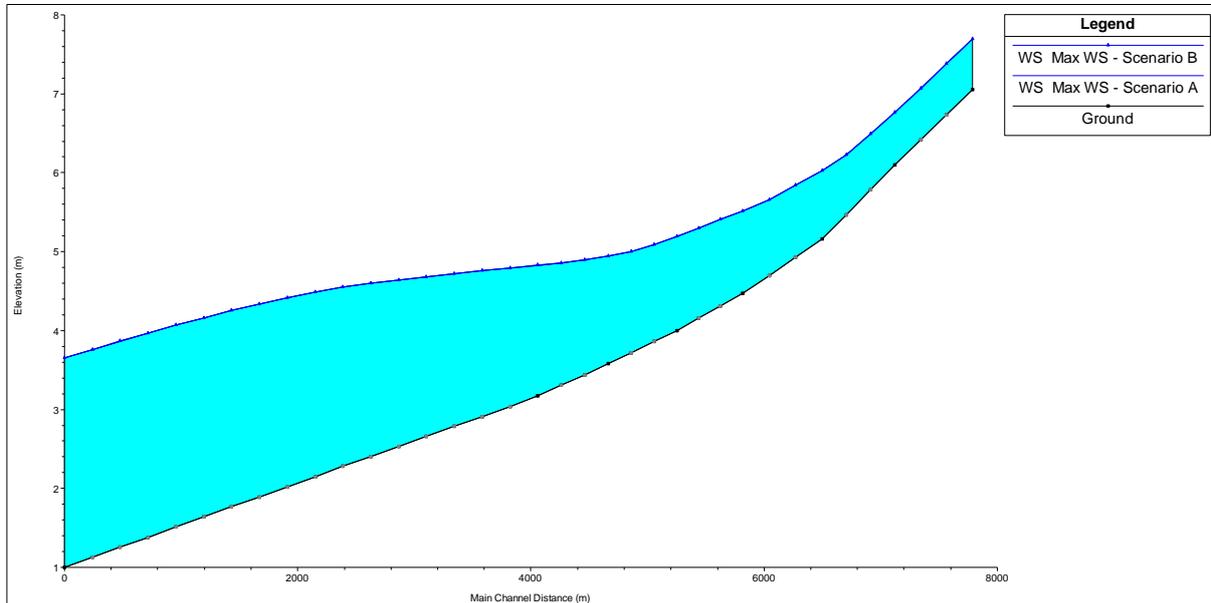


Figura 51: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fossatone di San Bernardino.

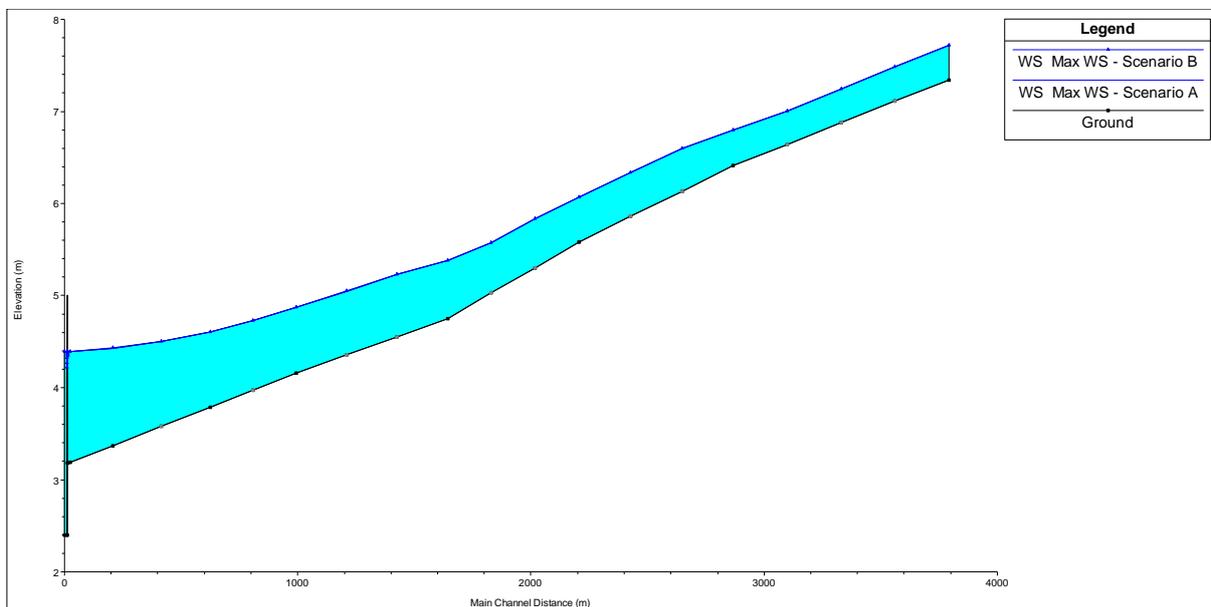


Figura 52: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Lunga a Ponente.

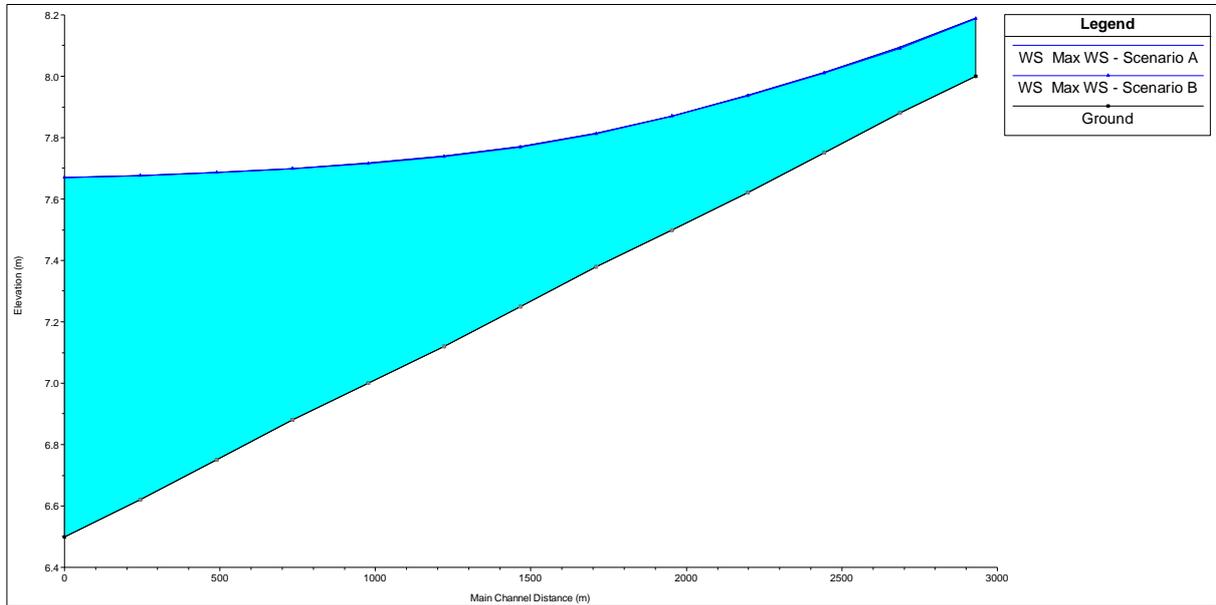


Figura 53: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova nel Casale.

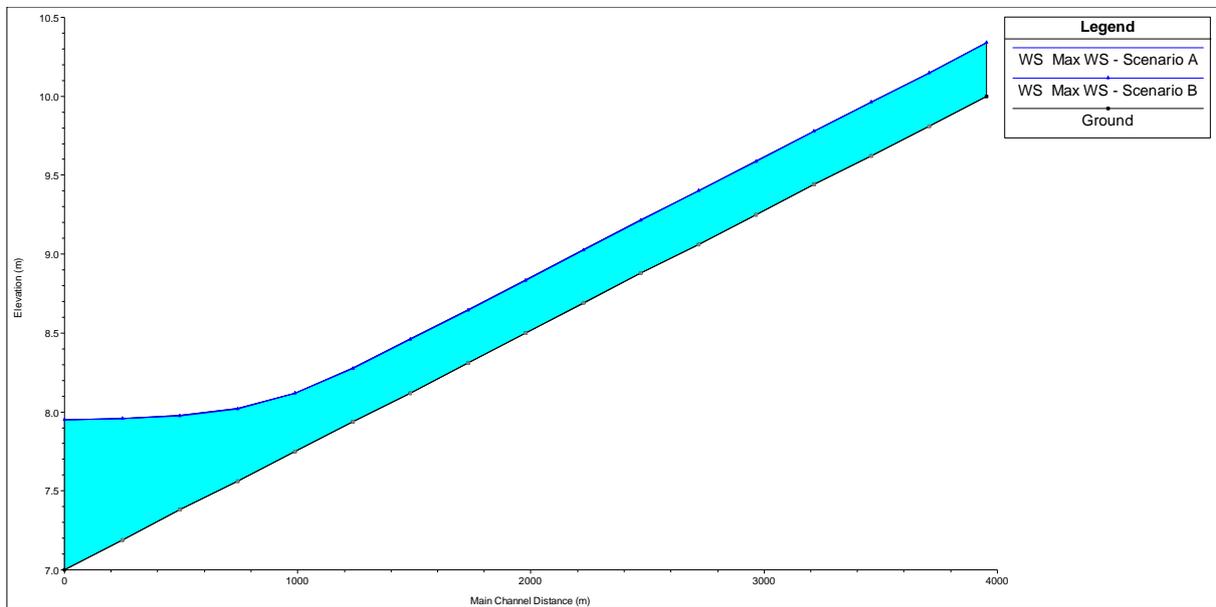


Figura 54: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Ascensione.

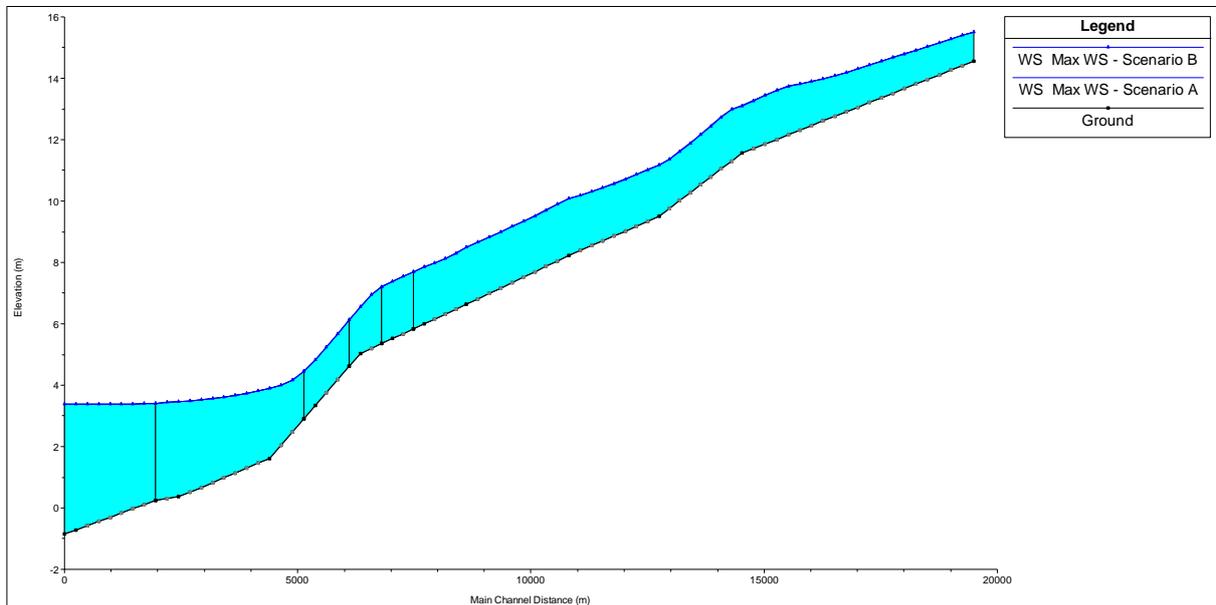


Figura 55: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello.

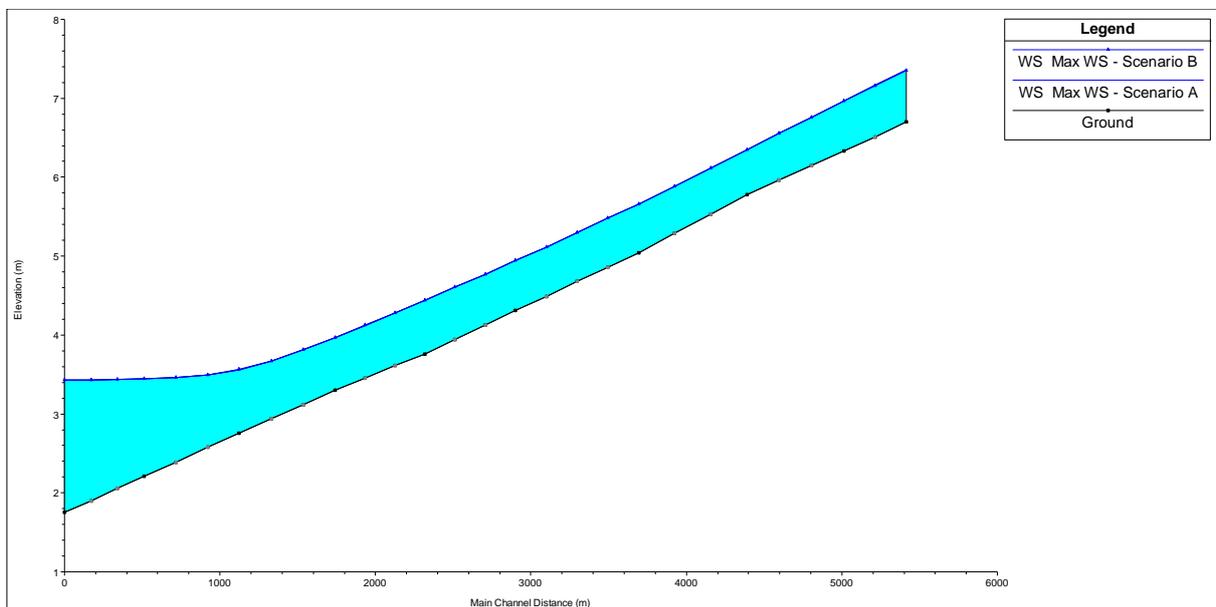


Figura 56: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Runzi.

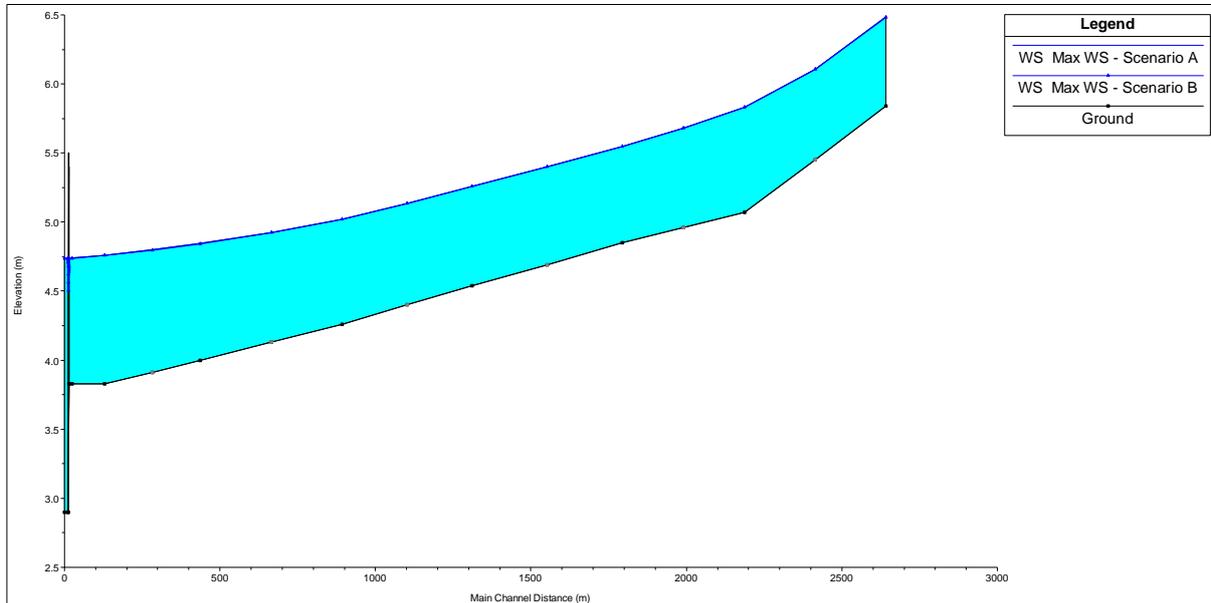


Figura 57: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Santa Lucia.

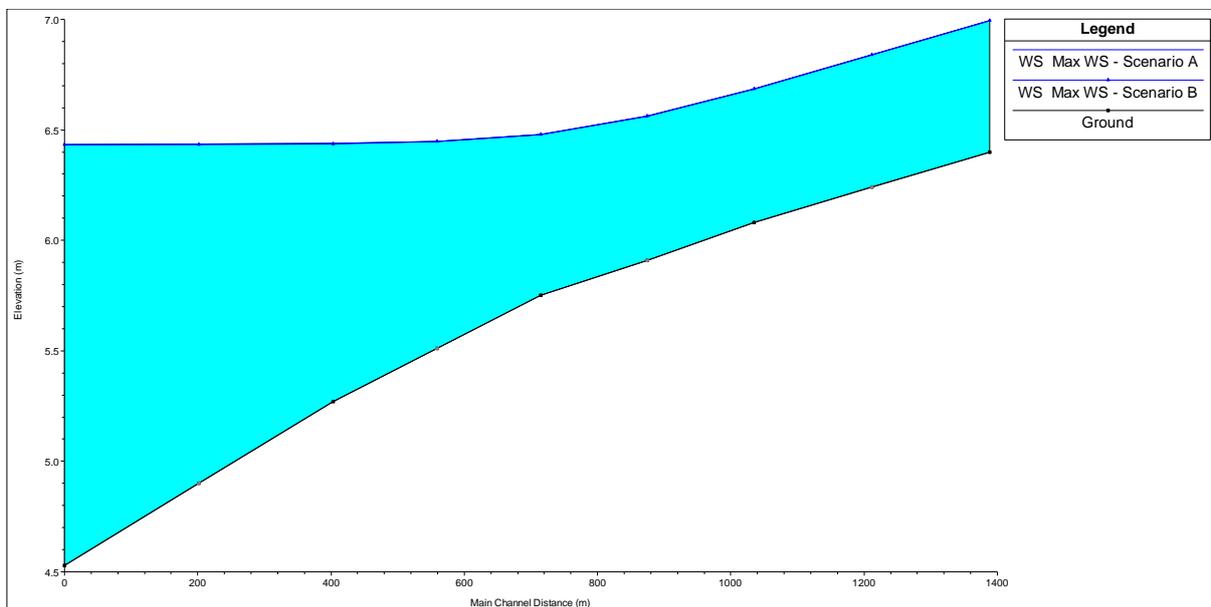


Figura 58: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Frassona Maggiore.

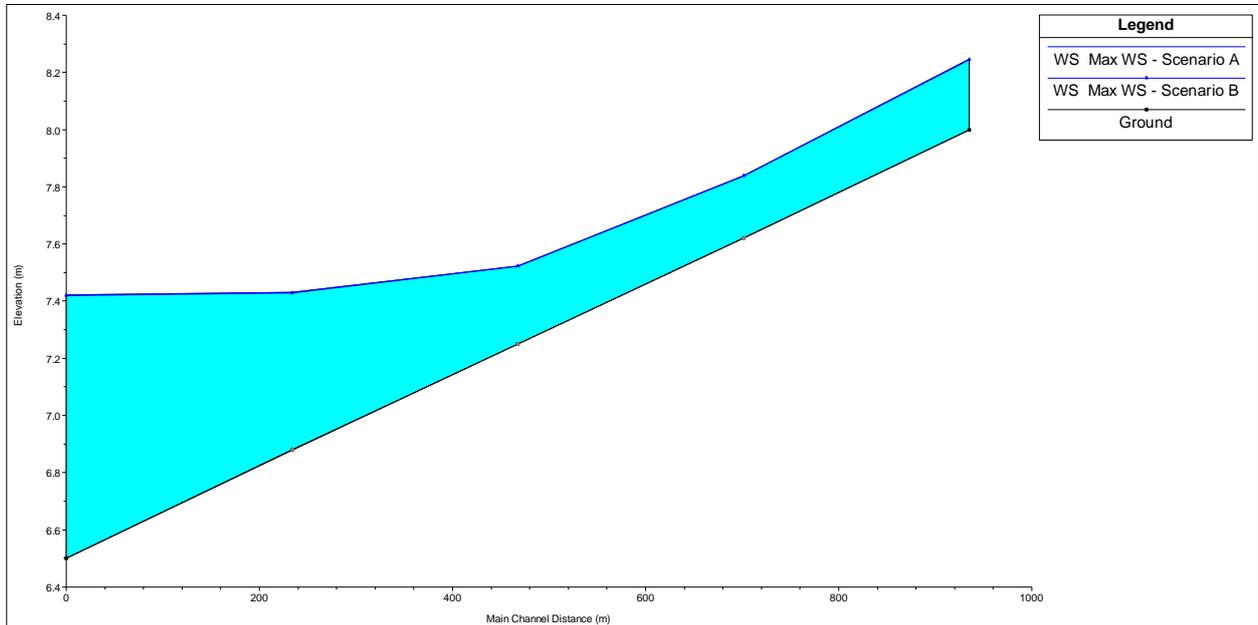


Figura 59: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Cocorre.

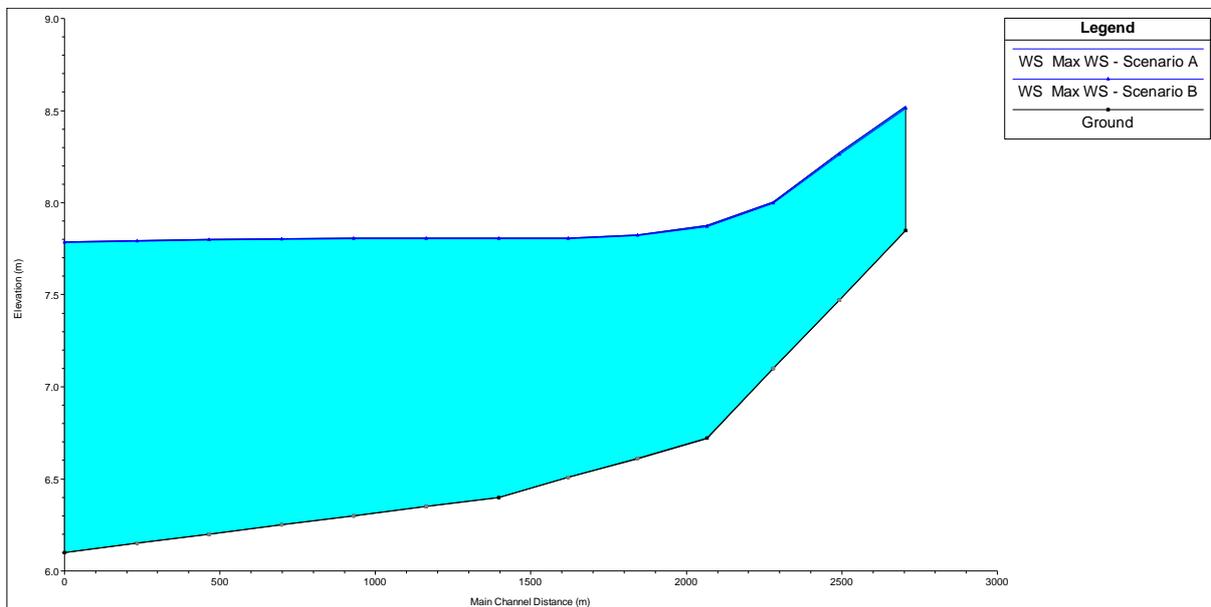


Figura 60: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Sant'Antonio.

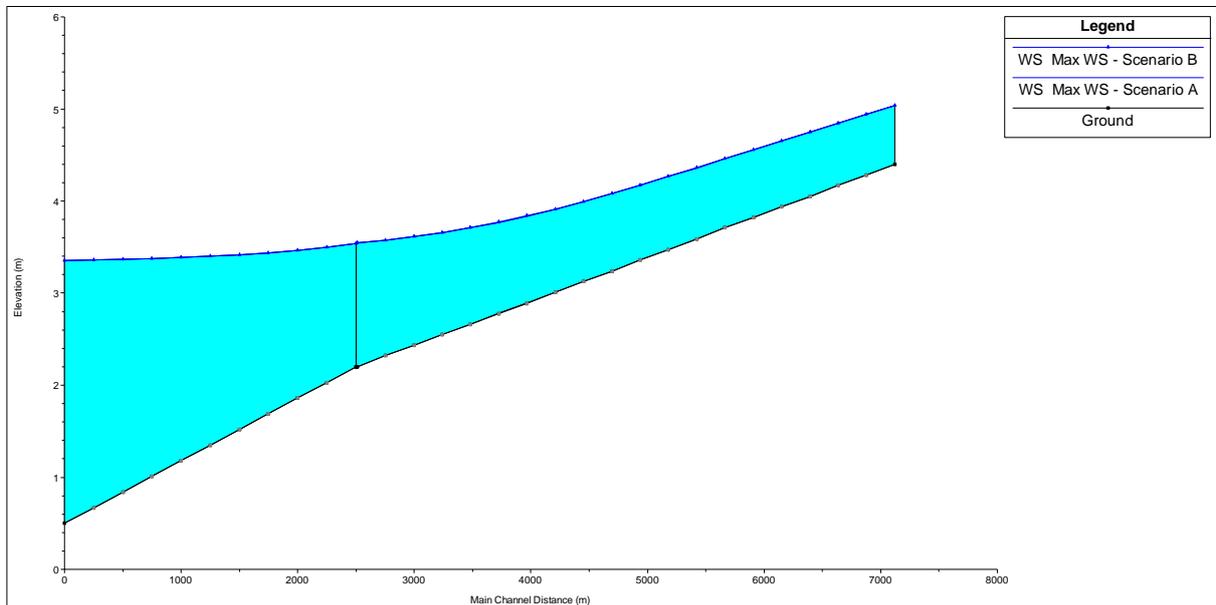


Figura 61: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Fusignano.

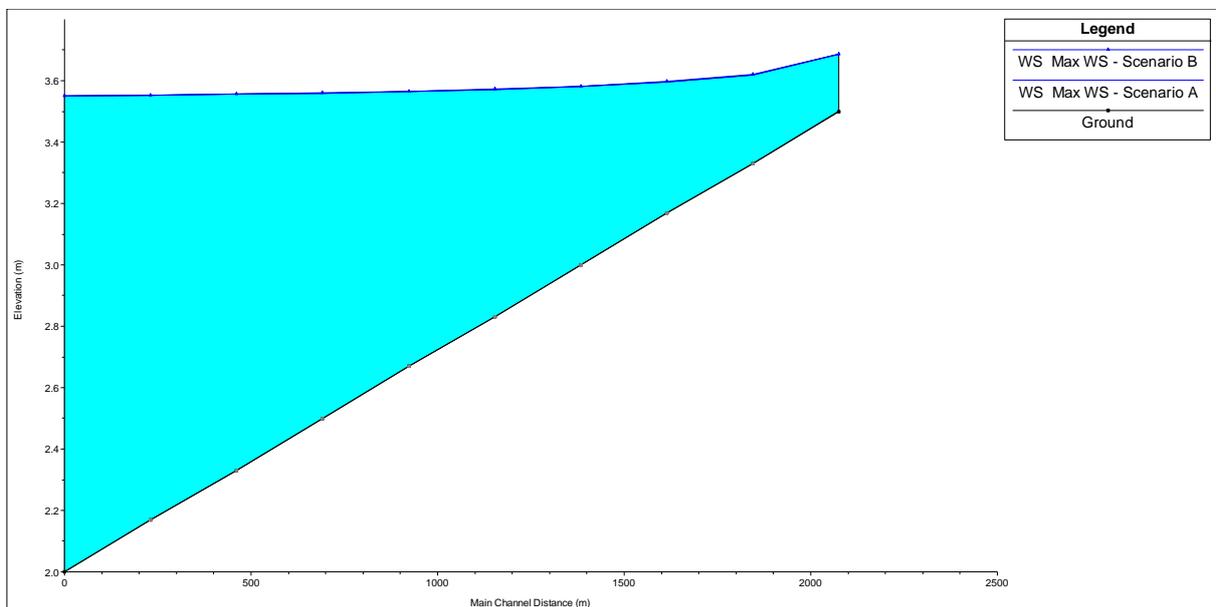


Figura 62: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Alfonsine	-0.1	0.0

Tabella 28: Variazioni rispetto ai livelli massimi lungo il canale Alfonsine.

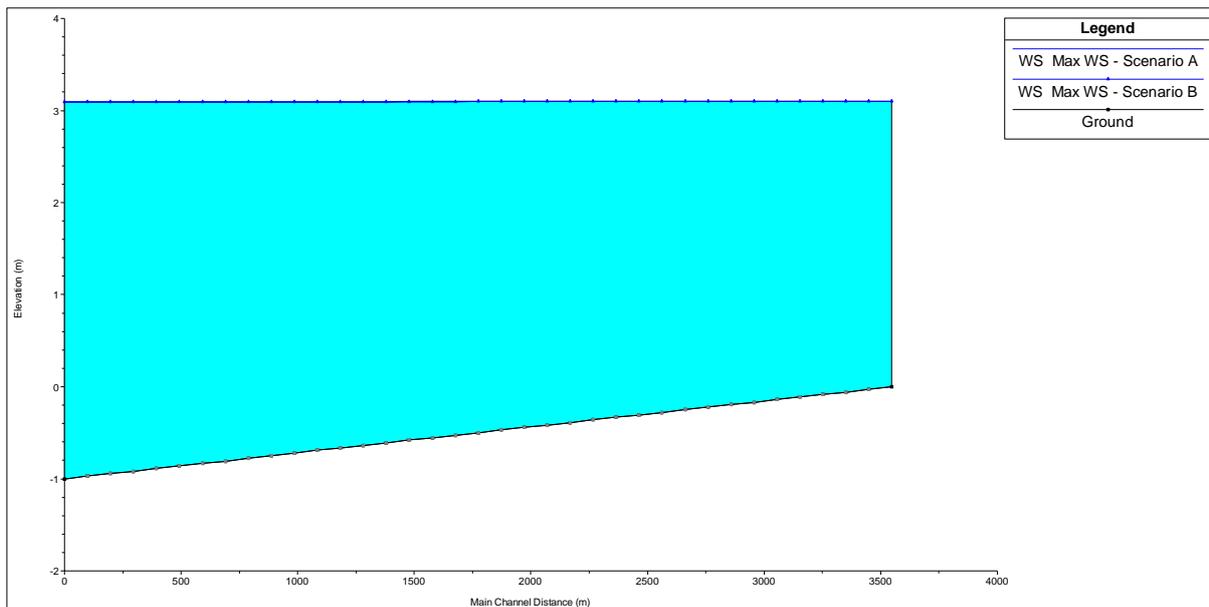


Figura 63: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Alfonsine.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Fosso Vecchio	-0.2	0.2
Fosso Vetro	0.0	0.2
Fosso Munio	-1.2	0.2

Tabella 29: Variazioni rispetto ai livelli massimi nei canali del bacino Fosso Vecchio.

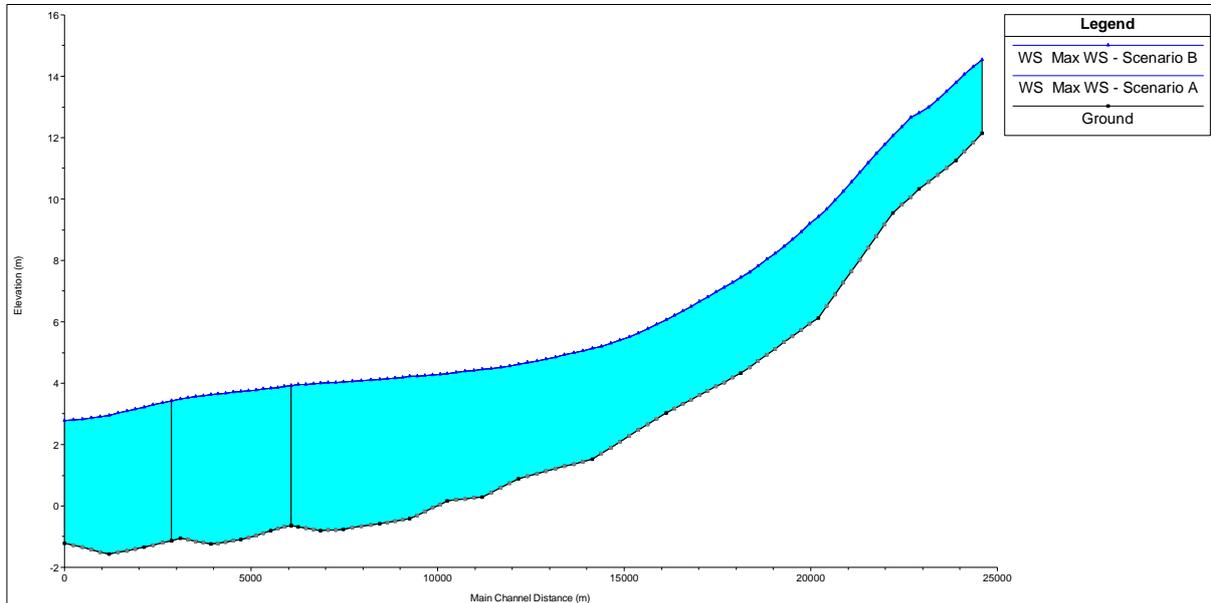


Figura 64: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vecchio.

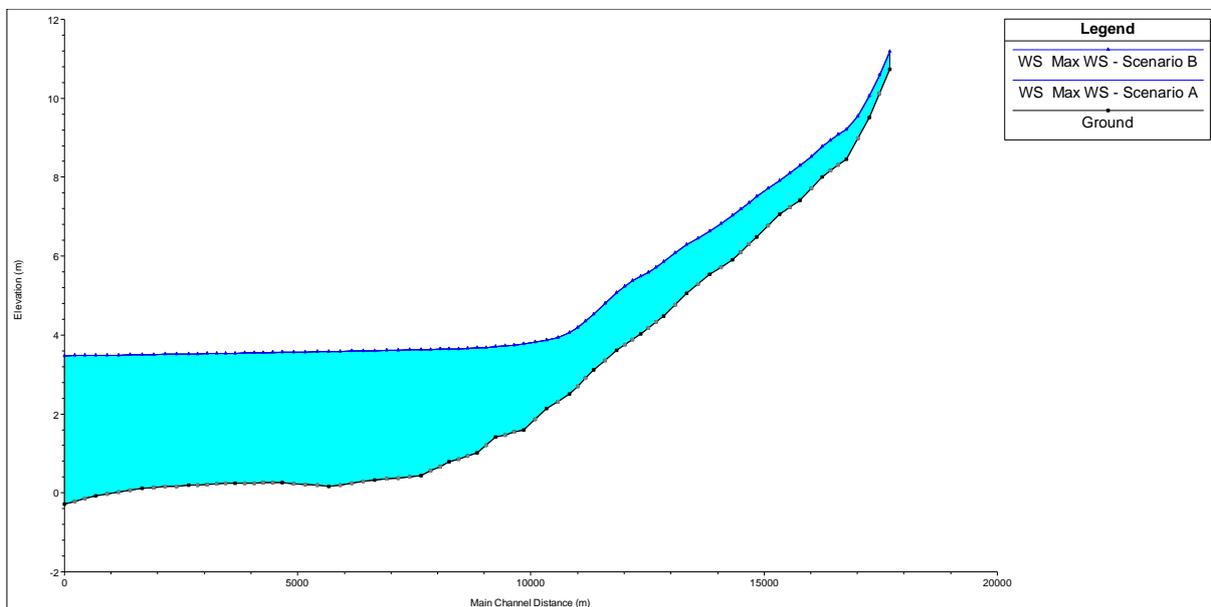


Figura 65: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vetro.

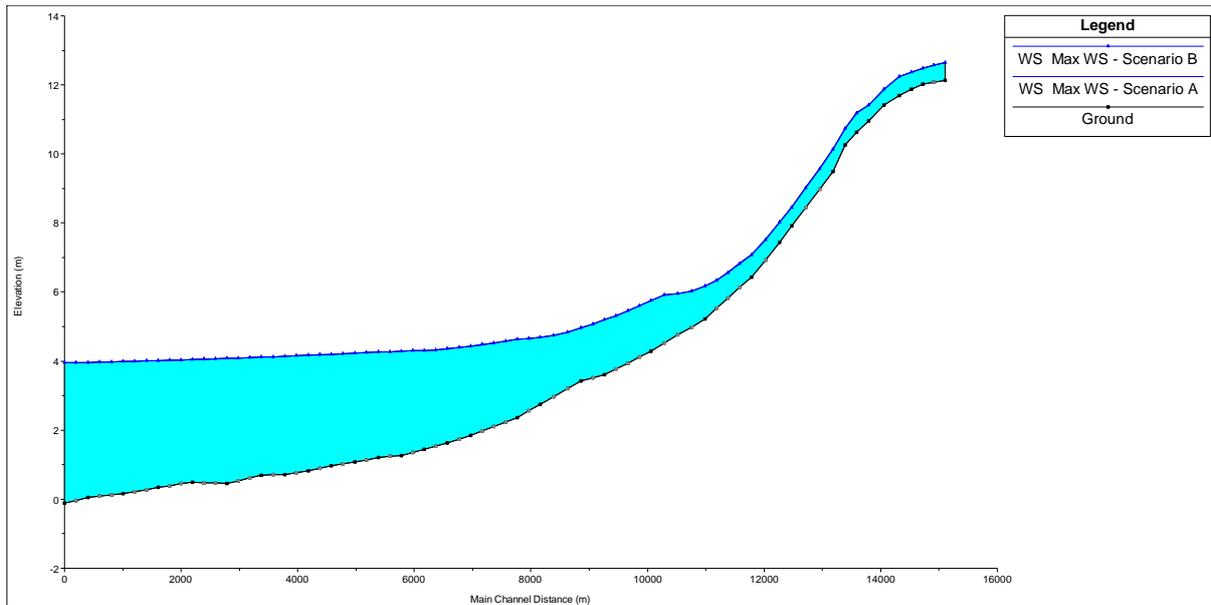


Figura 66: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio.

#### 6.2.4.2 Scenario C

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Destra Reno	0.0	0.1

Tabella 30: Variazioni rispetto ai livelli massimi lungo il canale Destra Reno.

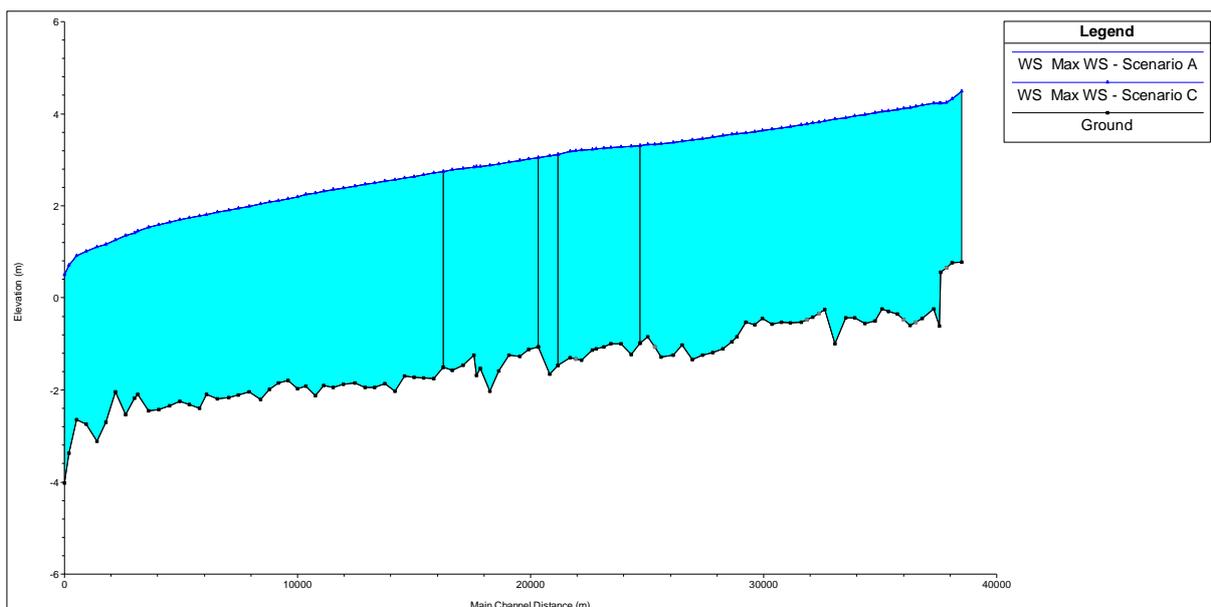


Figura 67: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Destra Reno.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Nuovo Tratturo	-0.1	0.1
Traversagno	-0.1	0.0

Tabella 31: Variazioni rispetto ai livelli massimi nei canali del bacino Nuovo Tratturo.

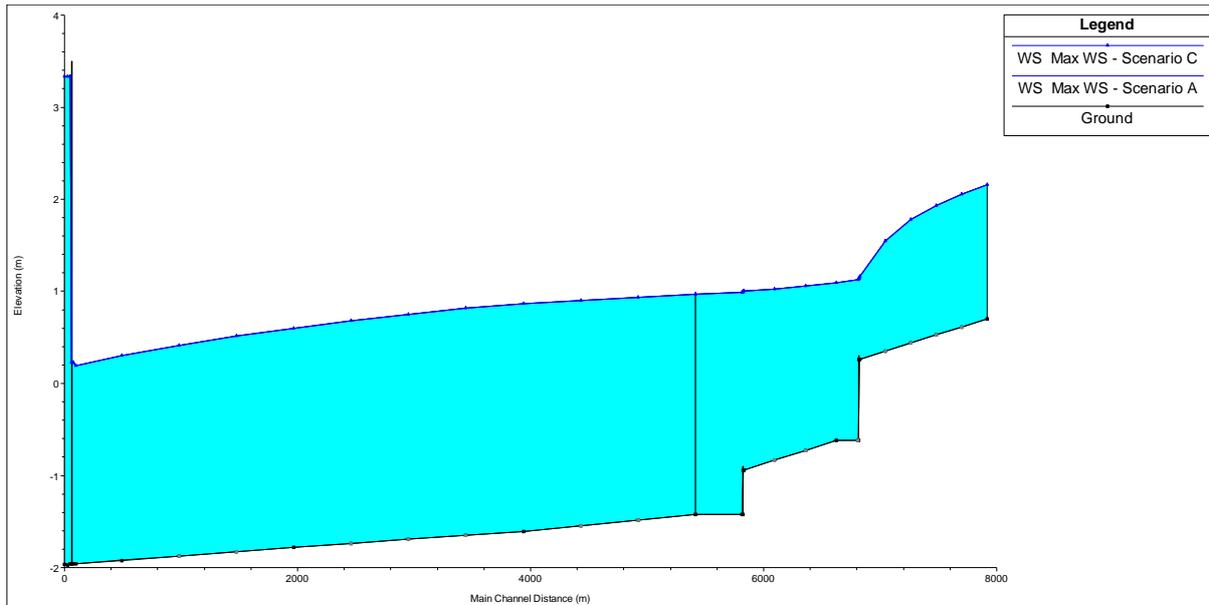


Figura 68: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Nuovo Tratturo.

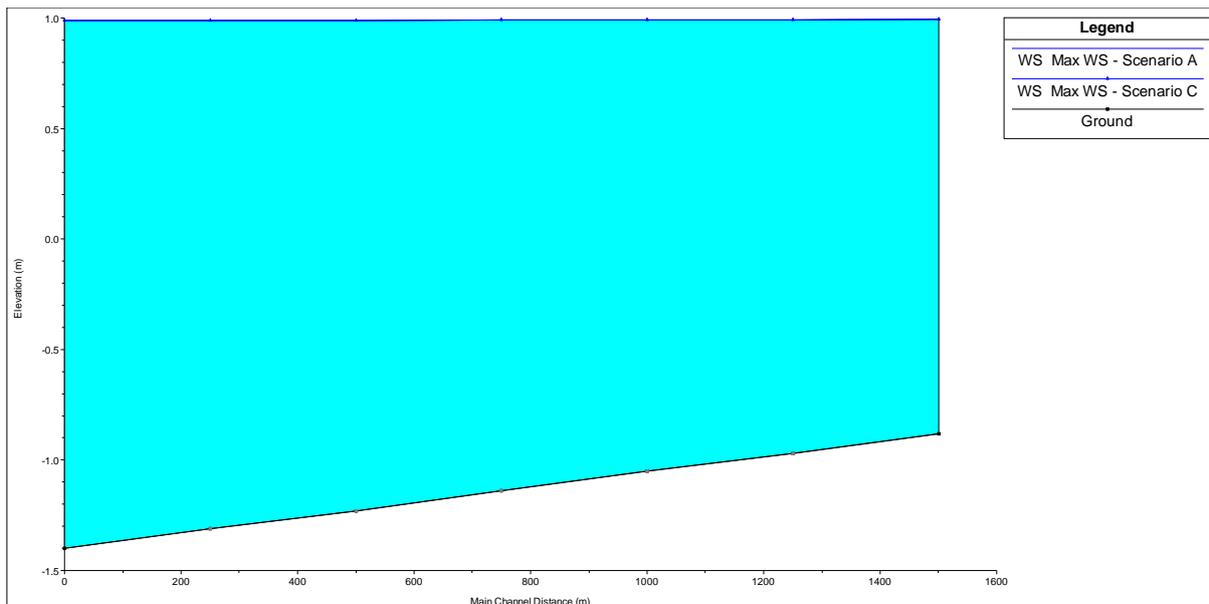


Figura 69: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Traversagno.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Canal Vela	0.0	0.1
Tratturo	-0.2	0.3
Casale	-0.1	0.2
Fossatone di San Bernardino	0.0	0.1
Via Lunga a Ponente	0.0	0.1
Via Nuova nel Casale	0.0	0.1
Ascensione	0.0	0.1
Arginello	-0.5	0.5
Menata di Runzi	0.0	0.1
Santa Lucia	0.0	0.1
Frassona Maggiore	0.0	0.2
Cocorre	0.0	0.1
Sant'Antonio	-0.4	0.1
Menata di Fusignano	0.0	0.1
Via Nuova	0.0	0.1

Tabella 32: Variazioni rispetto ai livelli massimi nei canali del bacino Canal Vela.

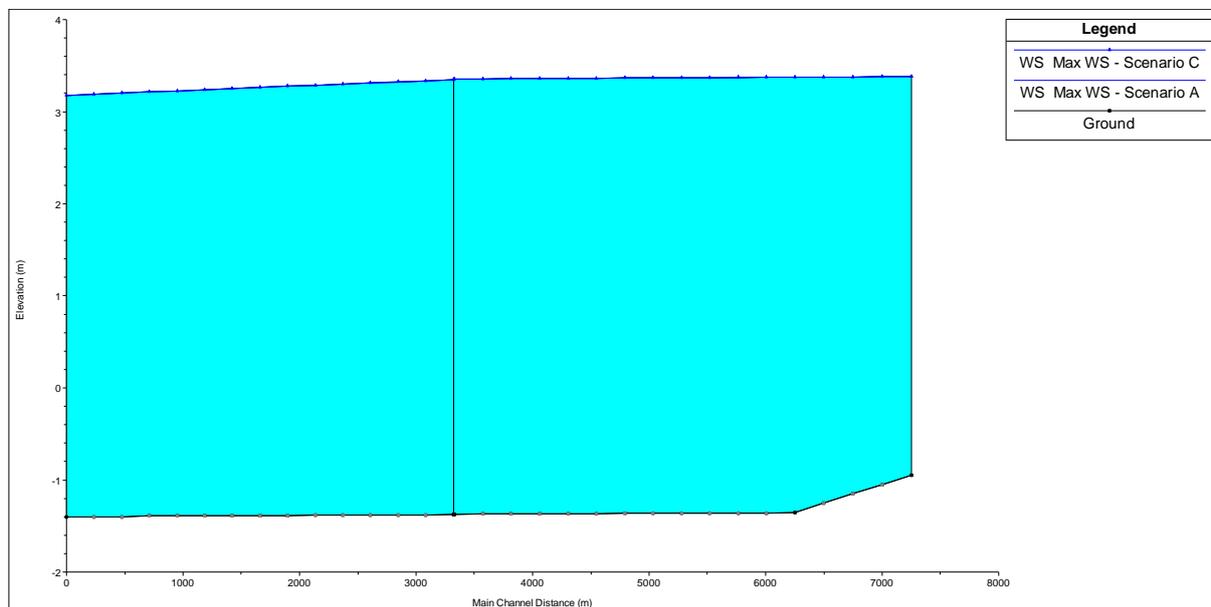


Figura 70: Profilo dei livelli massimi lungo il Canal Vela.

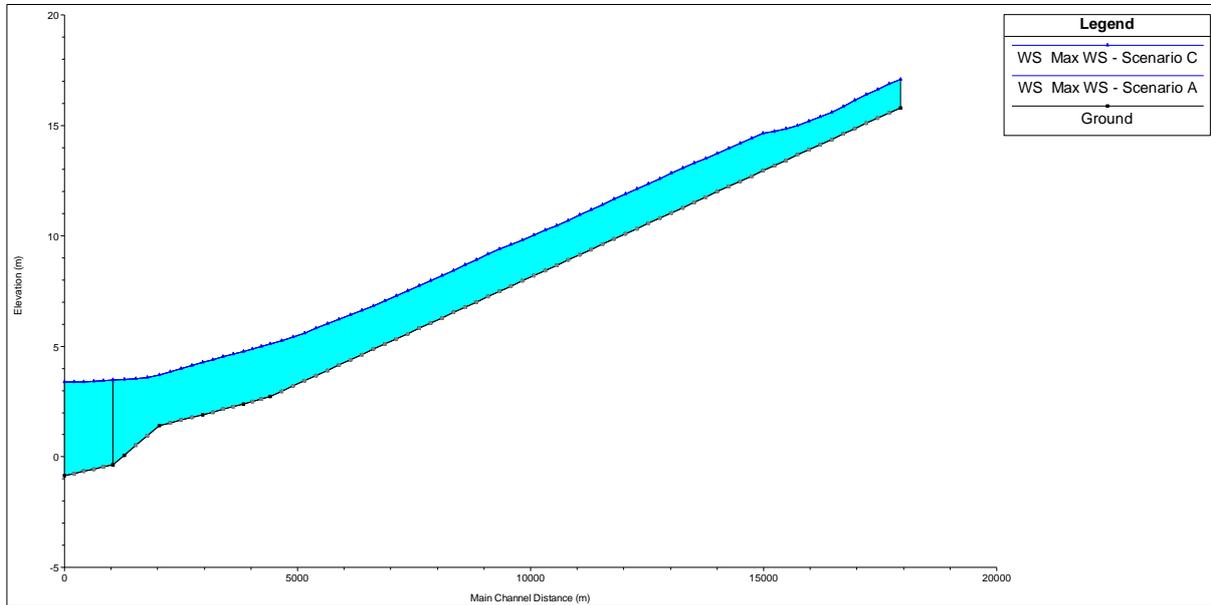


Figura 71: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo.

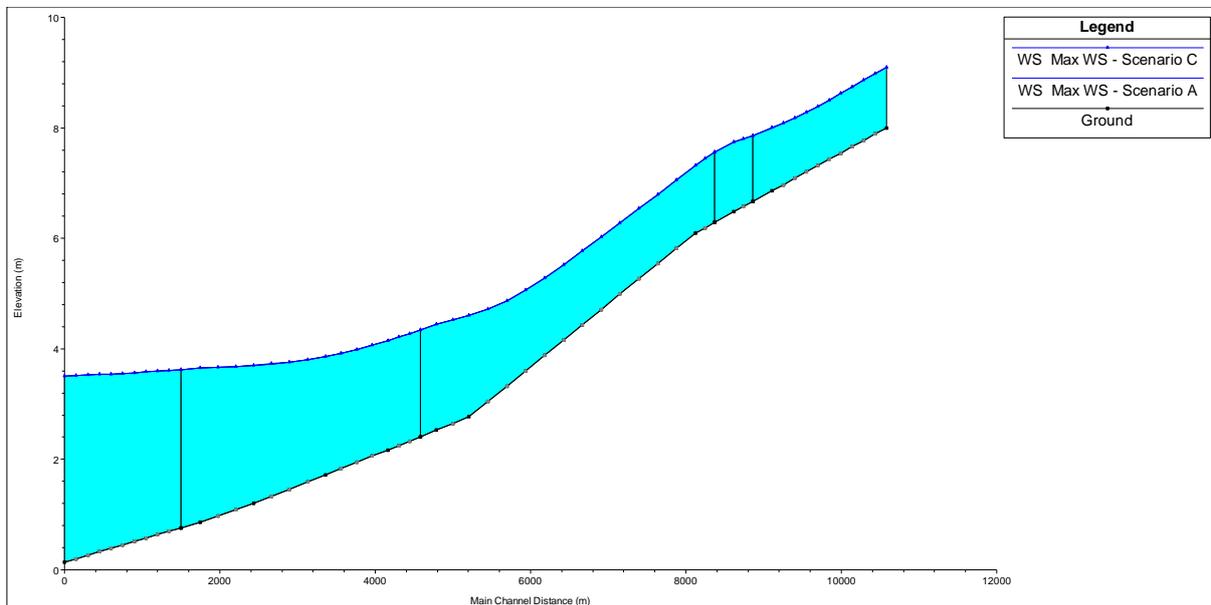


Figura 72: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Casale.

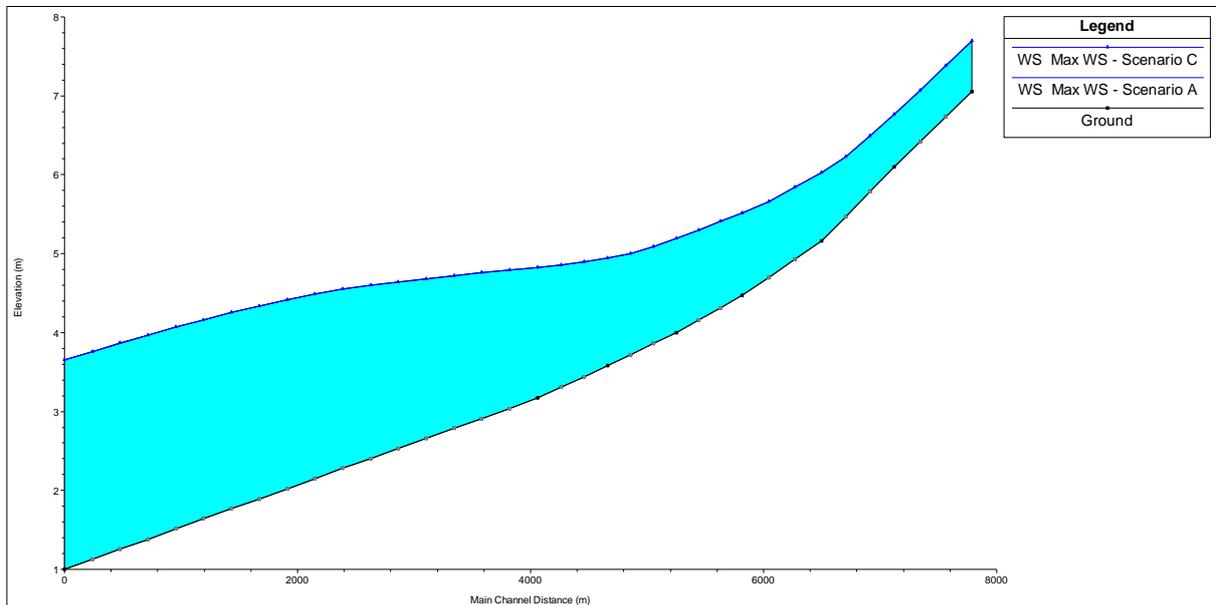


Figura 73: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fossatone di San Bernardino.

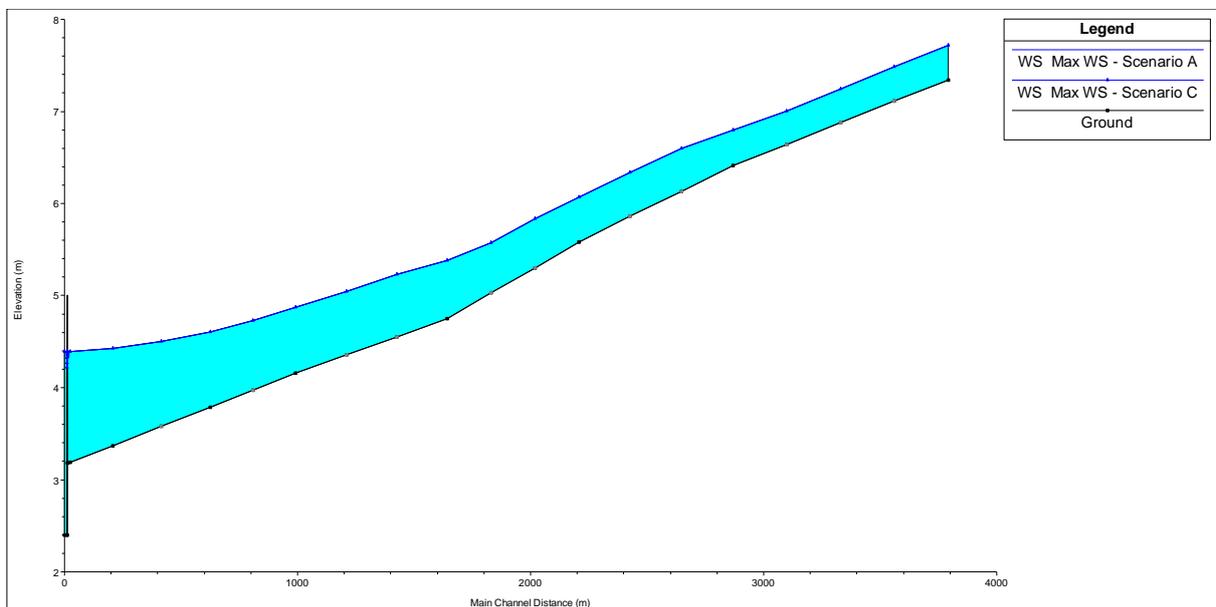


Figura 74: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Lunga a Ponente.

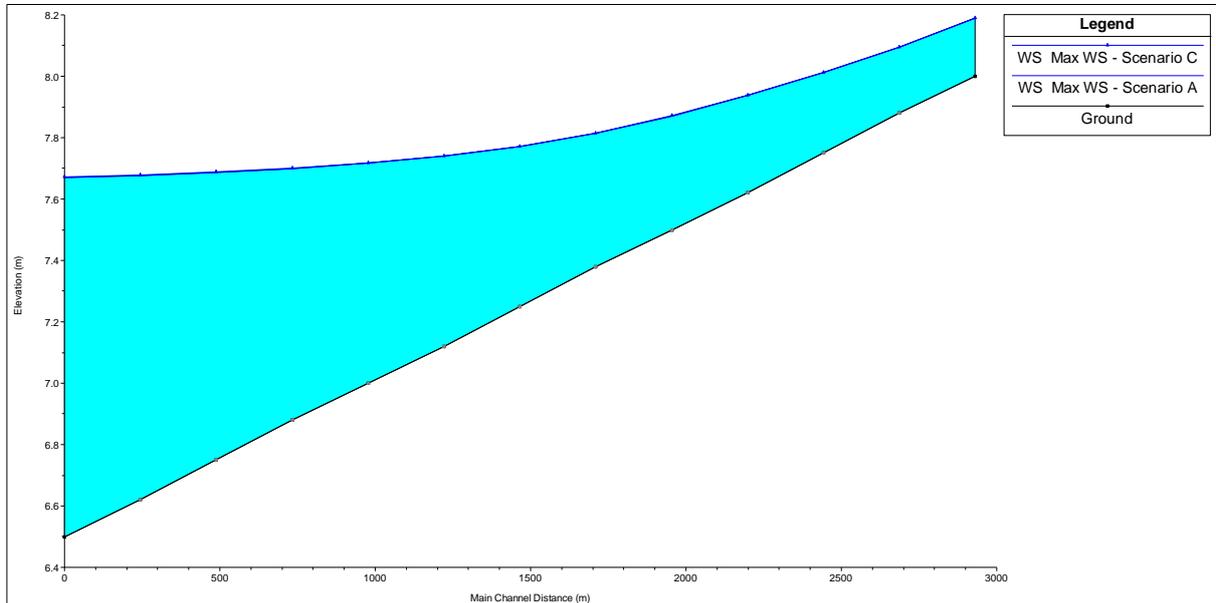


Figura 75: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova nel Casale.

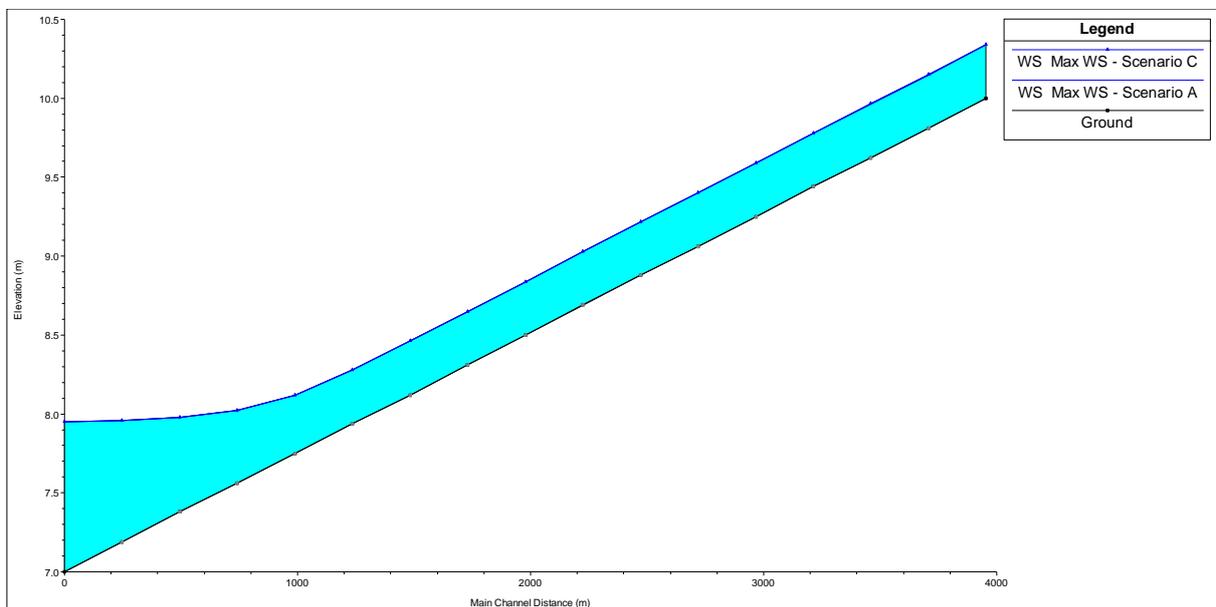


Figura 76: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Ascensione.

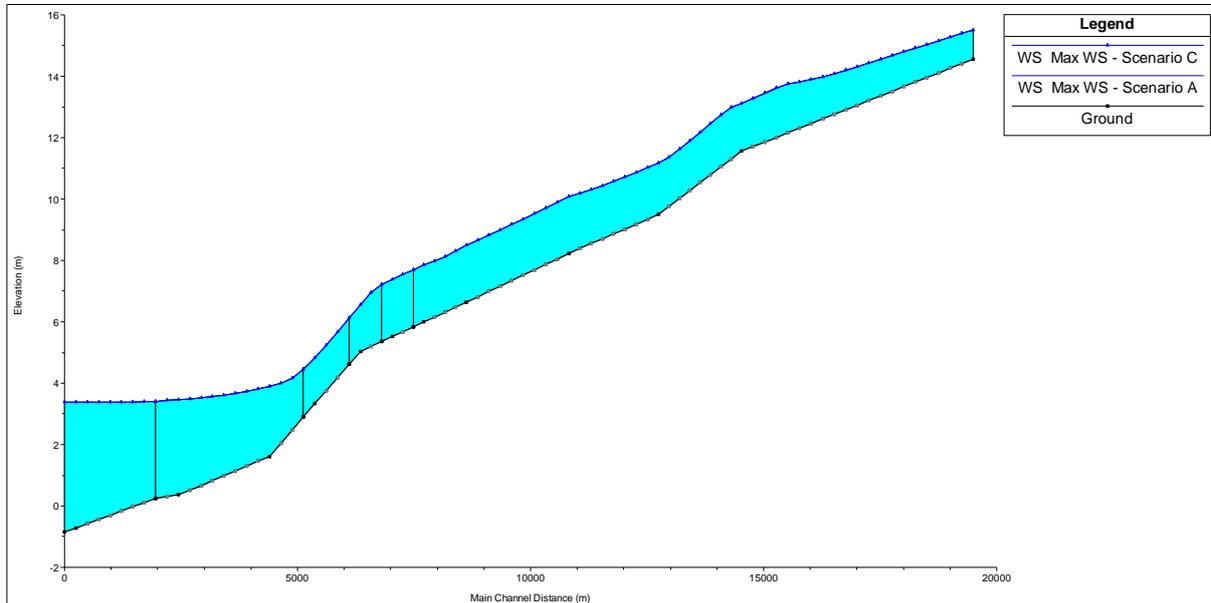


Figura 77: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello.

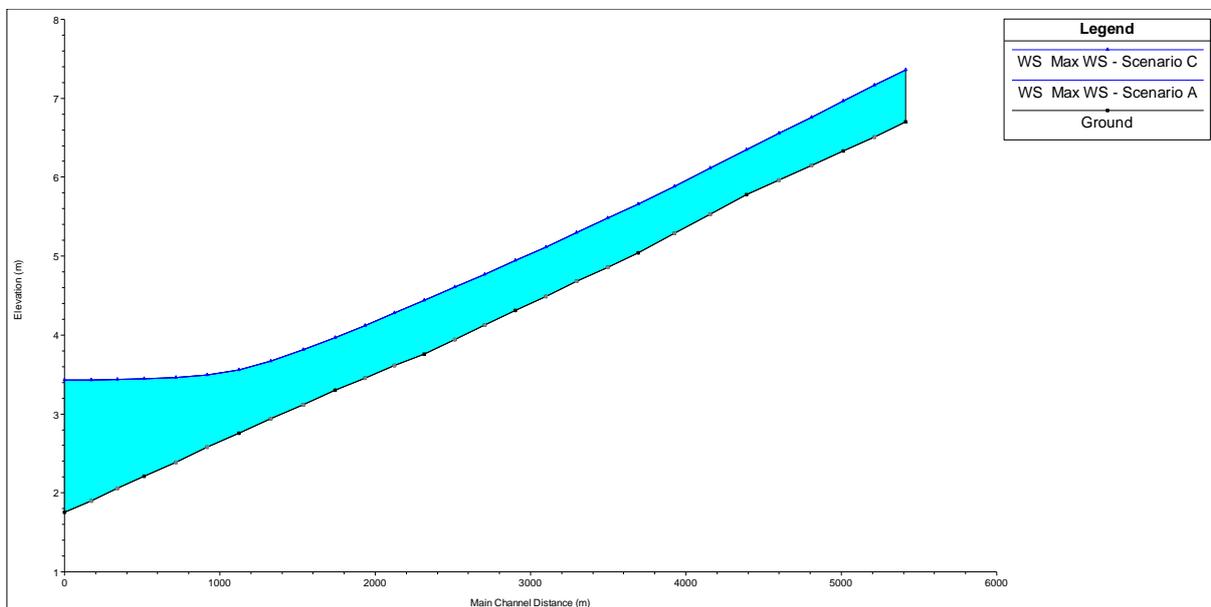


Figura 78: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Runzi.

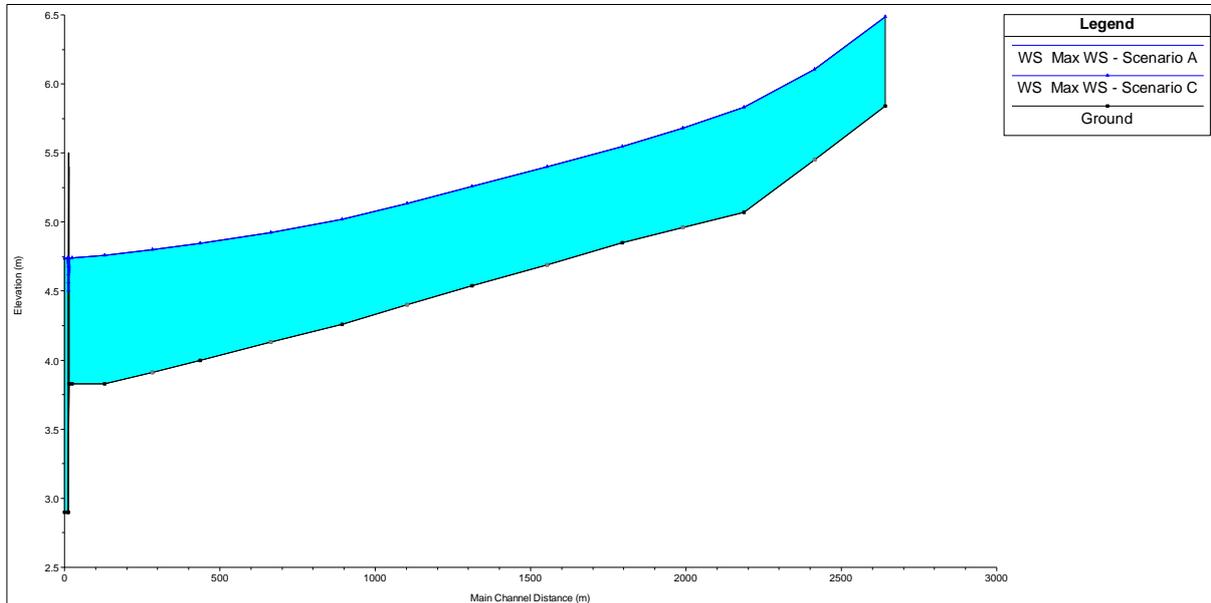


Figura 79: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Santa Lucia.

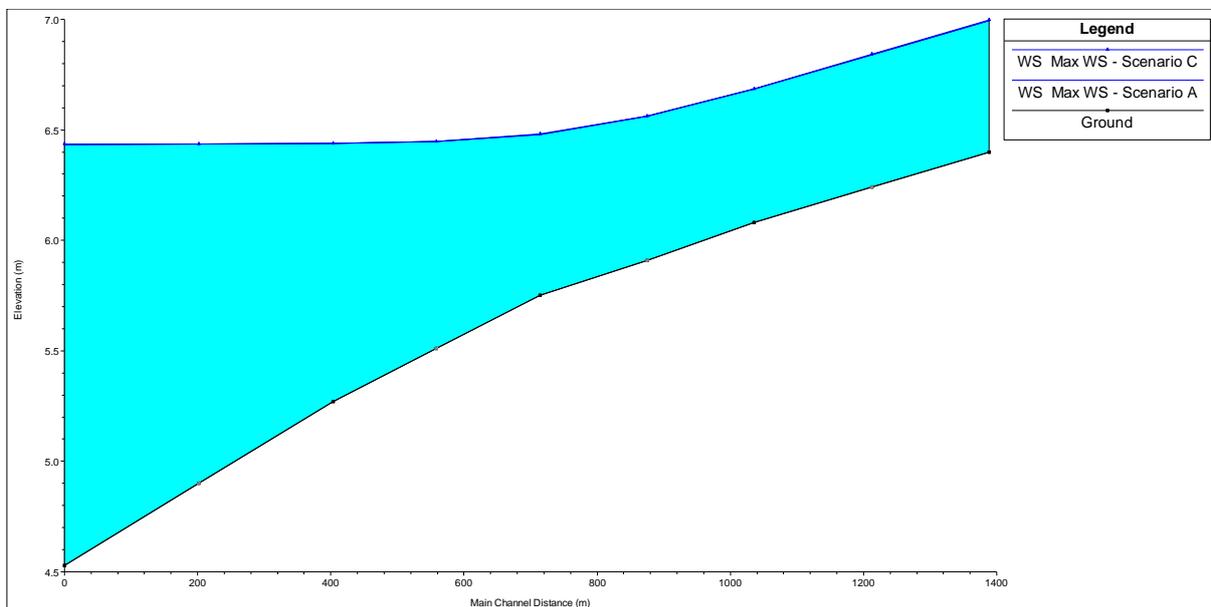


Figura 80: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Frassona Maggiore.

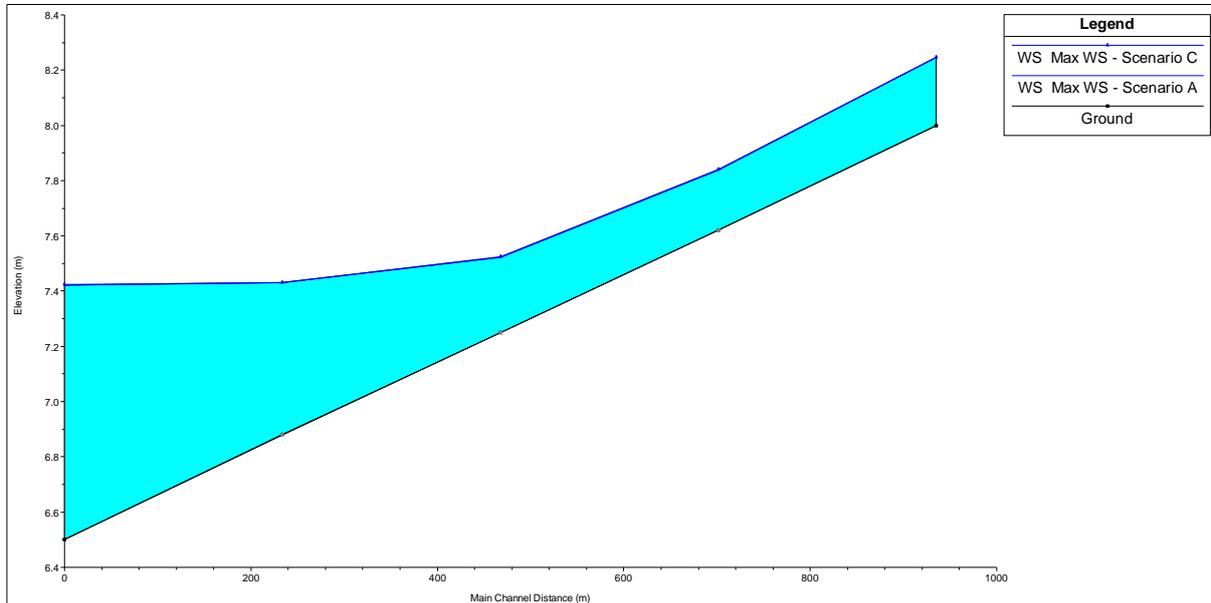


Figura 81: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Cocorre.

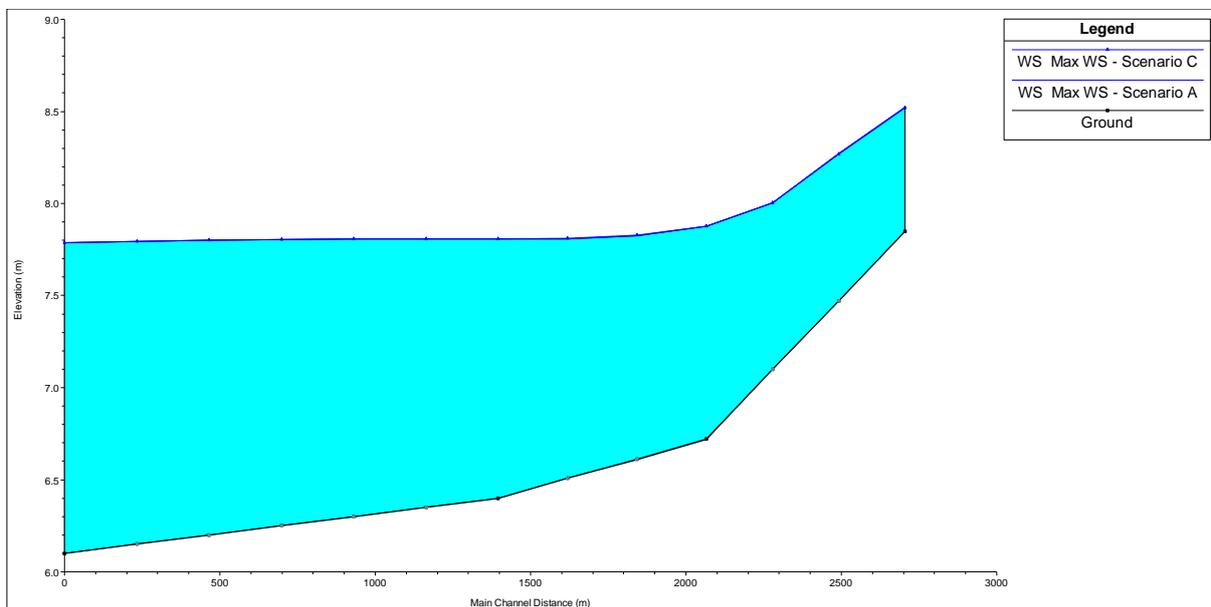


Figura 82: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Sant'Antonio.

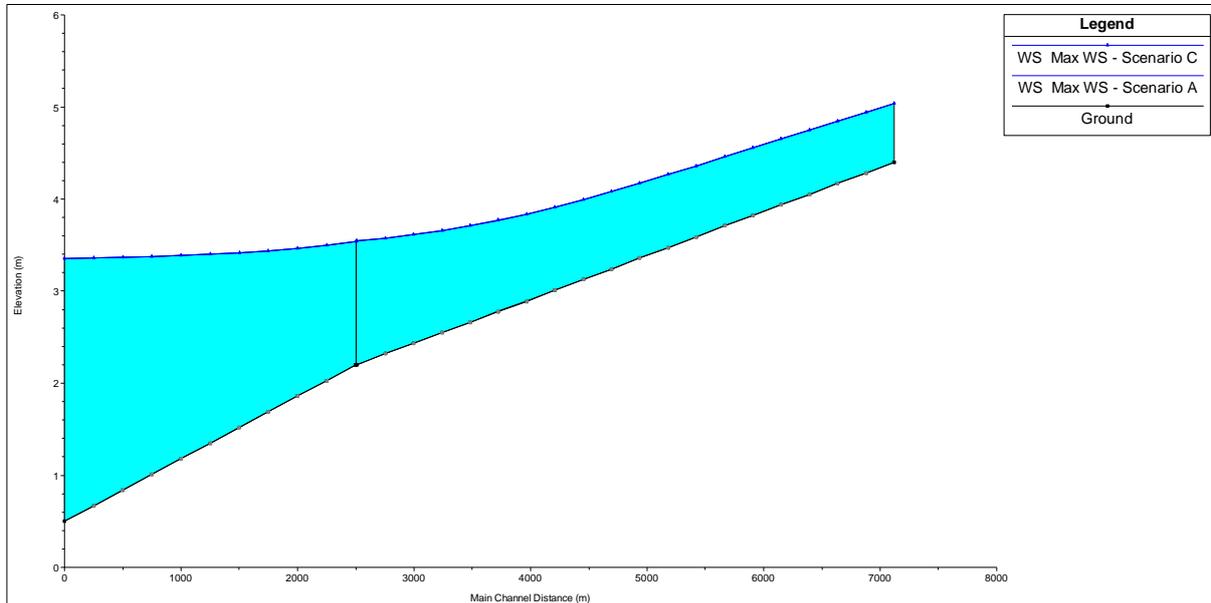


Figura 83: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Fusignano.

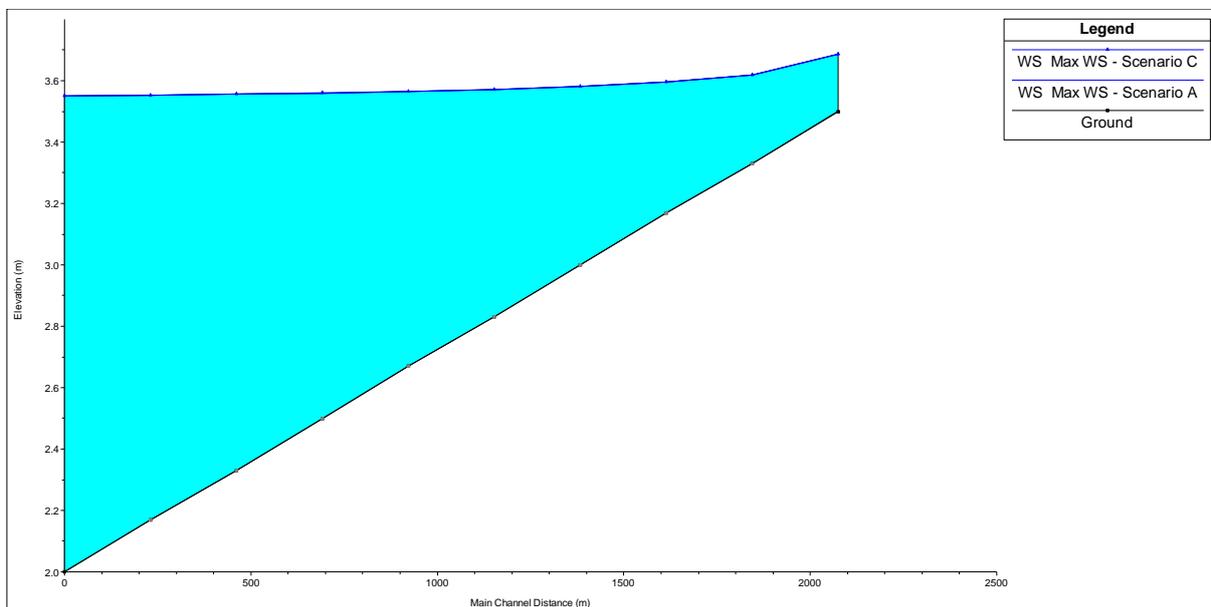


Figura 84: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Alfonsine	-0.1	0.0

Tabella 33: Variazioni rispetto ai livelli massimi lungo il canale Alfonsine.

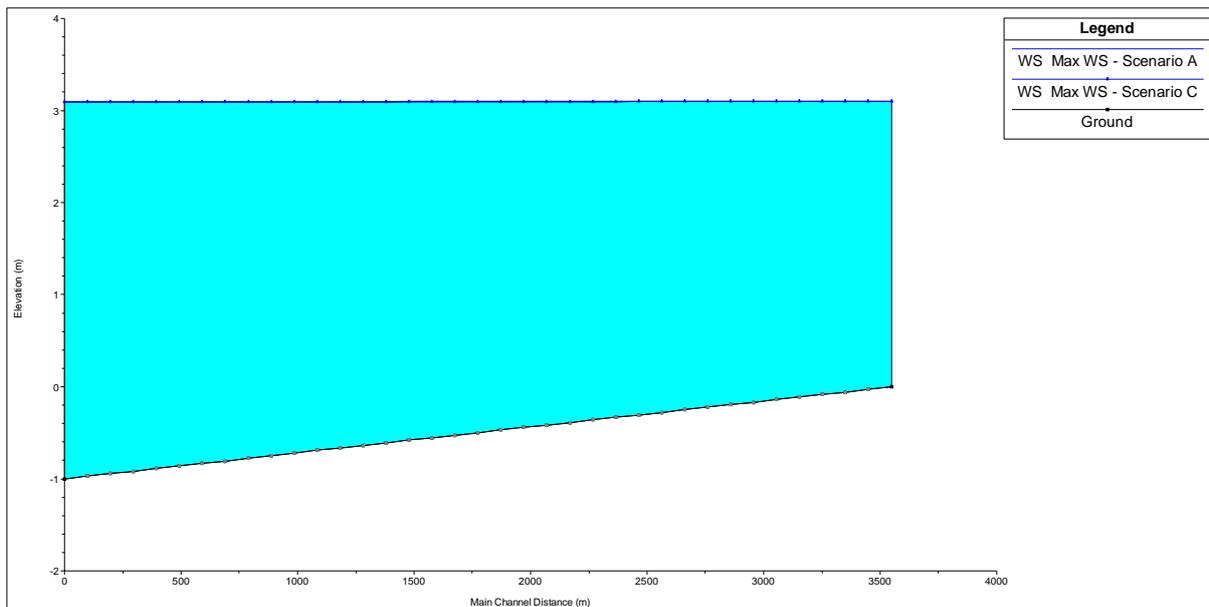


Figura 85: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Alfonsine.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Fosso Vecchio	-0.1	0.2
Fosso Vetro	0.0	0.2
Fosso Munio	-0.6	0.3

Tabella 34: Variazioni rispetto ai livelli massimi nei canali del bacino Fosso Vecchio.

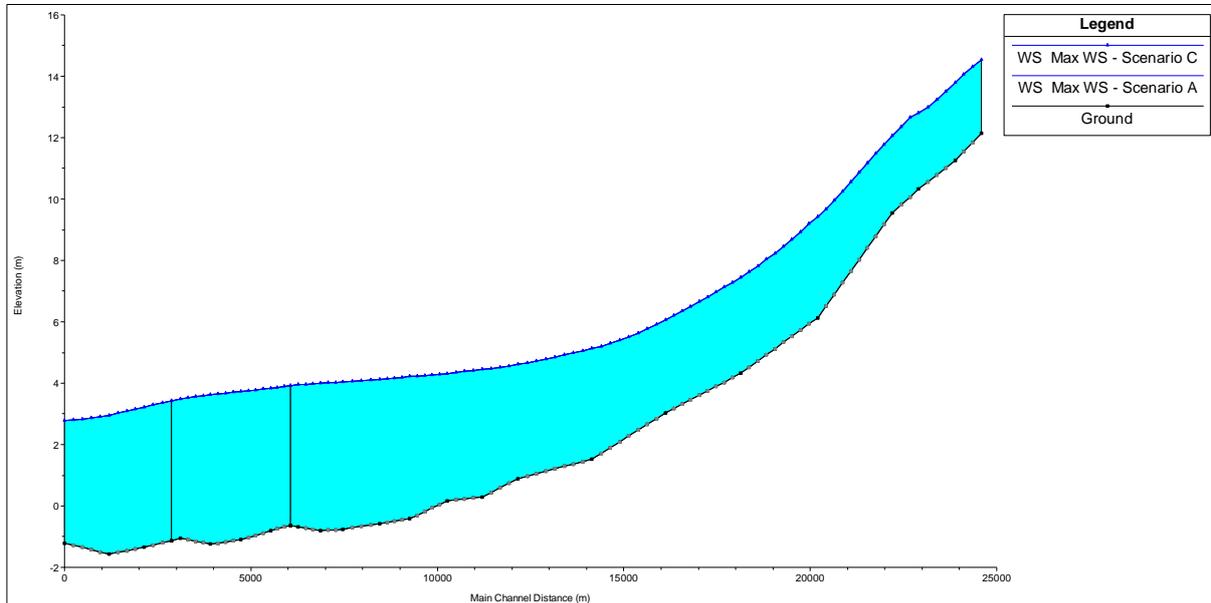


Figura 86: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vecchio.

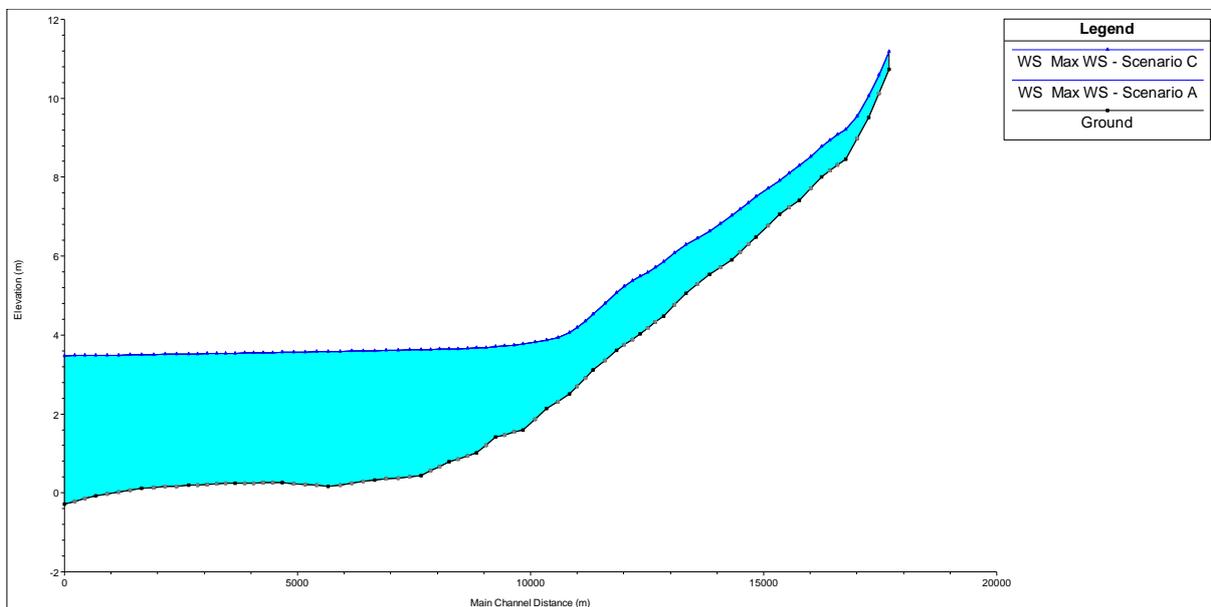


Figura 87: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vetro.

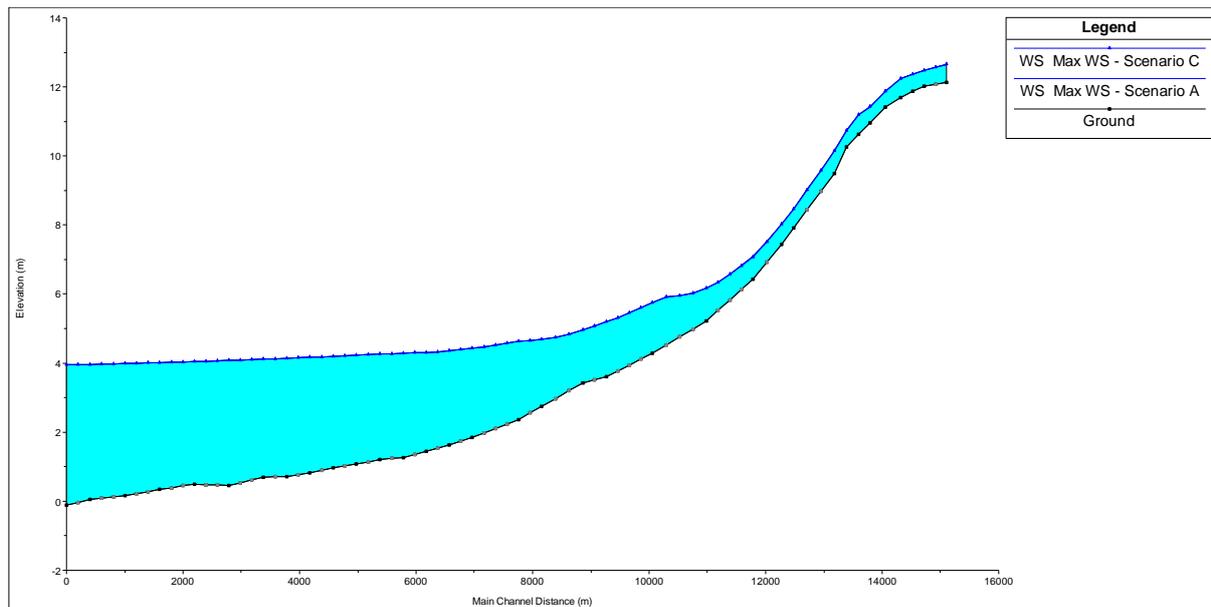


Figura 88: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio.

#### 6.2.4.3 Scenario D

In Figura 89 sono riportate le variazioni di livello idrico lungo la rete scolante: l'innalzamento dei livelli idrici è pari, o inferiore, all'innalzamento del suolo, per cui il franco di bonifica rimane invariato o al più aumenta. In particolare, gli innalzamenti e abbassamenti massimi sono localizzati in corrispondenza dei campi di Alfonsine e Longanesi, rispettivamente: l'effetto del solo campo di San Potito è trascurabile.

Le velocità massime all'interno dei canali hanno variazioni non apprezzabili, inferiori a 1 cm/s, in seguito alle modifiche indotte dalla subsidenza.

L'impianto idrovoro si muove solidamente con il terreno, per cui il livello di avvio e stacco delle pompe si alza di 5 cm, come i livelli monte valle impianto durante l'evento di piena, per cui non si hanno apprezzabili variazioni di funzionamento delle pompe. L'effetto della subsidenza non modifica i volumi d'acqua in arrivo all'impianto idrovoro, non modificandosi sostanzialmente nemmeno i dislivelli tra monte e valle, il consumo di energia si può ritenere del tutto simile a quello della situazione attuale.

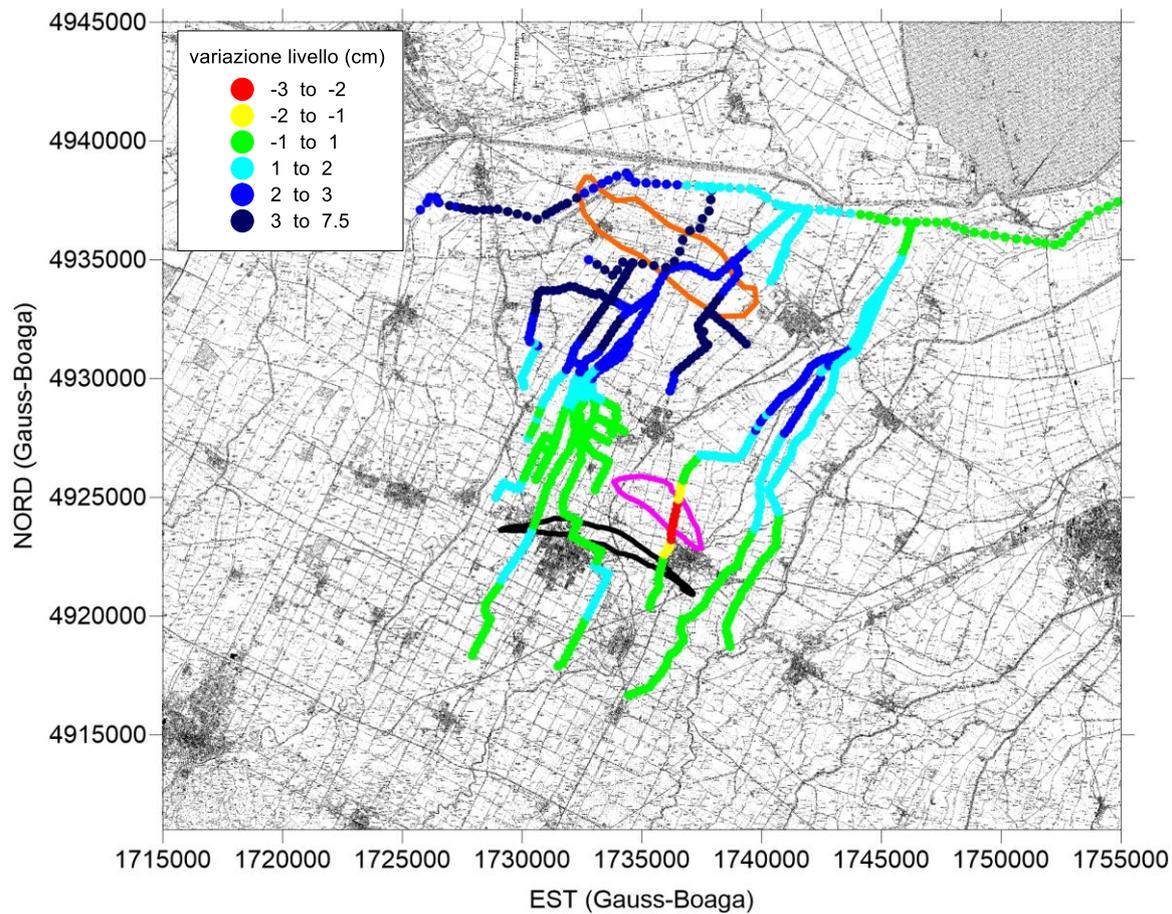


Figura 89: Variazione di livello idrico (cm) lungo la rete scolante nel modello HEC-RAS nello scenario D. Le tracce dei giacimenti di San Potito, Longanesi e Alfonsine sono evidenziate rispettivamente in nero, viola e arancione.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Destra Reno	0.0	3.2

Tabella 35: Variazioni rispetto ai livelli massimi lungo il canale Destra Reno.

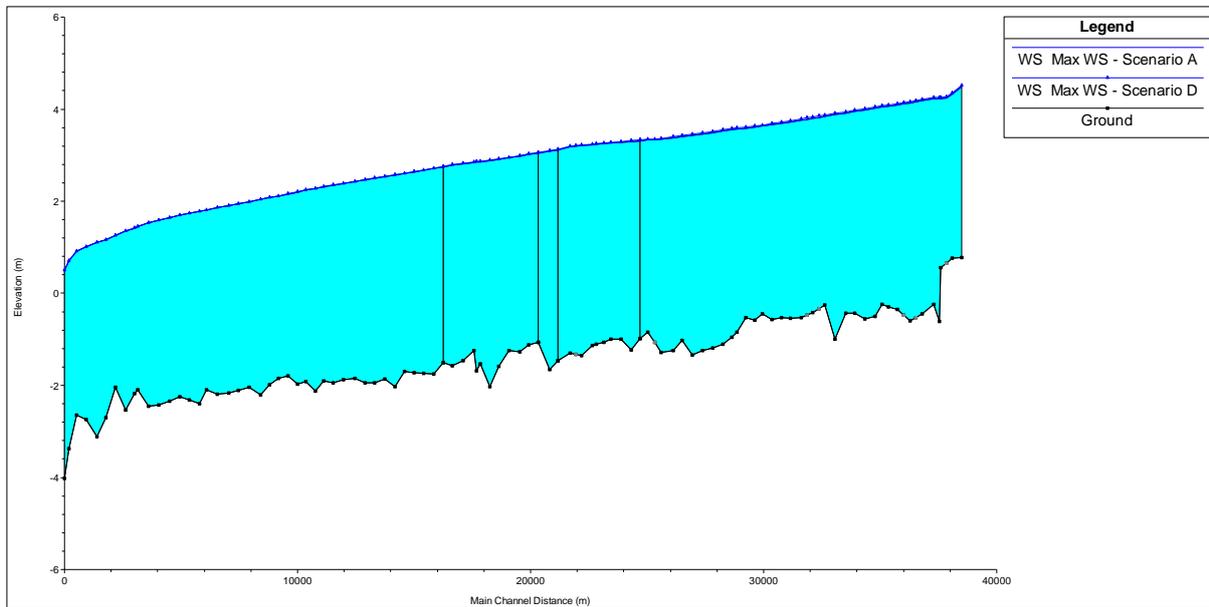


Figura 90: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Destra Reno.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Nuovo Tratturo	0.0	7.1
Traversagno	0.0	7.1

Tabella 36: Variazioni rispetto ai livelli massimi nei canali del bacino Nuovo Tratturo.

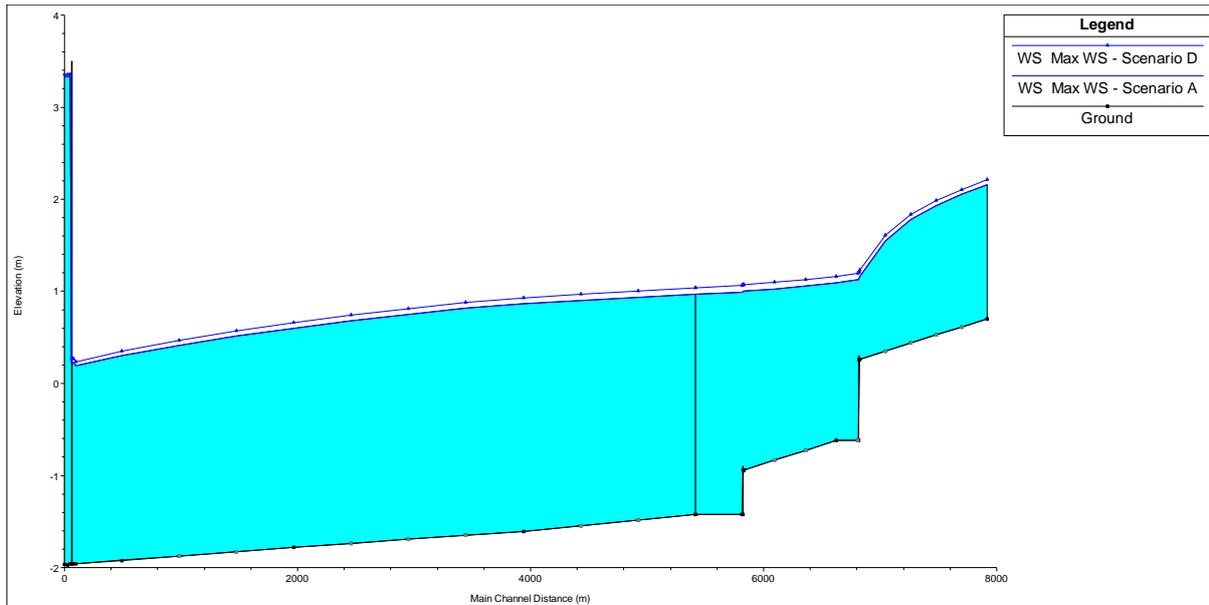


Figura 91: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Nuovo Tratturo.

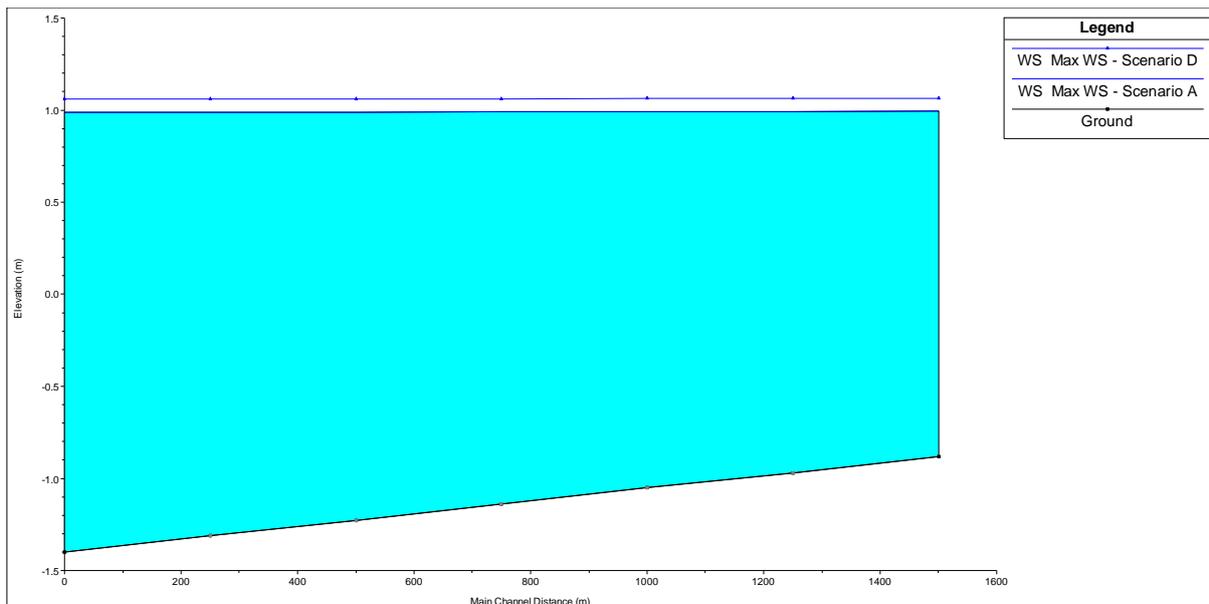


Figura 92: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Traversagno.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Canal Vela	0.0	2.4
Tratturo	0.0	3.3
Casale	0.0	3.2
Fossatone di San Bernardino	0.0	3.7
Via Lunga a Ponente	0.0	2.5
Via Nuova nel Casale	0.0	1.1
Ascensione	0.0	1.2
Arginello	-0.3	2.5
Menata di Runzi	0.0	2.5
Santa Lucia	-0.6	1.1
Frassona Maggiore	-0.4	0.3
Cocorre	-0.7	0.0
Sant'Antonio	-0.9	0.0
Menata di Fusignano	0.0	5.6
Via Nuova	0.0	4.8

Tabella 37: Variazioni rispetto ai livelli massimi nei canali del Bacino Canal Vela.

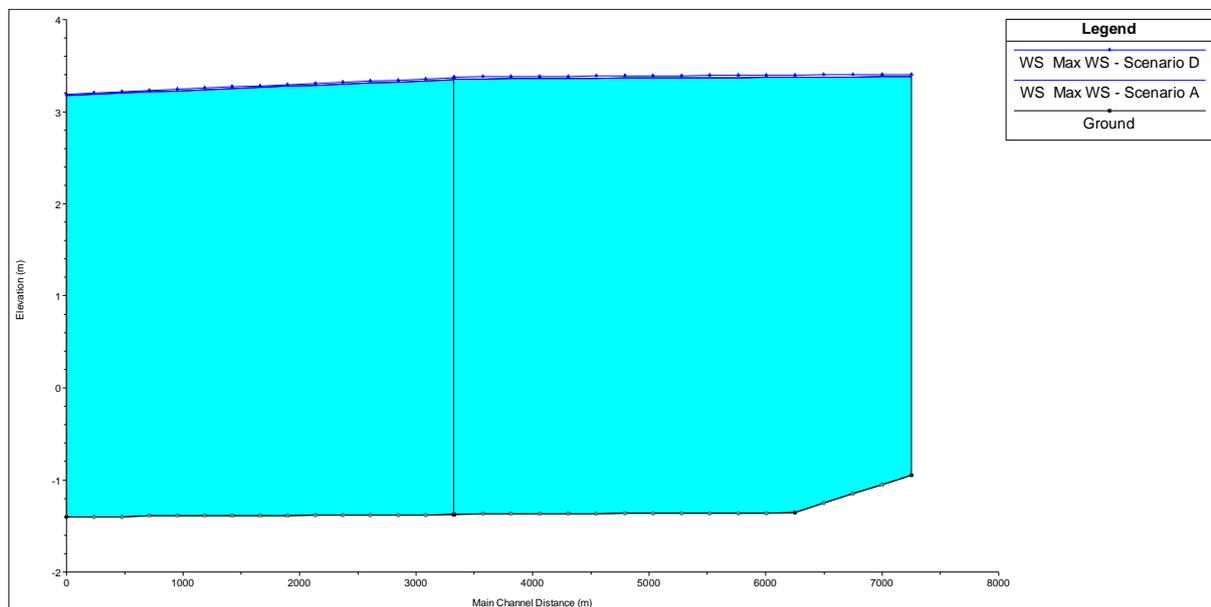


Figura 93: Profilo dei livelli massimi lungo il Canal Vela.

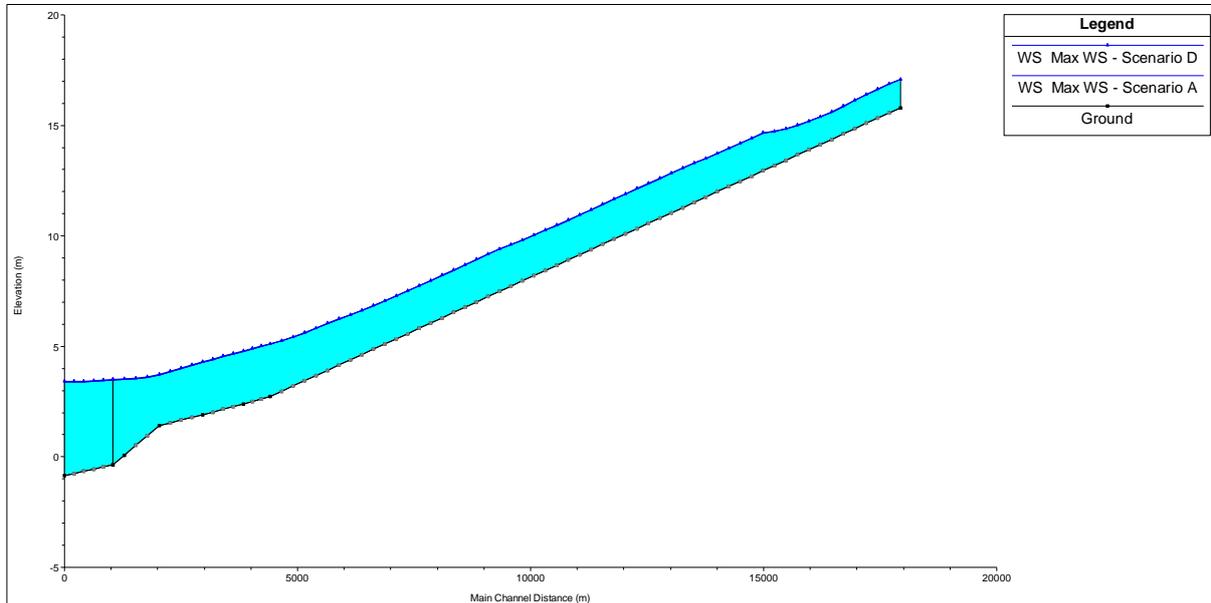


Figura 94: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo.

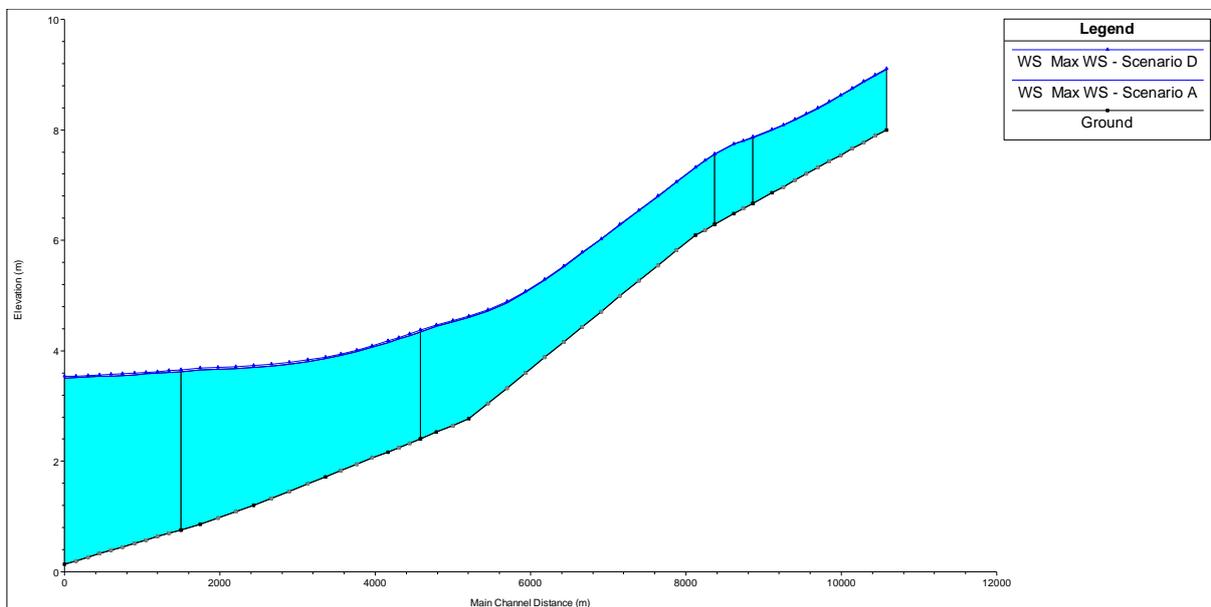


Figura 95: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Casale.

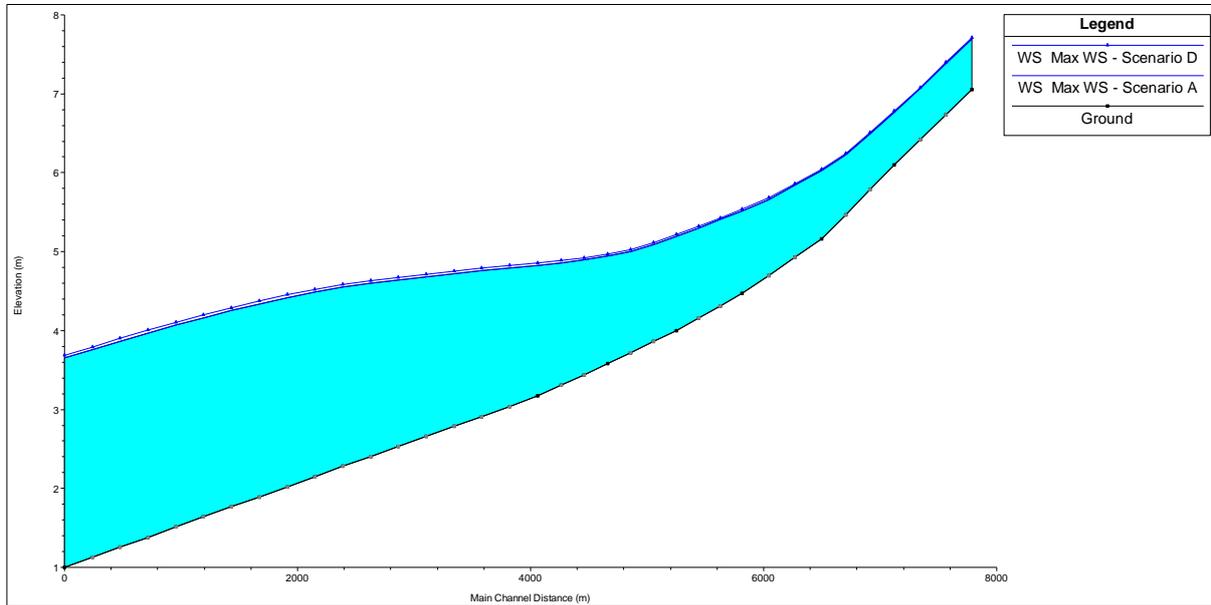


Figura 96: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fossatone di San Bernardino.

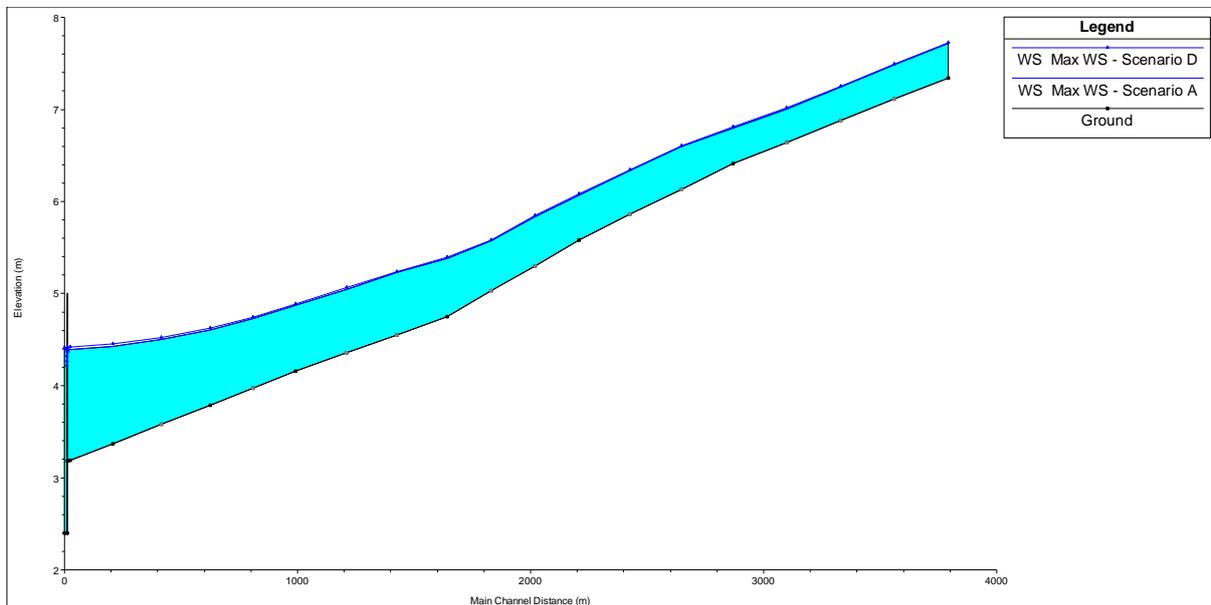


Figura 97: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Lunga a Ponente.

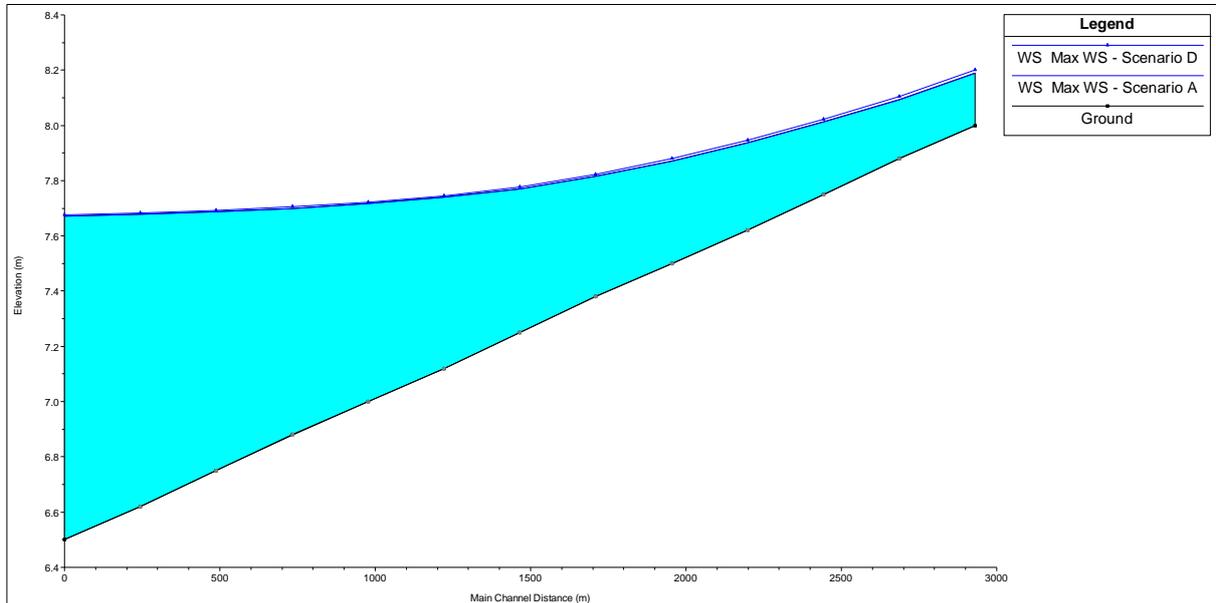


Figura 98: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova nel Casale.

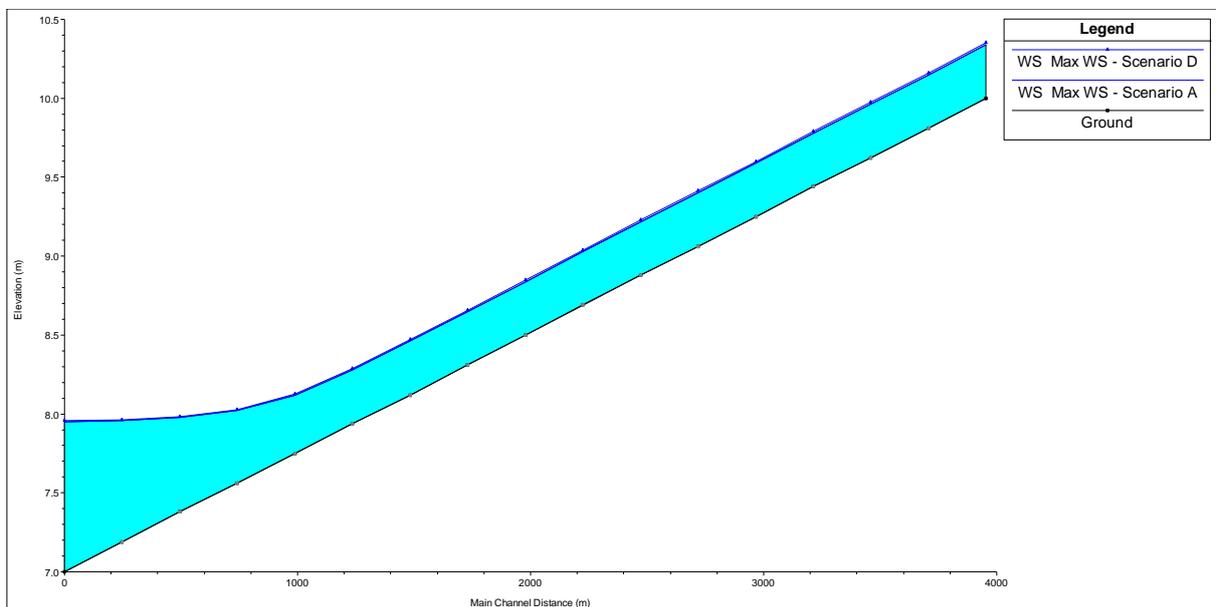


Figura 99: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Ascensione.

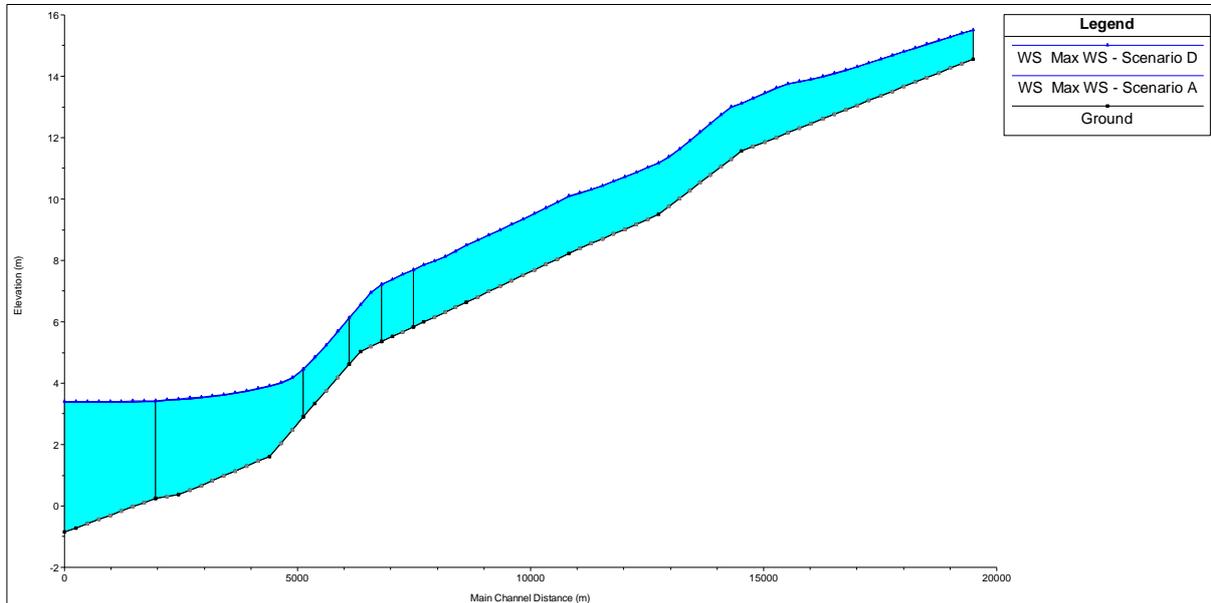


Figura 100: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello.

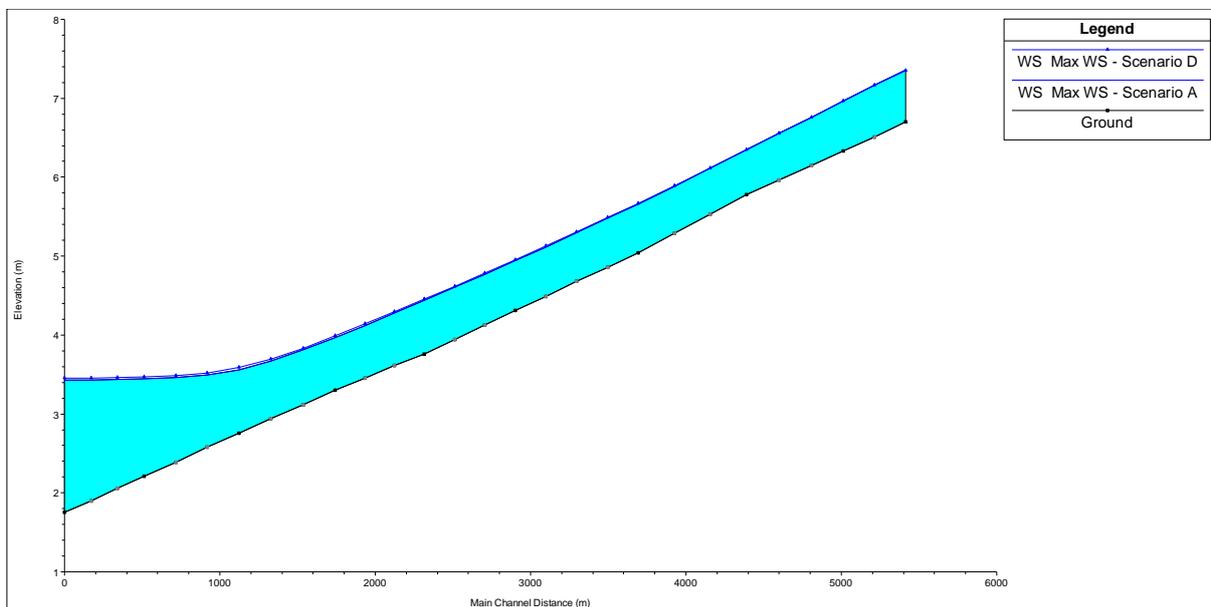


Figura 101: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Runzi.

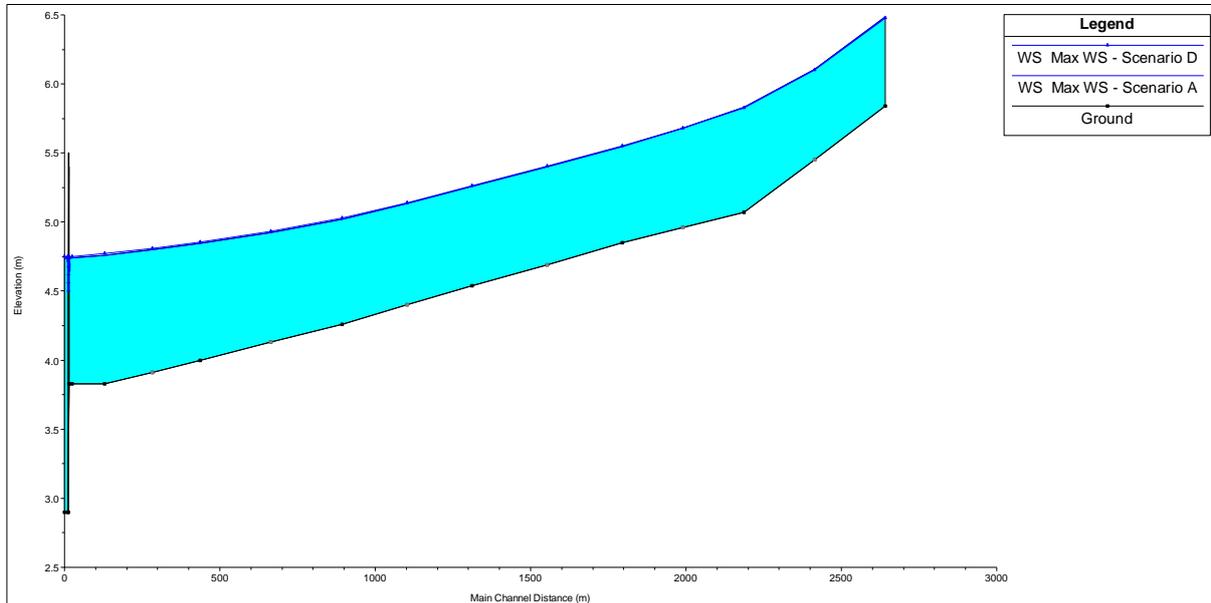


Figura 102: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Santa Lucia.

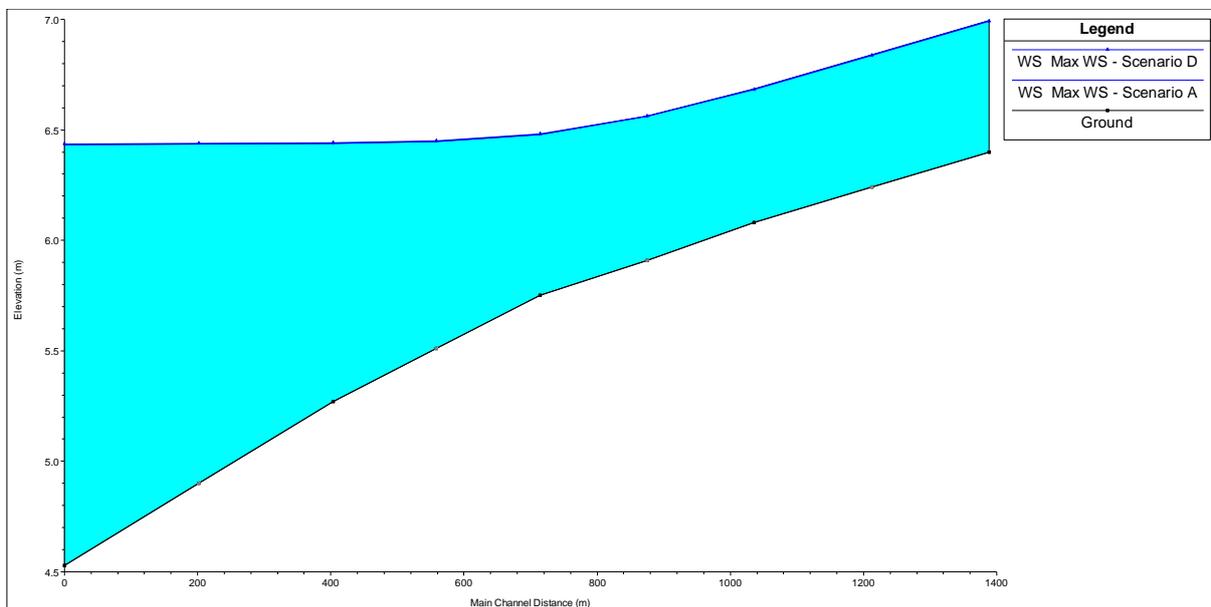


Figura 103: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Frassona Maggiore.

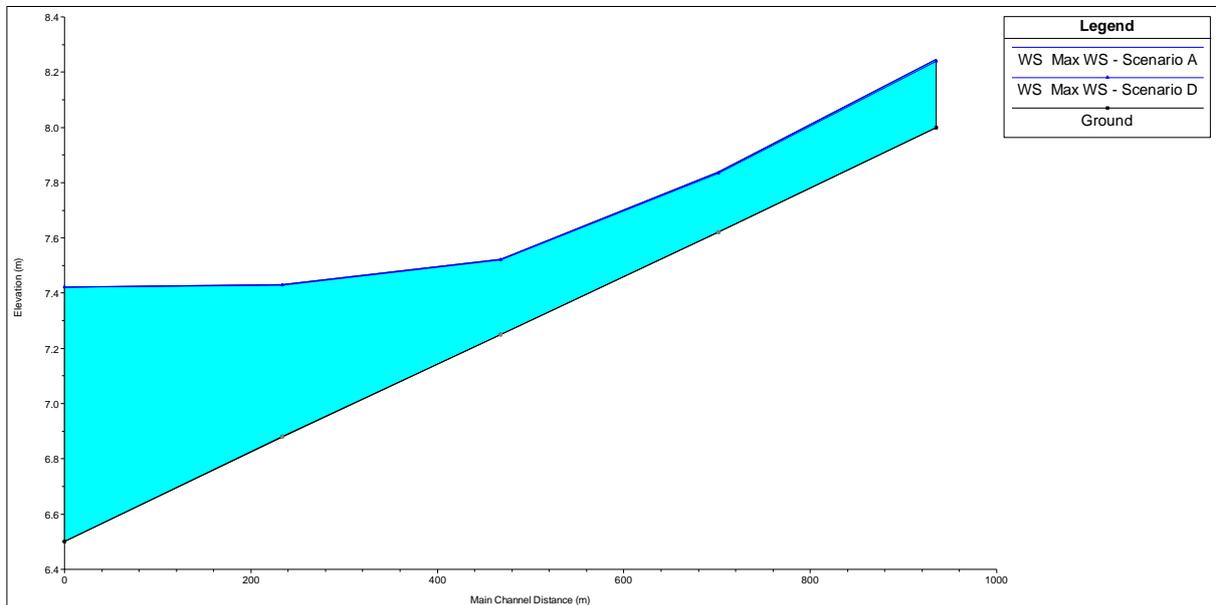


Figura 104: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Cocorre.

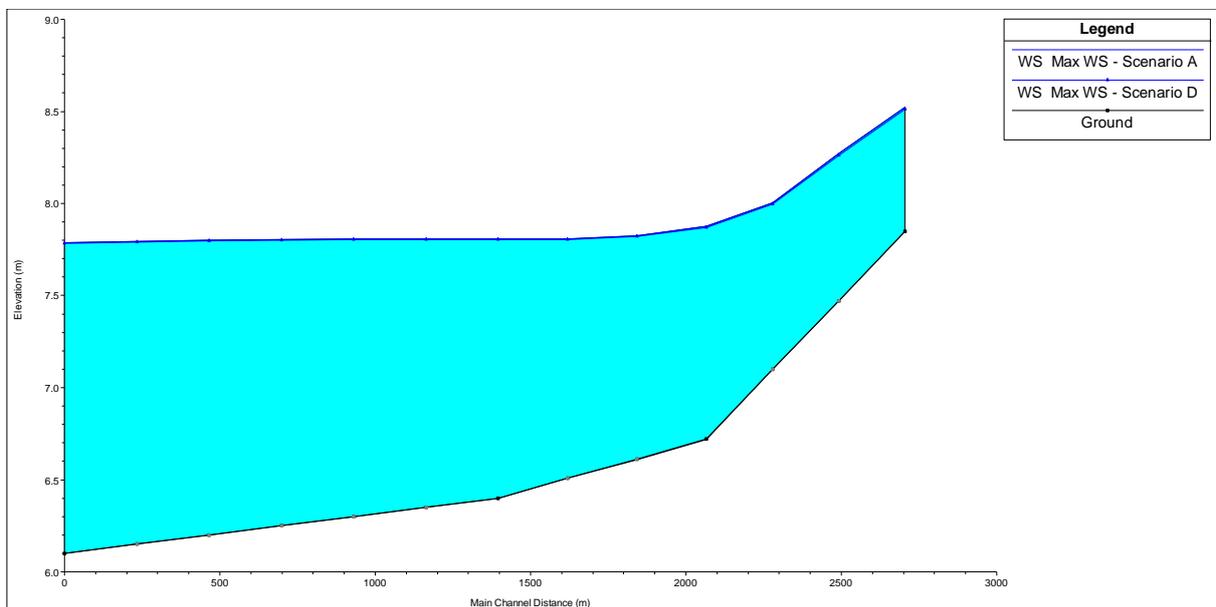


Figura 105: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Sant'Antonio.

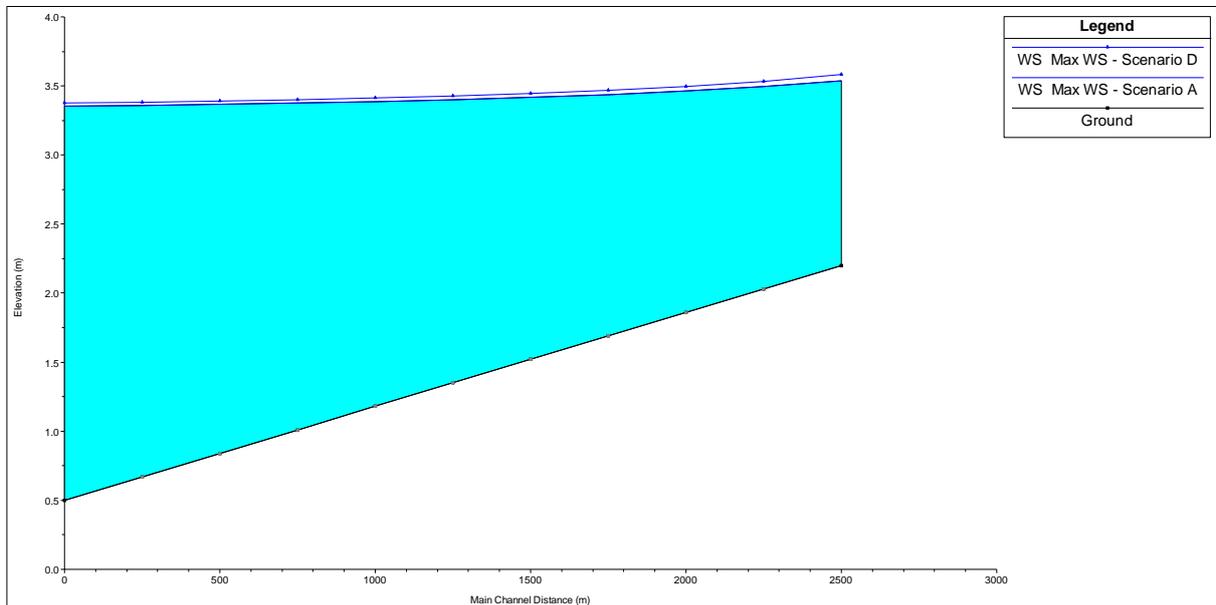


Figura 106: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Fusignano.

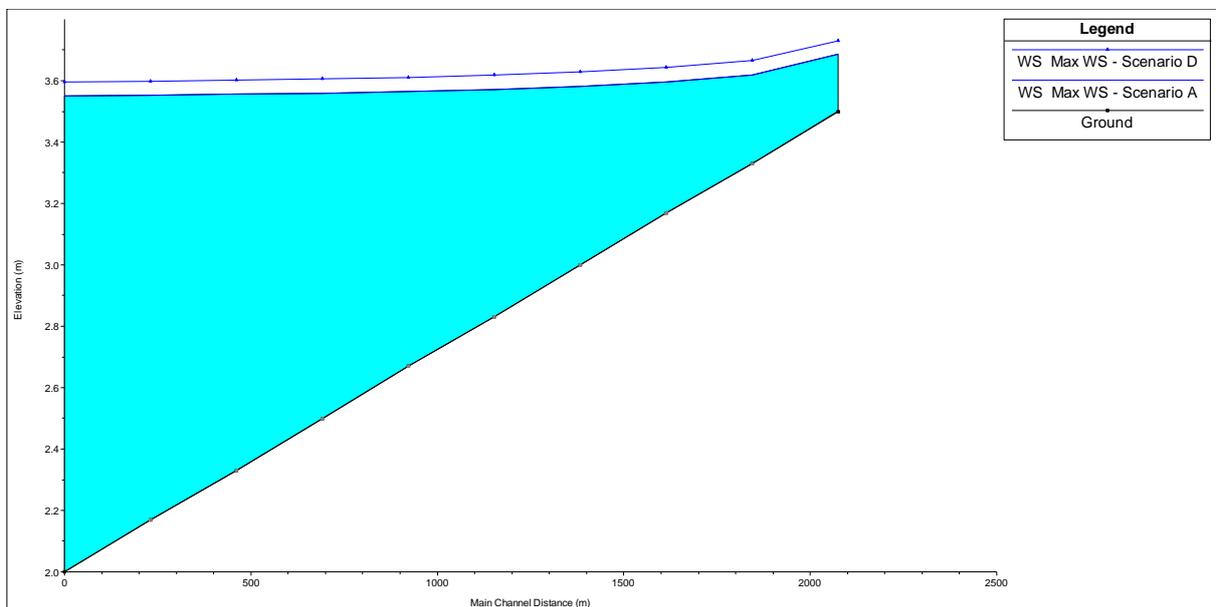


Figura 107: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Alfonsine	0.0	1.4

Tabella 38: Variazioni rispetto ai livelli massimi lungo il canale Alfonsine.

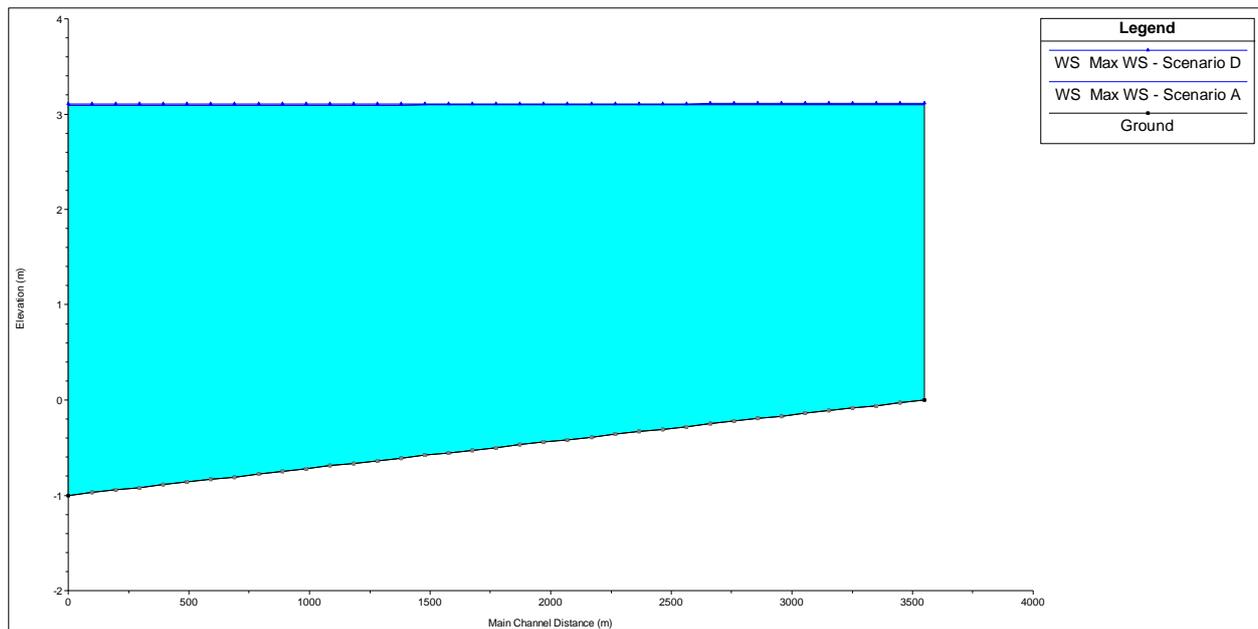


Figura I08: Profilo dei livelli massimi lungo il canale Alfonsine.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Fosso Vecchio	0.0	2.1
Fosso Vetro	0.0	1.7
Fosso Munio	-2.7	2.1

Tabella 39: Variazioni rispetto ai livelli massimi lungo il canale Alfonsine.

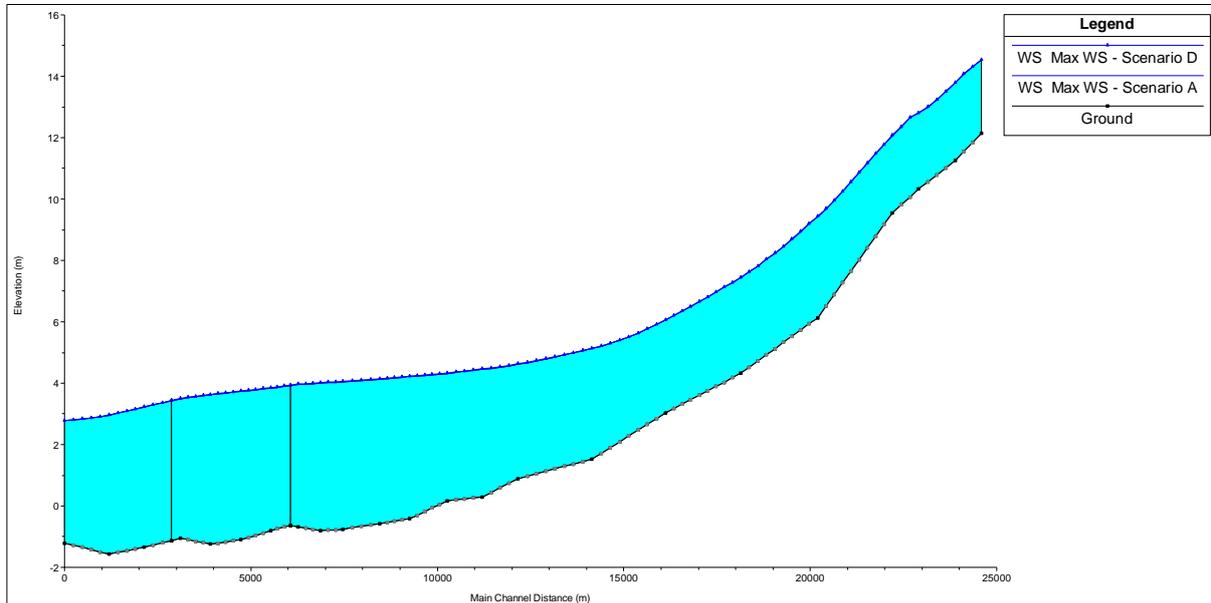


Figura I09. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vecchio.

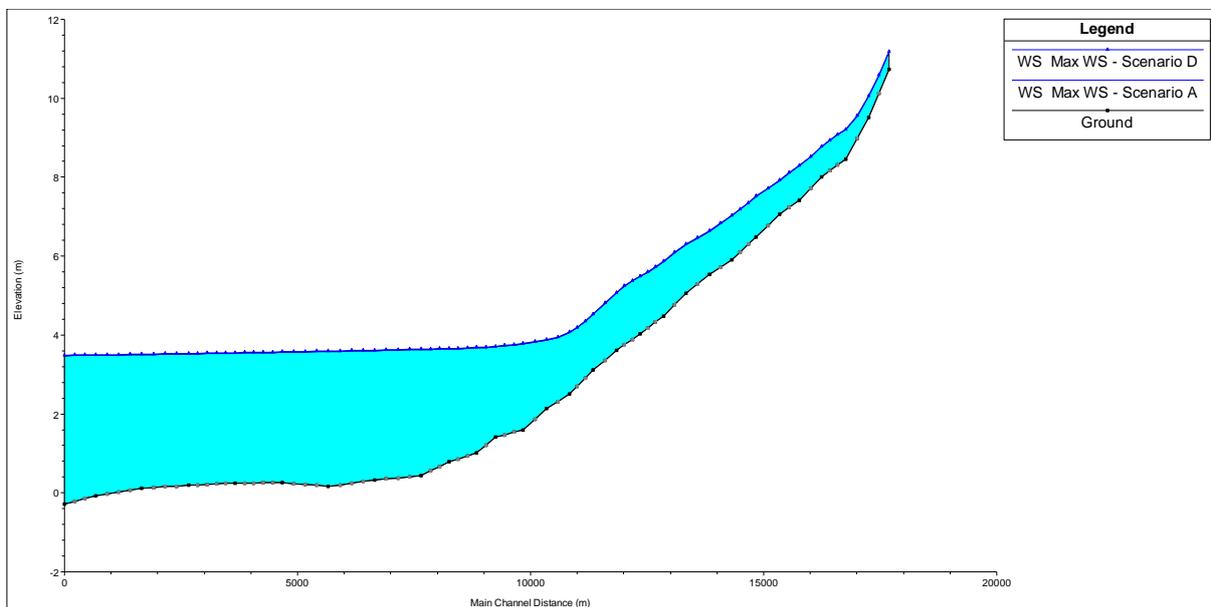


Figura I10. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vetro.

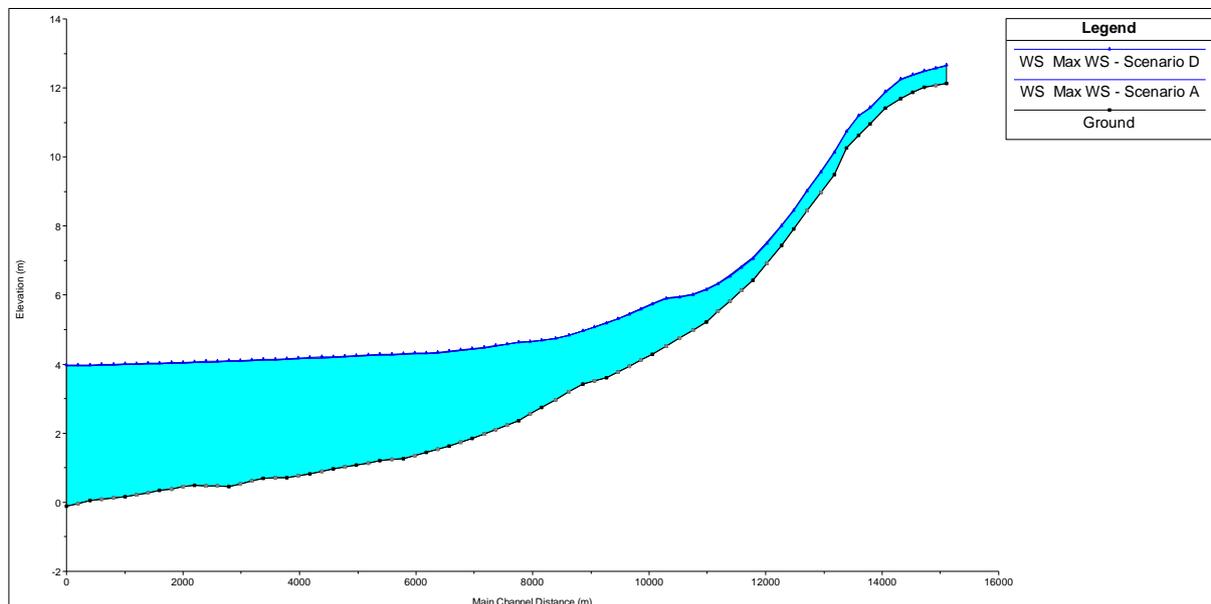


Figura 111. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio.

#### 6.2.4.4 Scenari estremi

L'analisi idraulica ha evidenziato un impatto praticamente nullo sulla rete scolante delle variazioni indotte dalle attività di stoccaggio del giacimento San Potito (scenari B e C).

Per verificare con che grado di sicurezza si può ritenere che le variazioni altimetriche indotte non causino un impatto sulla rete di bonifica sono stati testati due ulteriori scenari amplificando la variazione di pressione prevista con  $P = 240$  bar, cioè  $P = 1.2 P_i$ :

1. scenario E: termine della fase di erogazione con  $P_{MAX} = 360$  bar, cioè  $P_{MAX} = 1.8 P_i$ ;
2. scenario F: termine della fase di stoccaggio con  $P_{MAX} = 360$  bar, cioè  $P_{MAX} = 1.8 P_i$ .

Per i canali maggiormente impattati dalle variazioni altimetriche, i risultati della modellizzazione idraulica sono presentati in termini di confronto con lo scenario A: per lo scenario E in Tabella 40 e Figura 112-Figura 115 e per lo scenario F in Tabella 41 e Figura 116-Figura 119. I risultati evidenziano come amplificando la variazione di pressione fino a  $P_{MAX} = 360$  bar, cioè  $P_{MAX} = 1.8 P_i$ , localmente la variazione dei livelli idrici inizia ad essere sensibile, con abbassamenti che superano i 4 cm ed innalzamenti dell'ordine dei 2 cm.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Tratturo	-2.6	0.4
Arginello	-5.1	0.2
Sant'Antonio	-3.4	0.0
Fosso Munio	-4.6	0.4

Tabella 40: Variazioni rispetto ai livelli massimi nei canali maggiormente impattati dalle variazioni altimetriche per lo scenario E.

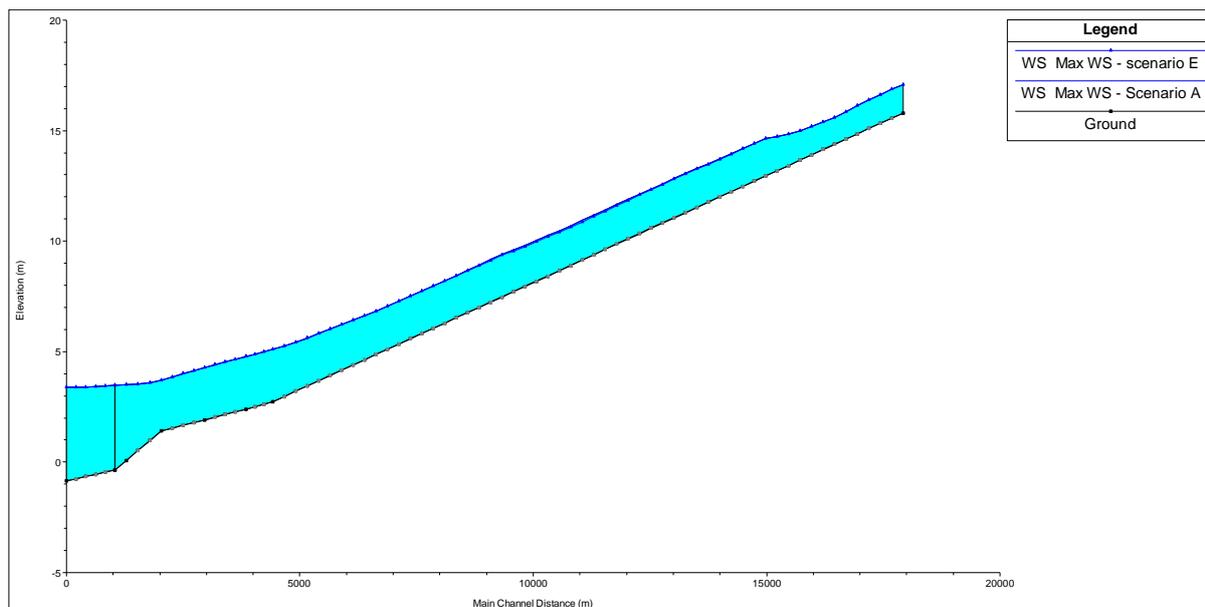


Figura 112. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo per lo scenario E.

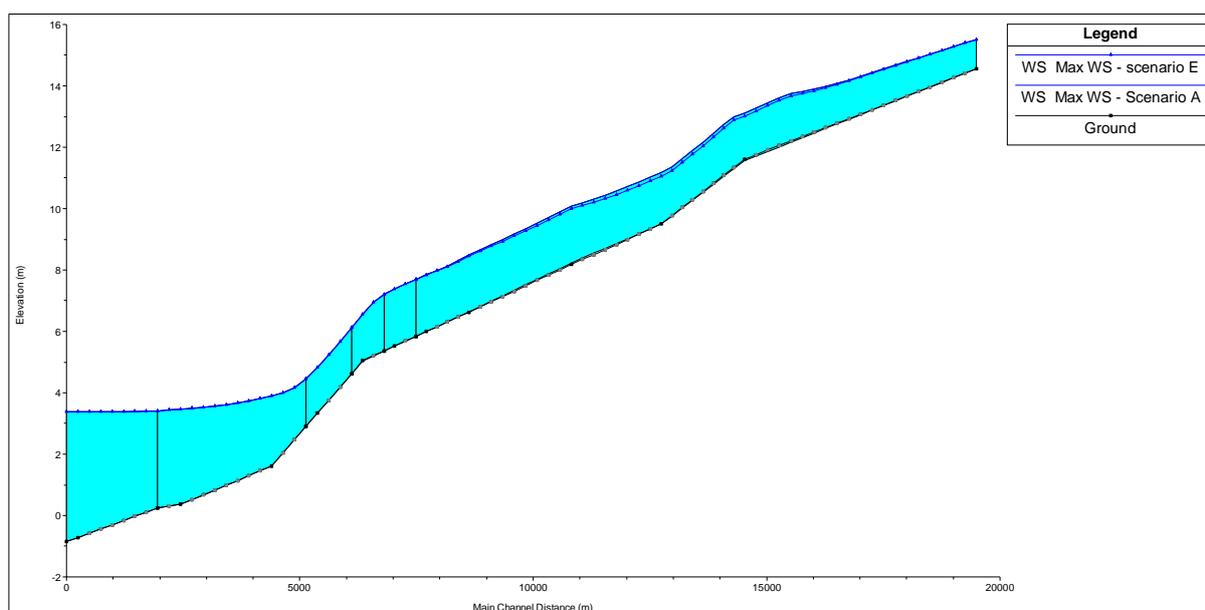


Figura 113. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello per lo scenario E.

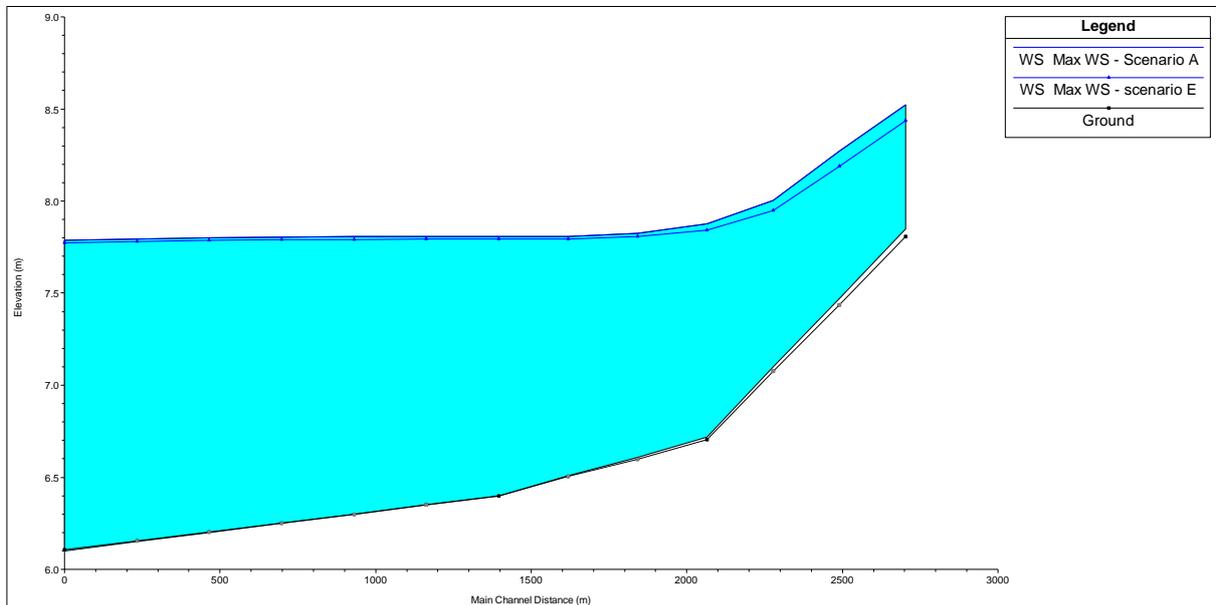


Figura 114. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Sant'Antonio per lo scenario E.

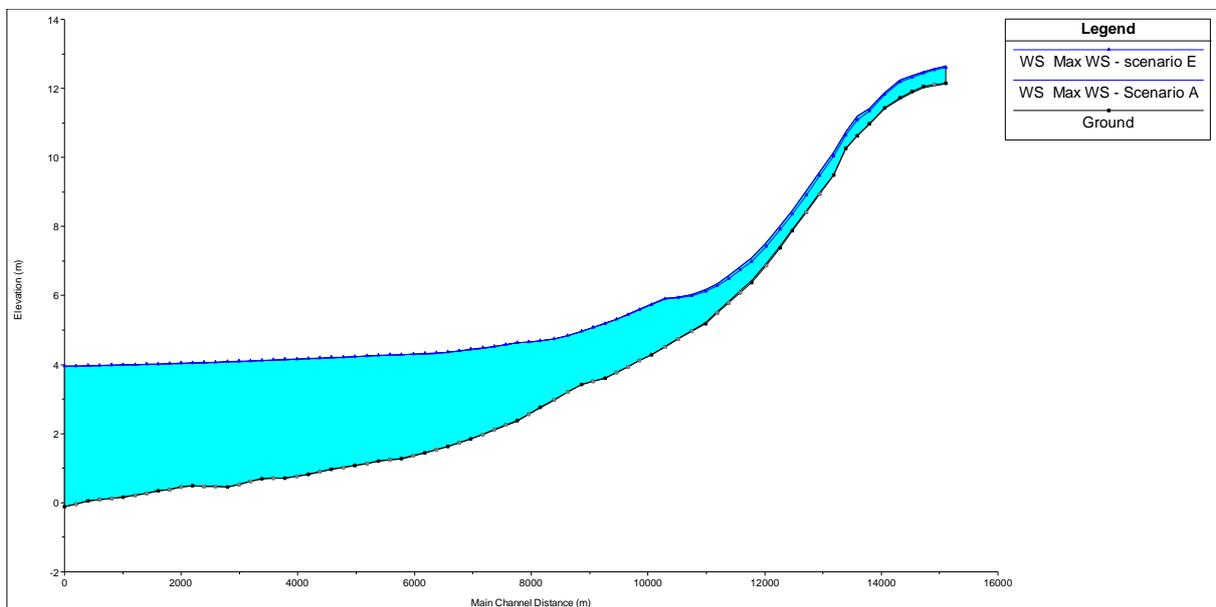


Figura 115. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio per lo scenario E.

Canale	max abb. [cm]	max inn. [cm]
Tratturo	-0.7	0.8
Arginello	-1.8	1.9
Sant'Antonio	-1.6	0.2
Fosso Munio	-2.2	1.3

Tabella 41: Variazioni rispetto ai livelli massimi nei canali maggiormente impattati dalle variazioni altimetriche per lo scenario F

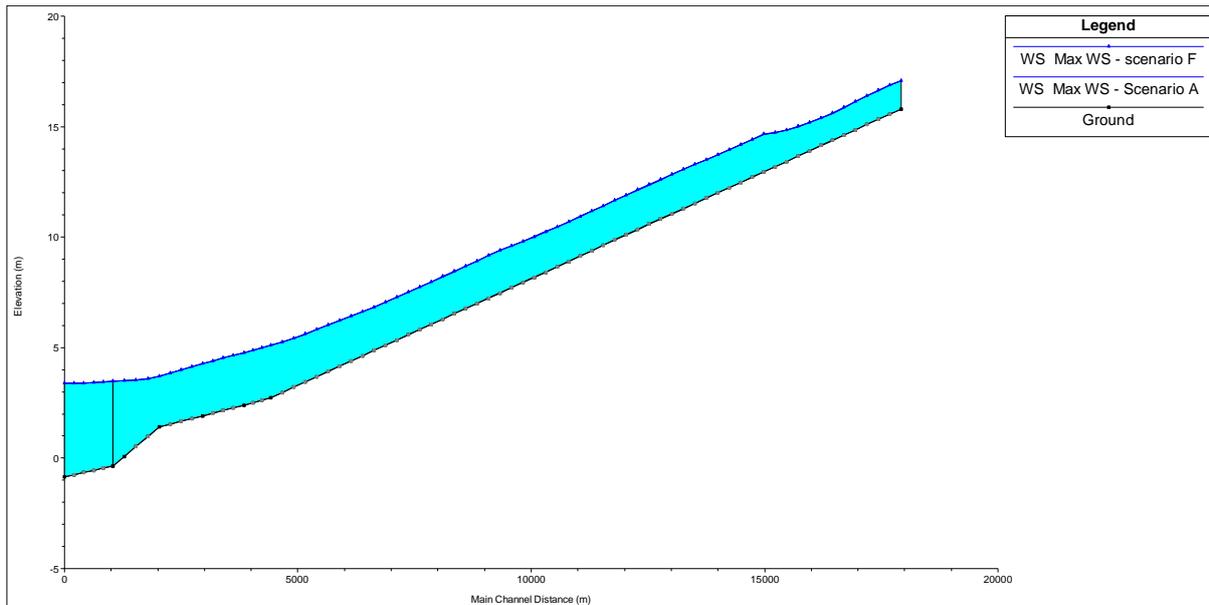


Figura I 16. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo per lo scenario F.

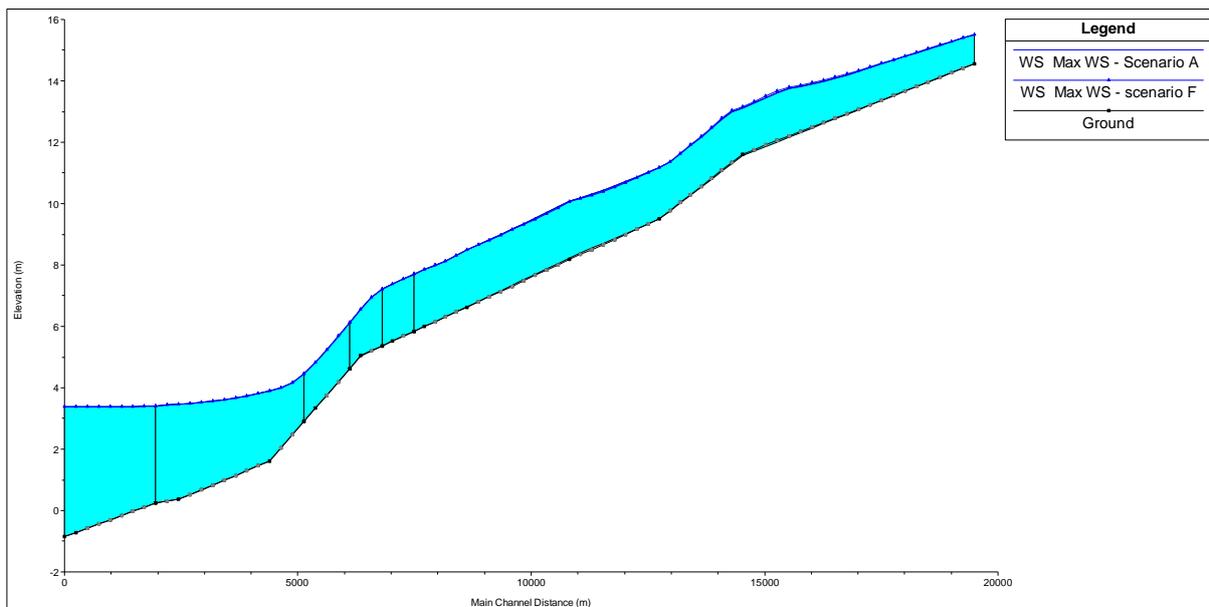


Figura I 17. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello per lo scenario F.

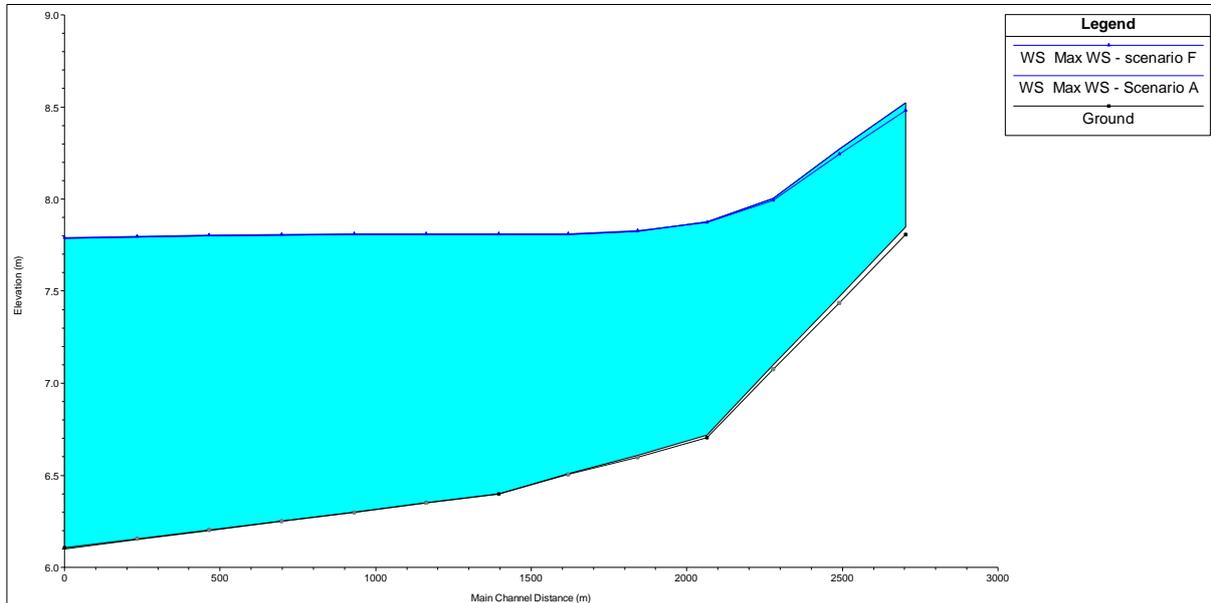


Figura I 18. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Sant'Antonio per lo scenario F.

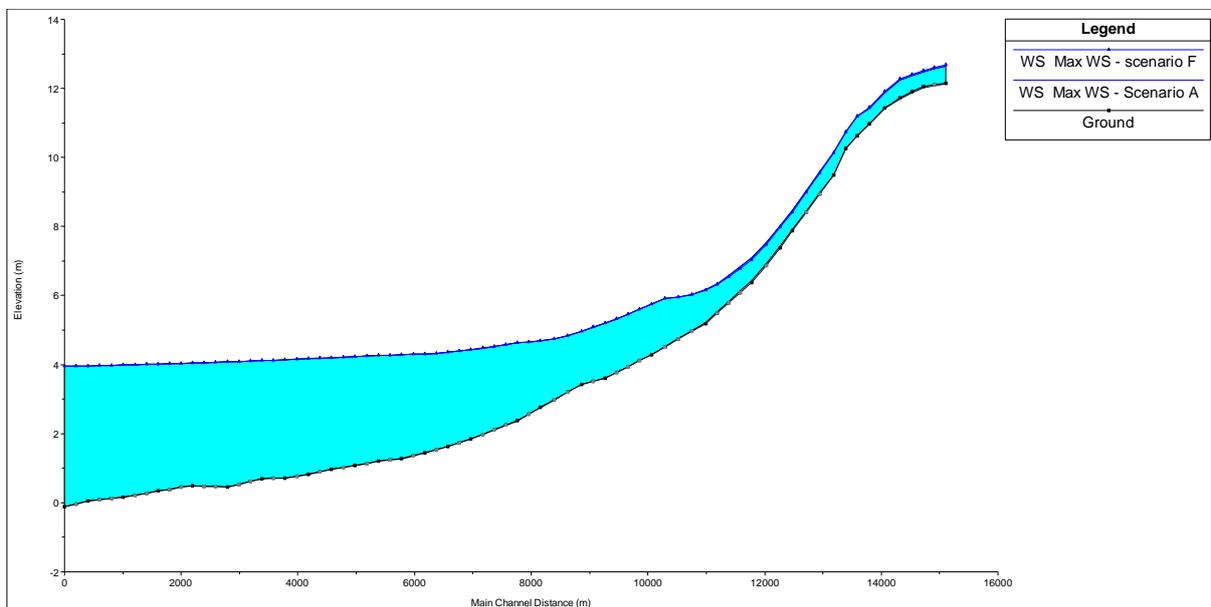


Figura I 19. Profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio per lo scenario F.

### 6.3 Valutazione dell'insieme degli scenari analizzati

L'insieme degli scenari analizzati risultano particolarmente conservativi. In particolare, la variazione di pressione prevista con  $P = 240 \text{ bar}$  ( $P = 1.2 P_i$ ) è stata amplificata fino a  $P_{\text{MAX}} = 360 \text{ bar}$  (cioè è stato valutato il caso con  $P_{\text{MAX}}=1.8 P_i$ ) che corrisponde al massimo possibile, come evidenziato al Paragrafo 5.5.

Inoltre, per quanto riguarda l'effetto di altre attività antropiche presenti nell'area, è stato valutato l'effetto combinato dei campi di stoccaggio di San Potito ed Alfonsine e del campo di produzione di Longanesi.

## 7 DEFINIZIONE DEI FATTORI DI SICUREZZA

In questa sezione le valutazioni effettuate ai Capitoli 5 e 6 vengono tradotte in termini di fattori di sicurezza. Il fattore di sicurezza viene definito come:

$$FS = \Delta P_{MAX} / \Delta P \quad (7)$$

dove  $\Delta P$  è la variazione di pressione prevista dalle operazioni di stoccaggio/erogazione in condizioni di esercizio  $P = 240$  bar, cioè  $P = 1.2 P_i$  (Figura 2) e  $\Delta P_{MAX}$  è la variazione di pressione massima ammissibile per cui non viene superato lo stato limite della criticità analizzata: gradiente di spostamento verticale in superficie (C1), integrità meccanica della roccia serbatoio e delle formazioni confinanti (C2), tenuta strutturale delle faglie (C3) e tenuta idraulica della rete scolante di bonifica (C4). In Tabella 42 sono riassunti i valori di FS ottenuti dalle analisi. Il fattore di sicurezza per le criticità C1, C3 e C4 è il massimo possibile: come evidenziato al Paragrafo 5.5, la variazione di pressione di pressione prevista può essere amplificata fino a  $P_{MAX} = 360$  bar, cioè  $P_{MAX} = 1.8 P_i$ . L'integrità meccanica della roccia, criticità C2, risulta essere la verifica più gravosa con  $FS = 1.2$ : la variazione di pressione prevista dalle attività di stoccaggio/erogazione con  $P = 1.2 P_i$  può essere comunque amplificata del 10% ( $P = 1.24 P_i$ ) senza indurre problemi significativi alla tenuta strutturale della roccia in giacimento nelle formazioni confinanti.

Criticità	Valutazione	Scenario	$P_{MAX}$	FS
C1	<i>conservativa</i>	SG3	360 bar = 1.80 $P_i$	4.0
C2	<i>conservativa</i>	TC3	248 bar = 1.24 $P_i$	1.2
	<i>realistica</i>	TC5	264 bar = 1.32 $P_i$	1.6
C3	<i>conservativa</i>	TF3	360 bar = 1.80 $P_i$	4.0
C4	<i>conservativa</i>	E	360 bar = 1.80 $P_i$	4.0

Tabella 42: Fattori di sicurezza per le criticità analizzate.

## 8 CONCLUSIONI

L'analisi delle misure *in situ* e delle prove di laboratorio fornite da EDISON STOCCAGGIO hanno permesso di validare il modello geomeccanico e i criteri di resistenza adottati nella fase precedente dello studio modellistico su San Potito [M<sup>3</sup>E, 2017]. Le simulazioni geomeccaniche eseguite con tale modello hanno mostrato che le attività previste di stoccaggio/erogazione con  $P = 240$  bar, cioè  $P=1.2P_i$ , non comportano problematiche per nessuna delle criticità analizzate, ovvero: C1) un gradiente dello spostamento verticale in superficie tale da causare danni strutturali; C2) l'integrità meccanica della roccia serbatoio e delle formazioni confinanti; C3) la riattivazione delle faglie riscontrate dalla sismica 3D nell'area prossima al giacimento; C4) l'efficienza idraulica della rete scolante di bonifica.

Per valutare quanto le attività minerarie previste in San Potito siano in condizioni di sicurezza, sono stati qui valutati alcuni scenari estremi: a) la compressibilità del mezzo poroso è stata ipotizzata pari al valore massimo dell'intervallo di confidenza al 95% del modello costitutivo ottenuto dall'analisi statistica dei marker radioattivi; b) la variazione di pressione prevista è stata amplificata fino a  $P_{MAX}=360$  bar (equivalente a circa  $P_{MAX} = 1.8 P_i$ ); c) sono stati sovrapposti gli effetti in termini di spostamenti in superficie previsti dagli sviluppi futuri dei campi di Alfonsine e Longanesi.

I risultati ottenuti dalle analisi integrative qui riportate possono essere così riassunti:

- Nello scenario più gravoso, corrispondente ad amplificare la variazione di pressione prevista fino a  $P_{MAX} = 360$  bar ( $P_{MAX}=1.8 P_i$ ), il gradiente dello spostamento verticale è circa  $2.8e-5$  pari al 5.6% del valore limite fornito dalla normativa per le strutture in muratura.
- Con parametri di resistenza conservativi, la variazione di pressione prevista può essere amplificata del 20%, cioè  $P_{MAX}=248$  bar ( $P_{MAX}=1.24 P_i$ ), senza che l'integrità meccanica della roccia serbatoio venga compromessa. Considerando parametri di resistenza realistici, ovvero basati sui risultati delle misure *in situ* e delle analisi di laboratorio, la variazione di pressione può essere amplificata del 60%, cioè  $P_{MAX} = 264$  bar ( $P_{MAX}=1.32 P_i$ ), senza che il limite a rottura venga raggiunto.
- In tutti gli scenari, la variazione di tensione indotta dalle attività minerarie sulle faglie è trascurabile: la variazione di tensione rimane confinata all'interno delle formazioni mineralizzate e si dissipa nell'arco di poche decine di metri.

- Gli spostamenti in superficie indotti dallo stoccaggio in San Potito amplificando la variazione di pressione prevista fino a  $P_{MAX}=360\text{bar}$  ( $P_{MAX}=1.80\text{ Pi}$ ) producono variazioni locali del livello idrico rispetto allo stato attuali quantificati in circa 5 cm; la rete scolante rimane comunque funzionale.
- L'effetto sovrapposto delle attività minerarie in San Potito, Alfonsine e Longanesi genera variazioni locali del livello idrico rispetto allo stato attuale, con un massimo di 10 cm. La rete scolante rimane comunque funzionale. Va evidenziato come l'effetto dei campi di Alfonsine e Longanesi in termini di spostamento in superficie sia di un ordine di grandezza maggiore rispetto a quello del solo San Potito.

Infine, in Tabella 42 sono riportati i fattori di sicurezza FS per le criticità geomeccaniche analizzate. Tutte le criticità hanno un fattore di sicurezza strettamente maggiore dell'unità, per C1, C3 e C4 il valore di FS è il massimo possibile mentre il valore di FS minimo è quello legato all'integrità della roccia serbatoio e del caprock. A questo proposito, va sottolineato che:

- eventuali fenomeni di micro-sismicità, ovvero  $M < 1$ , eventualmente causati dalla rottura della roccia serbatoio verrebbero rilevati dalla rete di monitoraggio prescritta dalle Linee Guida emesse dal MISE;
- eventuali fratture che limitano la tenuta idraulica dal caprock verrebbero rilevate dall'andamento nel tempo della pressione ai pozzi.

Di conseguenza, l'innescarsi di tali processi potrebbe essere tenuto sotto controllo prevenendone uno sviluppo più esteso.

## 9 REFERENZE

- Baù, D., Gambolati, G., Teatini, P. (2000). Waterdrive dynamics and enhanced land subsidence over productive gas fields: application to Dosso degli Angeli reservoir, Ravenna, Italy. In: Theory, Modeling and Field Investigation in Hydrology: A Special Volume in Honor of Shlomo P. Neuman's 60th Birthday, D. Zhang and C. L. Winter eds., Geological Society of America, Special Paper 348, 129-149.
- Baù, D., Ferronato, M., Gambolati, G., Teatini, P. (2002). Basin-scale compressibility of the Northern Adriatic by the radioactive marker technique. *Geotechnique*, 52(8), 605-616.
- Carminati, E., D. Scrocca, and C. Doglioni (2010). Compaction-induced stress variations with depth in an active anticline: Northern Apennines, Italy. *J. Geophys. Res. - Solid Earth* 115 B02401 doi: 10.1029/2009JB006395.
- Castelletto, N., G. Gambolati and P. Teatini, Geological CO<sub>2</sub> sequestration in multi-compartment reservoirs: Geomechanical challenges, *J. Geophys. Res - Solid Earth*, 118, 2417-2428, doi:10.1002/jgrb.50180, 2013.
- Clark, C. O. Storage and the unit hydrograph. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. 110(1), pp. 1419-1446. 1945.
- Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale (2001). Studio idrologico ed idraulico del Canale di Bonifica in Destra di Reno (collettore generale di tutti i Comparti di scolo del Consorzio) in condizioni di piena eccezionale: verifica del sistema nello stato di fatto attuale e delle configurazioni progettuali prospettate per il miglioramento della capacità di trasferimento idrico nel cavo.
- Da Deppo, L., Datei, C., Salandin, P. (2004). Sistemazione dei corsi d'acqua. Cortina (Padova).
- EDISON EDF GROUP (2018). Esecuzione e interpretazione di prove di laboratorio per la caratterizzazione geomeccanica di rocce di copertura, Pozzo San Potito A2dir. Relazione tecnica.
- ENI Exploration&Production Division (2010). Campo di Longanese-Abbadese, Modello elastoplastico di subsidenza. Management summary.
- Ferronato, M., Castelletto, N., Gambolati, G., Janna C., Teatini, P. (2013). Il cycle compressibility estimate from satellite measurements. *Geotechnique*, doi:10.1680/geot.11.P.149.

- Franceschini, A., Ferronato, M., Janna, C., Teatini, P. (2016). A novel Lagrangian approach for the stable numerical simulation of fault and fracture mechanics. *J. of Computational Physics*, 341, 503-521.
- GEOSTOCK (2012). Laboratory Tests – San Potito Project. Relazione tecnica.
- Janna, C., N. Castelletto, M. Ferronato, G. Gambolati and P. Teatini (2012). A geomechanical transversely isotropic model of the Po River basin using PSInSAR derived horizontal displacement, *Int. J. Rock Mech. Mining Sci.*, 51, 105-118.
- Montone, P., M. T. Mariucci, S. Pondrelli, and A. Amato (2004). An improved stress map for Italy and surrounding regions (central Mediterranean). *J. Geophys. Res. - Solid Earth* 109 B10410 doi: 10.1029/2003JB002703.
- M<sup>3</sup>E S.r.l. (2017). Modellazione dei processi geomeccanici derivanti dallo stoccaggio di gas nel campo di San Potito – Fase 1 e 2. Relazione Tecnica.
- Schlumberger (2018): Pozzo San Potito 6 Dir – MDT Stress Test Casing 7”. Presentazione.
- Si, H. (2008). Adaptive tetrahedral mesh generation by constrained Delaunay refinement, *Int. J. Numer. Methods Eng.*, 75, 856-880.
- Simeoni, U., U. Tessari, C. Corbau, O. Tosatto, P. Polo, P. Teatini (2017). Impact of land subsidence due to residual gas production on surficial infrastructures: the Dosso degli Angeli field study (Ravenna, Northern Italy), *Engineering Geology*, doi:10.1016/j.enggeo.2017.09.008.
- SOIL CONSERVATION SERVICE, (1972) National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.
- Teatini, P., N. Castelletto, M. Ferronato, G. Gambolati, C. Janna, E. Cairo, D. Marzorati, D. Colombo, A. Ferretti, A. Bagliani and F. Bottazzi (2011). Geomechanical response to seasonal gas storage in depleted reservoirs: A case study in the Po River basin, Italy, *J. Geophys. Res.*, 116, F02002, doi:10.1029/2010JF001793.
- Teatini, P., N. Castelletto, and G. Gambolati (2014). 3D geomechanical modeling for CO<sub>2</sub> geological storage in faulted formations. A case study in an offshore northern Adriatic reservoir, Italy, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 22, 63-76.

Teatini, P., M. Ferronato, C. Janna, P. Polo, G. Isotton (2017). Modello idrologico della rete scolante nell'area del campo di Alfonsine. Relazione Tecnica.

Todini, E. & Partners (1990). Indagine Statistica sulle piogge intense nel Comprensorio di Bonifica Renana.

USACE-HEC (2010). Hydrologic Modeling System, HEC-HMS v3.5 - User's Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Tech. Report CPD-74A.

USACE-HEC (2016). River Analysis System, HEC-RAS v5.0 - User's Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Tech. Report CPD-68.

Viggiani, C. (2003). Fondazioni. Helvelius Edizioni, Benevento, Italy.

## **ALLEGATO 2**

### **Verifica Sorgente sismica ITIS 100 Bagnacavallo**



SUBSURFACE  
GEOLOGY AND  
GEOPHYSICS



## Verifica della sorgente sismica ITIS 100 Bagnacavallo

Redatto da Vincenzo Picotti e

A. Ponza

Bologna 25 luglio 2018





## Indice

Executive Summary .....	4
Premessa .....	6
Introduzione.....	7
1 - Geometria della struttura Bagnacavallo .....	9
2 - Osservazioni geomorfologiche a supporto della attività recente della struttura.....	19
3 - Piene associate al terremoto.....	30
4 - Slip rates .....	32
5 - Conclusioni.....	34
Bibliografia.....	35



## Executive Summary

La struttura sismogenetica denominata "ITIS 100 Bagnacavallo" è stata oggetto di una verifica, alla luce dei dati disponibili e delle nostre migliori conoscenze, allo scopo di confermare o emendare la sua presenza. La società esercente lo stoccaggio "San Potito - Cotignola" aveva comunque cautelativamente indicato alcune discontinuità tettoniche nel volume sismico 3D in suo possesso in prossimità sia del giacimento di San Potito che della struttura sismogenetica sopraindicata ed ha utilizzato tali dati per la costruzione del modello geomeccanico 3D (FEM).

La struttura sismogenetica è stata ipotizzata sulla base di vecchie sezioni geologiche. La verifica su dati geofisici (linee sismiche) disponibili mostra una geometria molto diversa, associata ad una opposta vergenza della struttura principale di Cotignola. Inoltre, le linee sismiche più recenti mostrano che l'anticlinale di Cotignola non deforma i riflettori dell'ultimo milione di anni.

Anche la relazione tra le cosiddette "anomalie" del reticolo idrografico ed il terremoto di Cotignola 1688 è stata approfondita con una sintesi delle conoscenze storico-archeologiche e geologiche sull'evoluzione del drenaggio. I dati dimostrano che i tratti considerati "anomali", in realtà, sono frammenti preservati di antichi tracciati fluviali, e che molte delle diversioni visibili nel drenaggio sono antropiche. Inoltre, i tracciati dei fiumi attuali si sono stabilizzati tra il XIII ed il XV secolo, molto tempo prima del terremoto citato. Non è quindi possibile mettere in relazione il terremoto con l'evoluzione dei fiumi.



In sintesi si evidenzia la necessità di emendare la struttura sismogenetica "ITIS 100 Bagnacavallo" e di proseguire gli studi per la definizione della struttura responsabile del terremoto del 1688.



## Premessa

La società Edison Stoccaggio, in qualità di titolare della concessione denominata "San Potito e Cotignola Stoccaggio" ha incaricato la società GEOPHI srl ad eseguire uno studio sulle strutture sismogenetiche presenti nell'area dei giacimenti di stoccaggio.

Lo studio è stato condotto utilizzando, oltre ai dati più recenti disponibili nella letteratura scientifica, anche il volume sismico 3D acquisito e processato da Edison Stoccaggio nel 2012-2013 su un'area di circa 110 km<sup>2</sup>, ricoprente tutta la concessione di stoccaggio.

Per quanto riguarda le sorgenti sismogenetiche presenti nell'area in esame, si è fatto riferimento al database DISS dell'INGV dove sono riportate le strutture tettoniche potenzialmente capaci di generare terremoti superiori a M 5.5 in Italia e nelle aree circostanti. Dalla sua data di creazione, nel 2000, è stato aggiornato in 11 versioni, l'ultima delle quali (3.2.1) pubblicata online nell'aprile 2018. Si tratta di un prezioso strumento, di fondamentale importanza per la pianificazione territoriale e la protezione civile.

Nell'area dello stoccaggio San Potito e Cotignola il database DISS riporta le strutture sismogenetiche denominate "ITIS 100 Bagnacavallo" (sorgente sismogenetica individuale) e "ITCS 011 Ascensione - Armaia" (sorgente sismogenetica composita). Le caratteristiche di dettaglio di quest'ultima non sono presenti nel catalogo.



## Introduzione

La scheda di presentazione della sorgente sismica "ITIS 100 Bagnacavallo" è stata creata da Burrato, Valensise, Maesano e Vannoli (tutti afferenti all'INGV) il 31/1/2001, ed aggiornata il 15/11/2013. Gli *slip rate* riportati nella scheda sono tratti da una pubblicazione di Maesano et al., (2015).

La scheda riporta le informazioni parametriche della struttura, che vengono riprodotte in Tabella 1.

### PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Location [Lat/Lon]	44.38 / 11.94	OD	Based on macroseismic, geological and geomorphological data.
Length [km]	9.1	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Width [km]	6.0	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	2.5	OD	Based on seismic profile and geomorphological observations.
Max depth [km]	5.0	OD	Based on seismic profile and geomorphological observations.
Strike [deg]	119	OD	Based on geological and geomorphological observations.
Dip [deg]	25	OD	Based on seismic profile and geomorphological observations.
Rake [deg]	90	OD	Inferred from geological data, constrained by orientation of T axes.
Slip Per Event [m]	1.0	ER	Calculated from $M_0$ using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min... max	0.1...0.3	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Recurrence [y] min... max	3333... 10000	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	5.8	LD	Value adopted from the historical earthquake catalogue CPT111.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Tabella 1 - Informazioni parametriche sulla sorgente sismica "ITIS 100 Bagnacavallo" nel catalogo DISS dell'INGV, tratte da:

[http://diss.rm.ingv.it/dissnet/CadmoDriver?\\_action\\_do\\_single=1&\\_state=find&\\_token=NULLNULLNULLNULL&\\_tabber=0&\\_page=pGGsources\\_d&IDSource=ITIS100](http://diss.rm.ingv.it/dissnet/CadmoDriver?_action_do_single=1&_state=find&_token=NULLNULLNULLNULL&_tabber=0&_page=pGGsources_d&IDSource=ITIS100)

Nei capitoli seguenti, discuteremo le informazioni contenute nella scheda, cercando di verificare i dati e le osservazioni sulla base delle quali sono state formulate le ipotesi di sorgente sismogenetica. A questo



scopo abbiamo svolto ricerche su materiale esistente in letteratura, arricchiti da dati liberi di provenienza industriale.

## 1 - Geometria della struttura Bagnacavallo

Di seguito (in lingua inglese come nell'originale) vengono riportati i commenti dei succitati autori alla scheda:

*Current catalogues (CPTI, 2004) report a large event in 1688 (Me 5.9) that falls very close to this Source, having its epicentral area in Cotignola (Imax=IX). We associate this historical earthquake with the Bagnacavallo Source. Our preferred source model is consistent with the largest damage having been reported in Cotignola, Bagnacavallo, Solarolo, Russi and Lugo. A further constraint for the southeastern edge of the source could be represented by the occurrence of a large aftershock near Russi on 18 April 1688, a week after the mainshock (reported by Boschi et al., 1997)*

*This source belongs to the Romagna Folds the more internal folds of the Ferrara-Romagna Arc, that represents the outermost propagation of the Apennines compressional wedge.*

Gli autori associano i terremoti dell'aprile 1688 alla sorgente Bagnacavallo. Questa sorgente sismogenetica viene definita come "preferita" in quanto consistente con i danni riportati in superficie. Si tratta dunque di una conclusione basata su informazioni bibliografiche dalle quali è possibile desumere



soltanto una posizione approssimativa dell'epicentro. Nella scheda, sebbene venga lasciato spazio ad alcune questioni aperte, non vengono fornite interpretazioni alternative circa la geometria in profondità della sorgente.

*Based on the analysis of the subsurface data provided by the oil industry (Cassano et al., 1986; Pieri and Groppi, 1981) and on geomorphological observations provided by several investigators, we propose the existence of a major blind thrust having the following geometrical characteristics:*

- *the strike is chosen according with the general orientation of mapped tectonic structures;*
- *the fault dips towards the SW, in agreement with subsurface evidence and based on the characteristic distance between the synclinal and anticlinal axes;*
- *the rake is assumed to be pure thrusting based on strike and on general geodynamic considerations;*
- *the down-dip width is based on the characteristic distance between the synclinal and anticlinal axes and on the assumptions made concerning the minimum and maximum faulting depth;*
- *the minimum and maximum depth are constrained by subsurface geology, by the symmetry of the anticline and by the general aspect-ratio of the anticline-syncline couple;*
- *the length is based on scaling with width and constrained by geomorphological observations.*

I due lavori strutturali, citati come base su cui è stata proposta la struttura sismogenetica di Bagnacavallo (da ora in poi struttura B), si basano fundamentalmente su sezioni geologiche interpretate, e come tali rappresentano un modello geologico. Nel caso di Cassano et al. (1986), si tratta di un lavoro



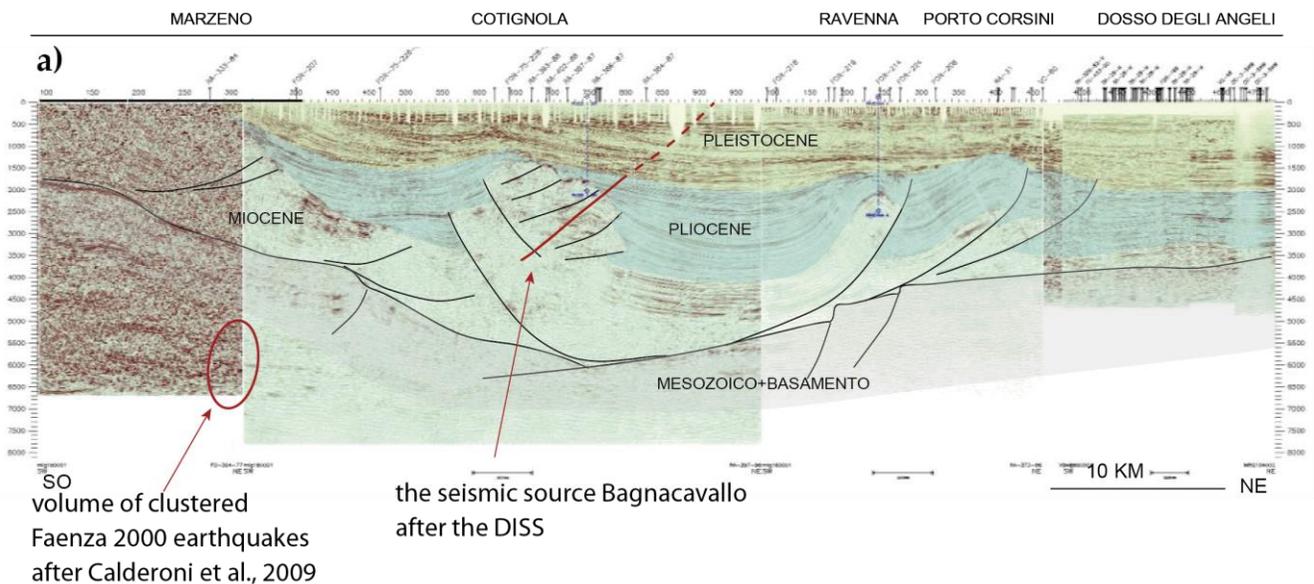
il cui scopo era far risaltare il basamento magnetico ricostruito in base a rilievi originali. Le strutture ad esso sovrastanti, come riportato dagli autori, sono state riprese e reinterpretate secondo lo stile corrente in quegli anni presso ENI Agip, senza tanta attenzione al dato originale, che infatti non viene riportato, sulla base di Pieri e Groppi (1981). Quest'ultimo lavoro, per quanto faccia vedere pochi dati originali (linee sismiche e pozzi di controllo), è formato da sezioni geologiche interpretative e schematiche. Pur essendo stato molto importante per l'epoca, il lavoro è molto datato, come evidenziano i numerosi e recenti lavori scientifici che presentano sezioni geologiche dal tracciato simile o identico, ma caratterizzate da faglie completamente differenti per geometria e localizzazione (e.g. Fantoni e Franciosi, 2010). Proprio in virtù del fatto che i successivi lavori scientifici hanno presentato sezioni geologiche molto differenti, il modello geologico presentato nella scheda deve essere verificato con dati sismici originali. Alcuni di questi sono pubblicati, altri sono presenti in relazioni presso i Ministeri, ma tutti sono disponibili presso l'industria (ENI, Edison), la quale non nega la visualizzazione, tantomeno per lavori di questo impatto sociale ed economico.

Di seguito presentiamo una sezione sismica composta, posta qualche km a est della ipotizzata struttura B, che permette di apprezzare lo stile strutturale della pianura romagnola (Fig. 1 e 2). Questa sezione, frutto dell'interpretazione congiunta di operatori ENI ed Edison in vista dell'apertura dello stoccaggio San Potito - Cotignola (Carcano et al., 2007), viene riportata in alcuni documenti recenti della società esercente, depositati presso il MISE.

Come si può chiaramente vedere (Fig. 1), la struttura di Cotignola è associata ad un importante retroscorrimento (faglia inversa vergente a sud), riconosciuto e cartografato anche da autori recenti (per

esempio: Boccaletti et al., 2011). Questa struttura, in Pieri e Groppi, 1981 e poi nel Modello Strutturale d'Italia (Bigi et al., 1990) era stata erroneamente interpretata come una faglia normale immergente a sudovest.

In corrispondenza dell'alto di Cotignola, la fig. 1 mette in evidenza una serie di faglie inverse immergenti verso SO, compatibili con l'ipotizzata sorgente sismogenetica Bagnacavallo (proiettata in tempi in fig.1), ma risultano tagliate da un successivo retroscorrimento che le disattiva cinematicamente. Tale retroscorrimento si collega in profondità alle strutture di Ravenna e Porto Corsini e, verso la catena appenninica, ad un'ampia anticlinale probabilmente a livello di basamento in cui sono stati localizzati i terremoti di Faenza 2000 (Calderoni et al., 2009), evidenziati in fig.1.



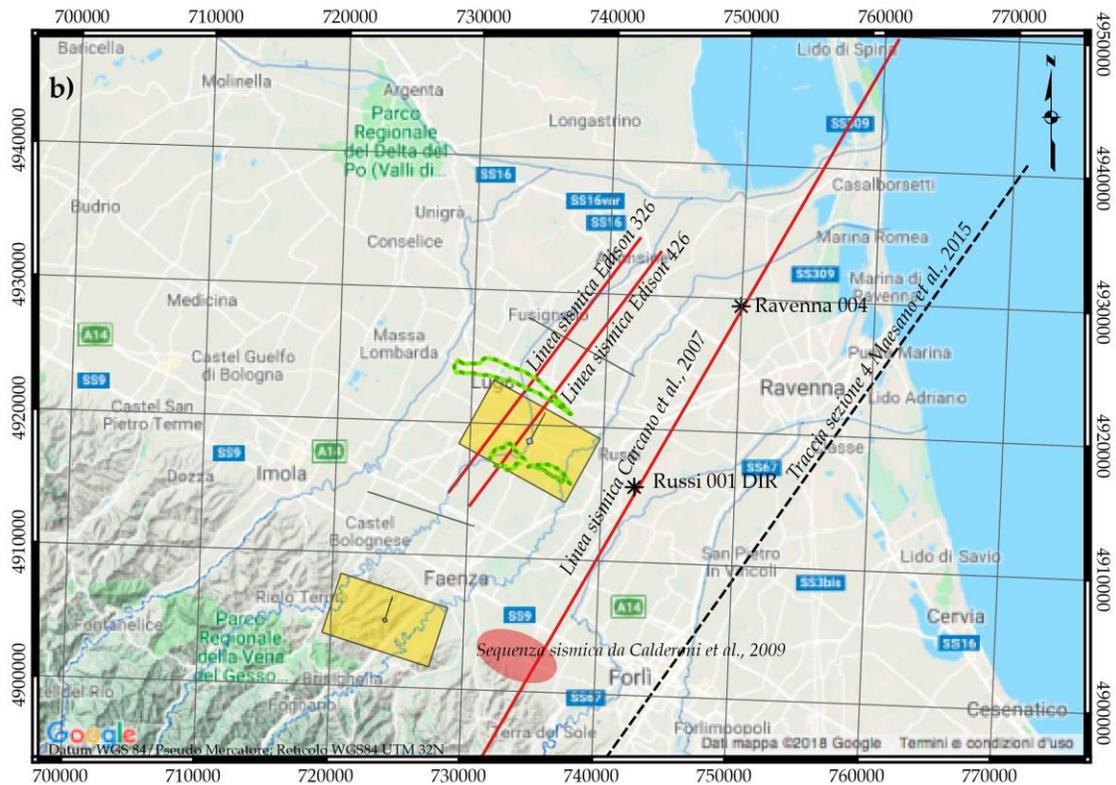


Figura 1a) - Sezione sismica composta in tempi doppi, da Carcano et al. 2007, con proiettata la sorgente Bagnacavallo definita da Burrato et al. nella scheda DISS. Evidenziato anche il volume di roccia interessato dagli eventi sismici di Faenza 2000, da Calderoni et al., 2009. Le velocità intervallari per la trasformazione in tempi delle informazioni spaziali sono prese da Molinari et al., 2015. 2 Index map delle sezioni sismiche.

Si noti infine che la sequenza sismica di Faenza 2000 (Calderoni et al., 2009), i cui ipocentri sono riportati in Fig. 1, ha generato sismi in un volume di roccia prossimo al sovrascorrimento più profondo visibile in sismica. Questo potrebbe suggerire che le strutture attive siano attualmente localizzate presso l'**anticlinale profonda** che si connette cinematicamente al retroscorrimento ed alle strutture di Ravenna-Porto Corsini. Ipotesi da confermare, che inevitabilmente porterebbe ad una differente geometria della sorgente sismica.

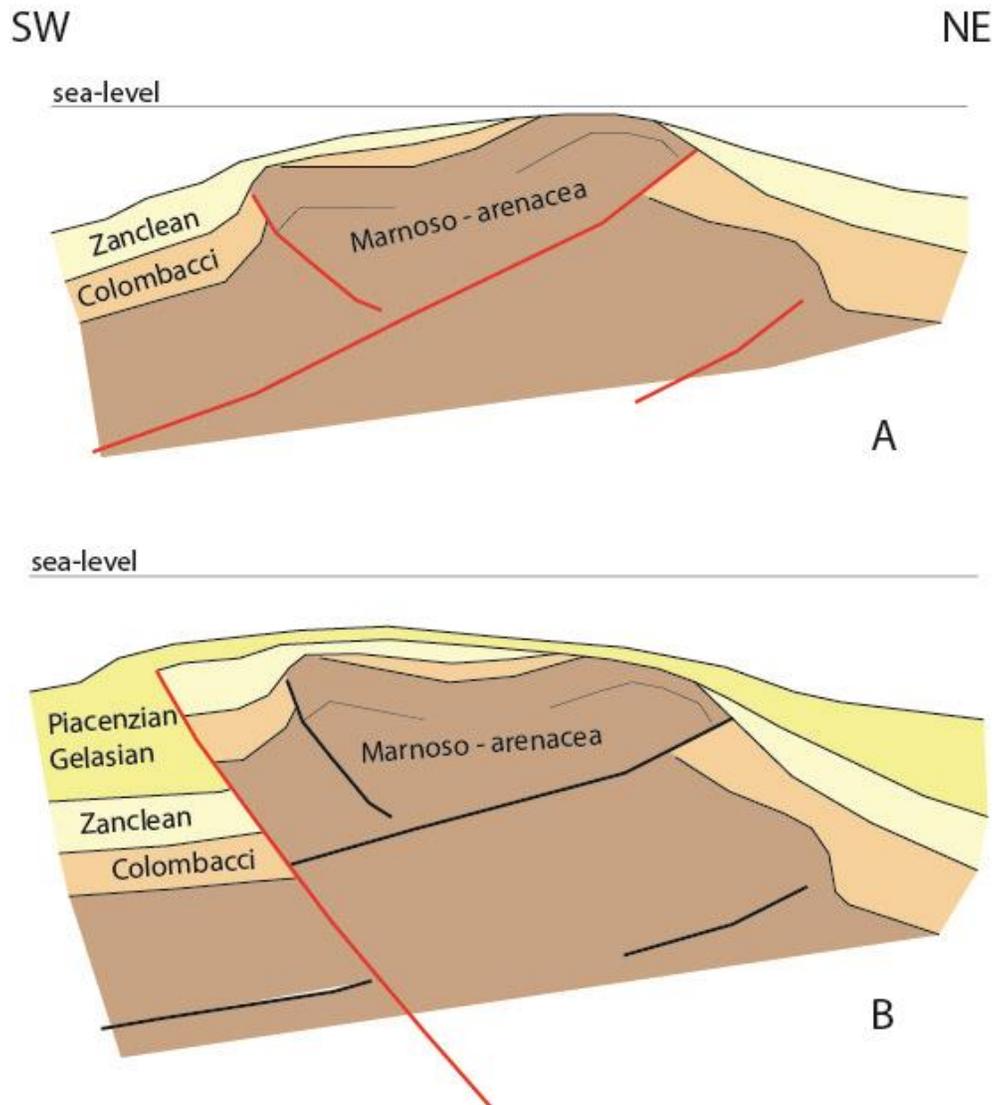


Figura 2 - Evoluzione dell'anticlinale di Cotignola. A) Zancleano (Pliocene inferiore). B) Piacenziano e Gelasiano (Pliocene superiore e Pleistocene inferiore). Si noti lo spostamento verso sudovest della culminazione assiale dell'anticlinale di Cotignola, che permette alle sabbie Zancleanee di slope di mineralizzarsi.

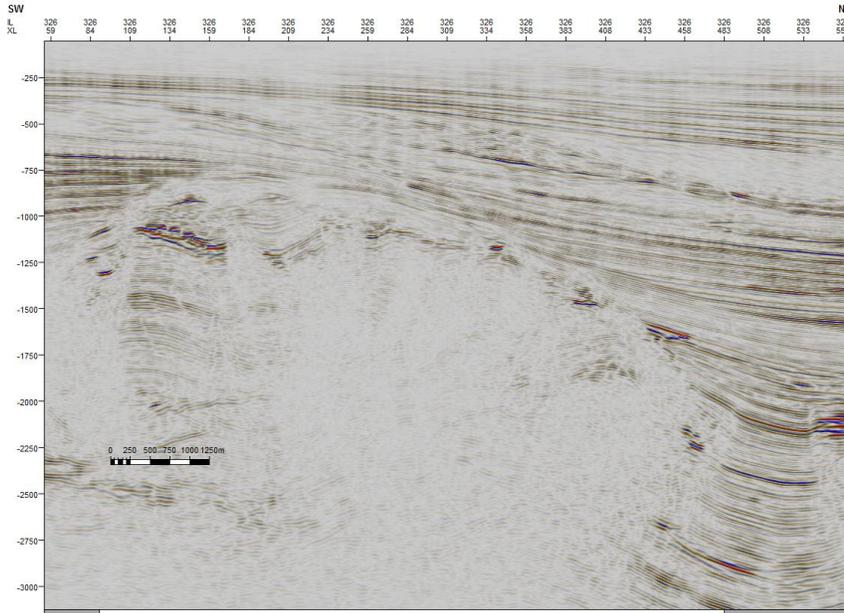


Anche i dati provenienti dai nuovi pozzi di Cotignola (Negri et al., 2014) dimostrano uno spostamento della culminazione assiale verso sudovest (Fig. 2). Infatti, nello Zancleano si formavano le sabbie di *slope* a causa dell'erosione dell'alto di Marnoso-arenacea, posizionato presso la culminazione assiale dell'anticlinale di rampa di un thrust vergente a nordest (struttura in rosso in figura 2A). A partire dal Piacenziano, e poi durante il Gelasiano, si assiste allo spostamento della culminazione assiale: le sabbie di *slope* Zancleano vengono a trovarsi presso la culminazione assiale e possono mineralizzarsi, grazie alle Argille azzurre emipelagiche che drappeggiano l'alto. Questo cambiamento di geometria si ottiene ad opera di un retroscorrimento (rosso in Figura 2B) che taglia e disattiva le precedenti strutture vergenti a nordest.

Analizzando i dati sismici recenti (volume sismico 3D acquisito e processato da Edison Stoccaggio), in figura 3 è possibile osservare due linee sismiche che tagliano trasversalmente la culminazione di Cotignola presso i cluster B e C. I riflettori dell'ultimo Milione di anni, sovrastanti l'intervallo meno riflettivo e cliniforme relativo alla progradazione dei corpi di spiaggia noti come Sabbie di Imola, non sono perfettamente orizzontali, ma tendono ad aprirsi verso nord, per effetto di una subsidenza differenziale. Resta da stabilire il ruolo relativo della tettonica e della compattazione nel generare queste geometrie. Tuttavia, al di sopra dell'anticlinale di Cotignola, ed in particolare nel suo lembo sud, si può osservare chiaramente l'assenza di deformazioni imputabili all'anticlinale nello stesso intervallo di riflettori. Le linee sismiche, di cui la figura 3 mostra solo un paio di esempi, non escludono la possibilità di deformazioni attive nell'ultimo Milione di anni, ma chiariscono che queste deformazioni non interessano l'anticlinale di

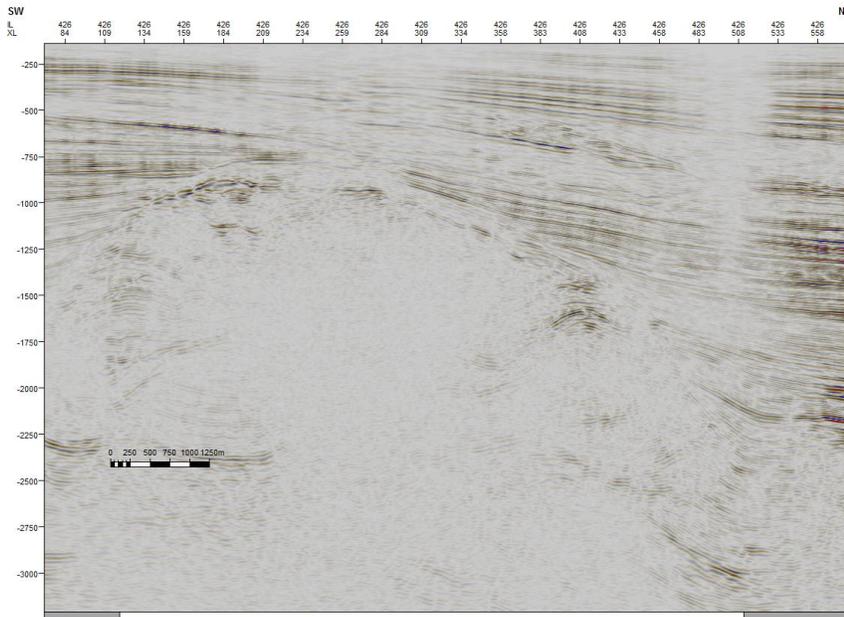


Cotignola. Una eventuale struttura attiva che possa spiegare la divergenza dei riflettori di figura 3 dovrebbe dunque essere cercata in altre posizioni.



a)

Figura 3 - Profili sismici in tempi doppi attraverso l'anticlinale di Cotignola. a) Linea 326; b) Linea 426. Vedi Fig. 1b per la localizzazione.



b)



Sulla base dei dati sopra esposti, l'affermazione degli autori:

- *the fault dips towards the SW, in agreement with subsurface evidence and based on the characteristic distance between the synclinal and anticlinal axes;*
- *the minimum and maximum depth are constrained by subsurface geology, by the symmetry of the anticline and by the general aspect-ratio of the anticline-syncline couple;*

non è documentata, sia in termini di dimensioni che di direzione di immersione (vedi Fig. 1). Infatti, mancano di dati di qualità a supporto della ipotizzata struttura B; inoltre, la distanza tra sinclinale ed anticlinale non è in grado di discriminare la direzione di immersione della principale struttura attiva, né la sua profondità minima e massima.

Ancora gli autori:

- *the strike is chosen according with the general orientation of mapped tectonic structures;*
- *the rake is assumed to be pure thrusting based on strike and on general geodynamic considerations;*

queste due frasi si presentano come deboli ipotesi legate reciprocamente. Ovvero, viene ipotizzata una direzione della struttura B, basandosi su strutture tettoniche cartografate. In letteratura, si può notare che esiste un ben noto andamento arcuato delle strutture tettoniche in Pianura Padana. Dunque, quale direzione tra le tante visibili è stata scelta? e perchè? La scelta della direzione di rake è conseguente a quella precedente: in base alle precedenti considerazioni, se si scegliesse una direzione differente, anche la direzione di rake basata sulle stesse considerazioni geodinamiche cambierebbe...

- *the length is based on scaling with width and constrained by geomorphological observations.*



Anche quest'ultima frase è basata sulle ipotesi esposte e non dimostrate in precedenza. Per quanto riguarda la geomorfologia, si veda il prossimo capitolo 2.

- *The position of the active anticline, located by means of geomorphological observations, is slightly shifted to the north-east with respect to the geological anticline mapped on the basis of geophysical exploration data. This observation may be the evidence of growth of the thrust fault along dip (the top of the fault plane becomes shallower).*

Questa frase non è molto chiara, e dipende dal modello proposto da Burrato et al., 2003 per la definizione di "anomalia del drenaggio" e per le sue relazioni con il movimento cosismico dell'anticlinale. Se abbiamo ben capito, nel caso di Cotignola queste non coincidono (?).

- *This Source is very well developed in the subsurface, but has a limited geomorphic expression. The frequent and substantial diversions and shifts of the rivers flowing around it suggest that this is a rather fast structure.*

Anche in questo caso, lo scopo e le parole degli autori non sono chiari. Definiscono la sorgente "molto ben sviluppata in profondità (tuttavia si veda Fig. 1), ma, d'altra parte, "di limitata espressione geomorfologica". Gli autori fanno riferimento a "sostanziali diversioni e spostamenti dei fiumi che scorrono attorno ad essa" per concludere che si tratta di una "struttura veloce". Non sappiamo a quale velocità si riferiscano gli autori, e pertanto non possiamo commentare ulteriormente.

In conclusione della parte sulla geometria, i dati sismici mostrano:



- a) che la struttura principale al di sotto dell'anticlinale di Cotignola è un thrust cieco immergente a NE (retroscorrimento), che rimaneggia precedenti, più piccole e più superficiali strutture immergenti a SW;
- b) che la struttura anticlinalica di Cotignola non deforma gli strati più recenti di 1 Milione di anni;
- c) che esiste la possibilità che in zona siano attive strutture tettoniche associate a lunghezze d'onda maggiori dell'anticlinale di Cotignola, e dunque più profonde. Tale possibilità dovrebbe essere esplorata con studi specifici.

## 2 - Osservazioni geomorfologiche a supporto della attività recente della struttura

*The reconstruction of the drainage system made by Gambi (1949) shows progressive attraction of the Senio and Lamone rivers towards each other in an area located around the town of Cotignola; downstream this area the two rivers are progressively shift sideways. The analysis of the rivers channel behaviour constrain (sic!) the position of the syncline and of the anticline.*

Questo è un punto molto importante nella definizione della struttura B. Di conseguenza anche noi cercheremo di verificare queste affermazioni in modo approfondito.

Nei commenti alla scheda, riportati qui sopra, gli autori dichiarano che l'analisi storica dei tracciati dei fiumi mostra un "progressiva attrazione di Senio e Lamone" presso Cotignola. Nel lavoro di Burrato et al. (2003), alcuni degli stessi autori definiscono questo movimento come una firma dell'attività cosismica



dell'anticlinale, in quanto se le strutture si muovessero costantemente (*creep*) di pochi decimi di millimetro l'anno non avrebbero il potenziale per deformare la superficie e quindi deviare il tracciato dei fiumi, dato il tasso di sedimentazione di un ordine di grandezza maggiore. Tanto è vero che la scelta della sorgente B viene fatta associando la ipotizzata "anomalia del drenaggio" dei fiumi Senio e Lamone ai terremoti del 1688. Dunque, nell'ipotesi di Burrato et al. (2003), ripresa nella scheda che stiamo commentando, si fa invece riferimento ad un "improvviso sollevamento cosismico dell'anticlinale e subsidenza della sinclinale" anche per spiegare una piena di poco successiva. Questo concetto risulta dunque in contraddizione con la "progressiva attrazione" dei due fiumi indicati nella scheda.

L'idea di fondo che ha permesso l'identificazione della struttura B da parte degli autori della scheda è la presenza sul Senio e Lamone di un'anomalia del drenaggio (Burrato et al., 2003).

Gli autori dicono di aver utilizzato la pendenza della topografia, anche se presentano solo un esempio a Nord del fiume Po in un contesto di assenza di sedimentazione Olocenica. Nel caso della Romagna la topografia è dominata dalla presenza di dossi fluviali e depressioni che sono l'espressione della sedimentazione recente dei fiumi (oltre 2 m documentati a Cotignola negli ultimi 1000 anni, Marconi et al., 2008). Dunque, nel caso in esame, è la sedimentazione che crea la topografia anche negli ultimi secoli, come si nota nel DEM ad alta risoluzione di figura 4a (da Perini et al., 2017). Qualunque direzione avesse preso un fiume, per motivi naturali o antropici, avrebbe creato una topografia (dosso fluviale) secondo quella direzione. Una successiva diversione secondo orientazioni differenti è destinata a creare una topografia orientata diversamente, e a mascherare i tracciati precedenti nel giro di qualche secolo. La



crescita della topografia fluviale, peraltro, compete con la subsidenza, che tende ad attenuare gli effetti topografici della sedimentazione.

Dalla figura 4a si nota che la maggior parte dei dossi fluviali, come tutta l'idrografia secondaria, sono orientati verso N15E, secondo l'asse dei cardini massimi della centuriazione, che è stata creata a partire dal II secolo a. C. in modo perpendicolare alla Via Aemilia. Alcuni tratti hanno direzione NW, come il Senio a nord di Cotignola. Tuttavia, un attento esame della micromorfologia permette di vedere tracce di drenaggi orientati più verso est. Per capire quale era la reale linea di massima subsidenza, si esamini la figura 5 (da Arca e Beretta, 1985). Si tratta della subsidenza calcolata sulla base delle livellazioni topografiche lungo le dorsali IGM nell'intervallo di tempo 1897 - 1957, sufficiente a minimizzare gli errori di misura. Si tratta di un periodo con scarsa o nulla subsidenza antropica, prima delle perturbazioni legate ad emungimento degli acquiferi e degli idrocarburi, che creano gli "occhi di bue" visibili in tutte le mappe di subsidenza più recenti (si veda Fig. 4b).

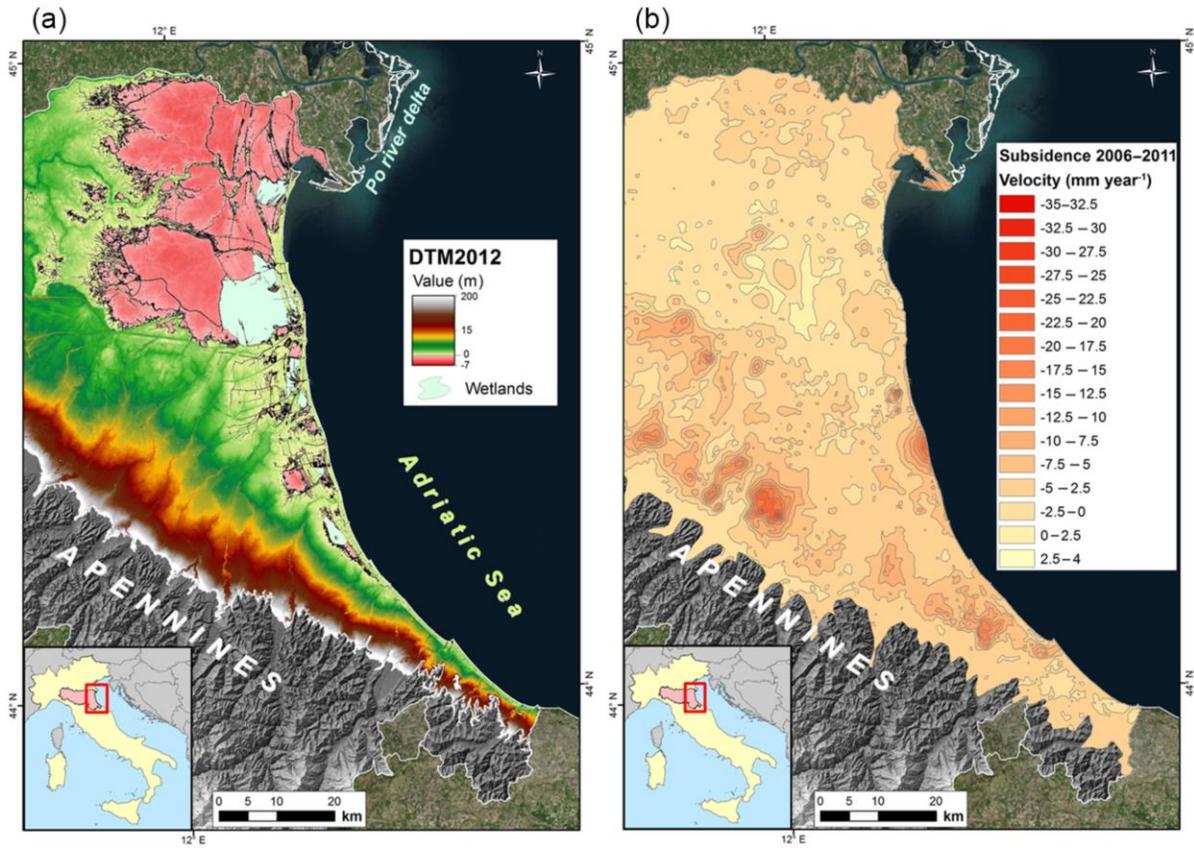


Figura 4a - Topografia e b) subsidenza della Pianura Romagnola da dati InSAR 2006 - 2011 (da Perini et al., 2017).

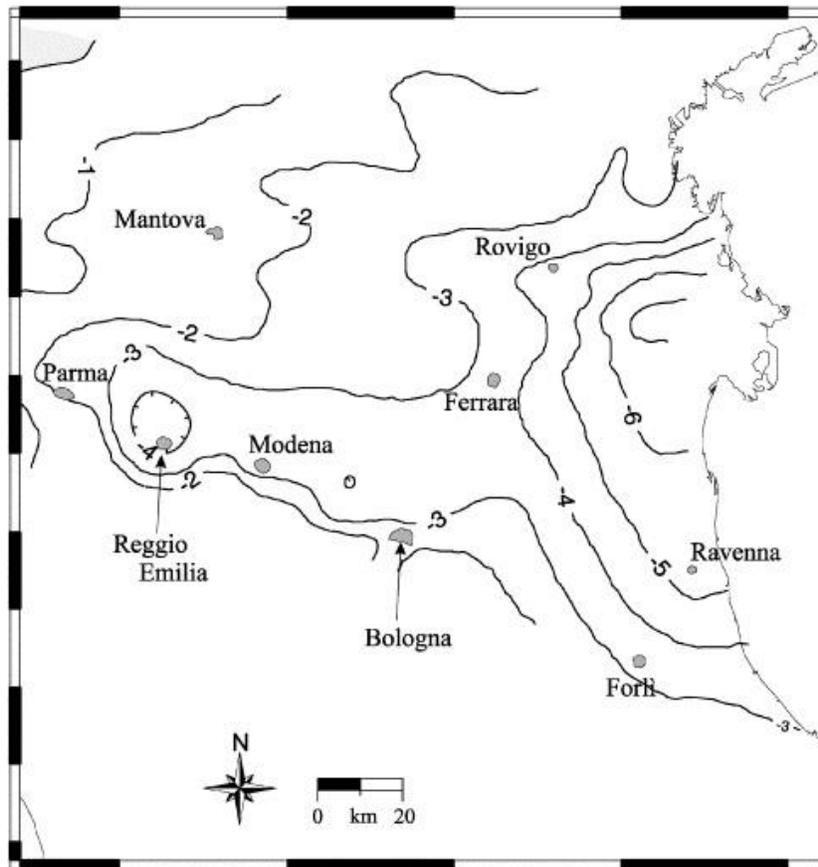


Fig. 5 - Velocità geodetiche in mm/anno basate sulla livellazione delle dorsali IGM nel periodo 1897-1957 (da Arca e Beretta, 1985)

In questa figura 5, i valori assoluti risentono della scelta degli autori di riferire le linee a caposaldo "fisso" posti in collina, dove sappiamo esserci un attivo sollevamento tettonico. Dunque i valori si presentano amplificati di circa 1 mm/anno, che è il valore di sollevamento misurato da GPS nella collina appenninica secondo Serpelloni et al. (2013). Si noti che la subsidenza crea un pendio nella pianura romagnola in direzione circa N55E.

Gli autori della scheda sulla struttura B si basano sull'evoluzione storica del drenaggio di Gambi (1949). Ancora, si tratta di letteratura molto vecchia, che non può tenere conto di tutte le conoscenze prodotte dai geologi e dagli archeologi che hanno lavorato nell'area nei 70 anni successivi. A titolo di esempio, gli antichi tracciati dei fiumi romagnoli sono stati investigati da Veggiani (1975) su basi storico-toponomastiche, da Franceschelli e Marabini (2007) su basi geologico-stratigrafiche ed archeologiche, e da Marconi et al. (2008) su basi sedimentologiche/provenienza delle sabbie.

Diventa fondamentale dunque definire le variazioni storiche del tracciato dei fiumi per capire soprattutto: 1) se i fiumi si sono spostati in seguito al terremoto del 1688, e 2) se si può parlare di "progressiva attrazione di Senio e Lamone".

Le figure successive sono state generate tramite sintesi delle fonti sopra citate e l'analisi dei dossi fluviali ancora visibili nel DEM ad alta risoluzione. I punti salienti di ogni quadro temporale sono riassunti in una serie di tabelle (in appendice) che chiariscono la distribuzione spaziale ed il tipo di dato utilizzato, nonché la fonte.

In figura 6 viene presentato il drenaggio della pianura romagnola in epoca Romana e Bizantina.

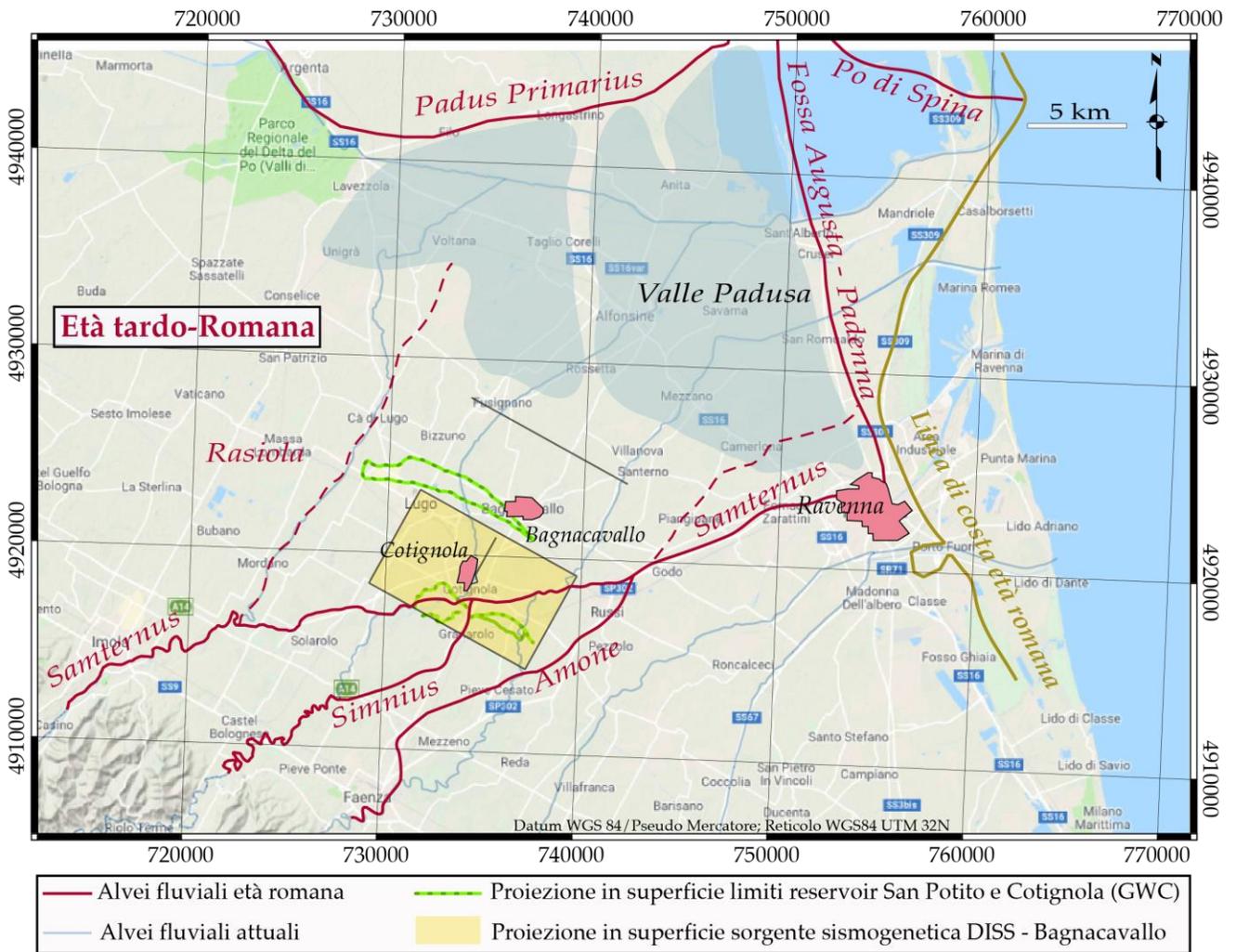


Figura 6 - Ricostruzione dell'andamento in pianta dei fiumi in età tardo Romana. In grigio le paludi. Compilata da varie fonti (vedi Tab. 2)



L'idrografia era dominata dalla presenza del Po di Spina associato a un dosso fluviale molto marcato che, insieme ai cordoni litorali, provocava il ristagno delle valli. Tra i fiumi appenninici, il Santerno, dotato del bacino più ampio e quindi delle portate maggiori, aveva un tracciato trasversale ai cardini massimi. Il Senio ed il Lamone, con tracciati differenti dagli attuali, costituivano affluenti di destra del Santerno, le cui acque arrivavano a lambire la città di Ravenna, ed erano canalizzate per il fossato delle mura e gli usi civili. Inoltre esisteva una connessione da nord (Po di Spina) ad opera di un canale artificiale, detto Fossa Augusta. Si noti come l'andamento dei fiumi fosse molto più orientato verso Est rispetto all'attuale, e come questa direzione si avvicini a quella di massima pendenza della subsidenza riportata in figura 5. In dettaglio su Cotignola, si può notare che il tratto orientato N50E dell'attuale Senio e Lamone corrisponda all'antico tracciato del Santerno romano. Alcuni autori (Franceschelli e Marabini, 2007) non concordano con la connessione tra Russi e Ravenna del Santerno, che ipotizzano più settentrionale. Il tracciato proposto in figura 6 si basa sulla presenza di un dosso fluviale relitto e su Veggiani (1975).

Nell'alto Medioevo (Fig. 7) la situazione geografica cambia notevolmente a causa dell'avulsione del Po, con la formazione del ramo chiamato Po di Primaro.

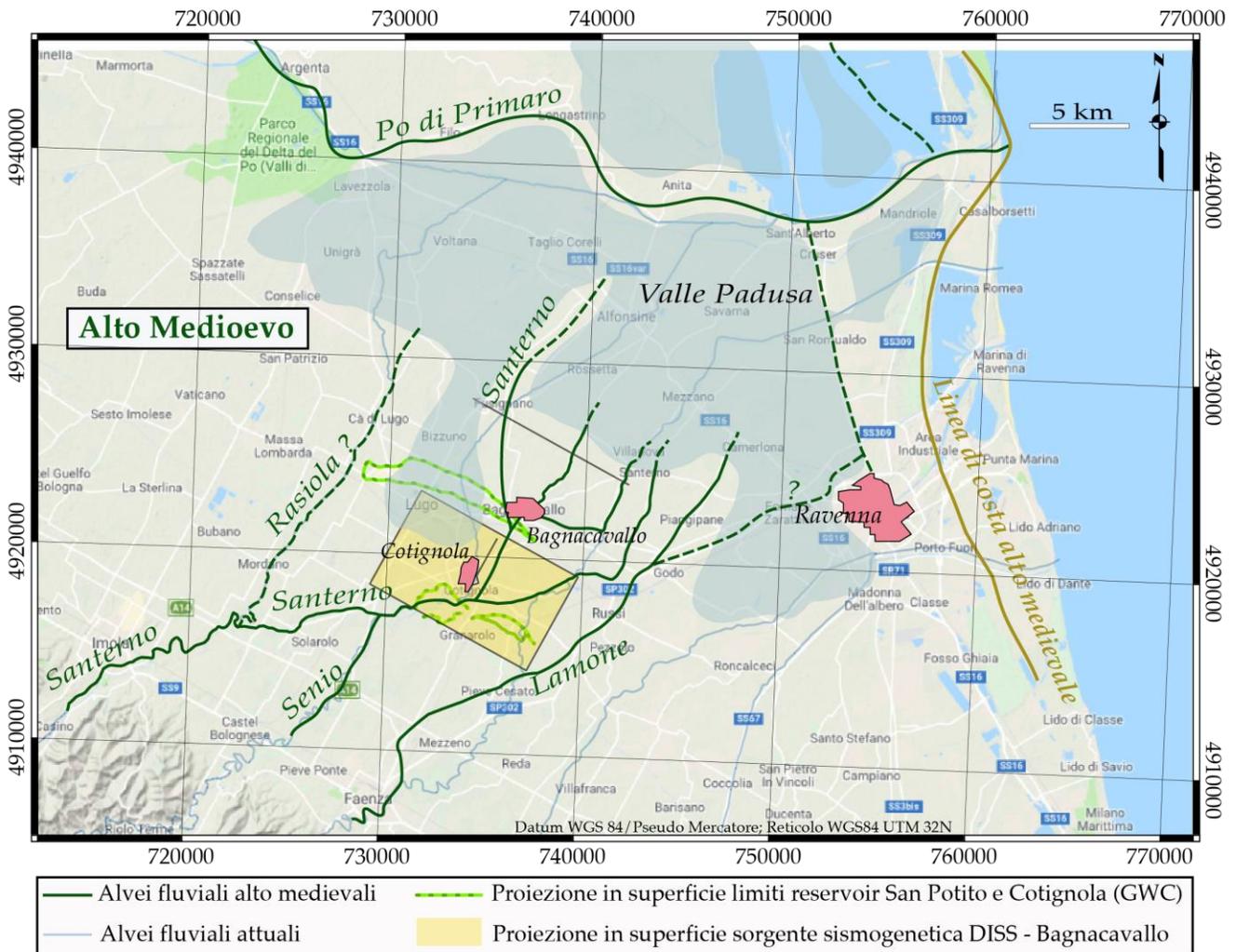


Figura 7 - Ricostruzione dell'andamento in pianta dei fiumi in età Alto Medioevo. In grigio le paludi. Compilata da varie fonti (vedi Tab. 3).

In conseguenza di questo fatto, la fascia delle paludi si sposta verso sud, andando ad impensierire gli antichi castra bizantini come castrum Tibericum, ancora chiamato così nel VIII secolo. Quest'ultimo viene invece chiamato Balneocaballum nel X secolo, come ancora oggi, per la presenza di un ramo del Santerno che attraversava il castrum e costringeva al guado. Questo fiume infatti viene deviato verso N15E



all'altezza di Cotignola, con la creazione di un canale che si diramava verso le paludi (Fig.7). L'analisi dei sedimenti (Marconi et al., 2008) documenta anche la presenza di un ramo del Santerno attivo anche ad ovest dell'attuale Fusignano (non ancora presente all'epoca in quanto fondata intorno al 1250). Il Santerno proseguiva ancora oltre Cotignola, ma veniva piegato in direzione dei cardini massimi fino al villaggio ancora oggi chiamato Santerno. Nell'insieme, queste diversioni verso N15E non hanno niente di naturale, seguono quasi tutte le direzioni dei cardini massimi (ad est di Bagnacavallo, si noti un tratto parallelo ai decumani) e permettono alle acque del Santerno di portare sedimento verso le paludi, in un efficace tentativo di contrastare lo spostamento delle paludi verso sud.

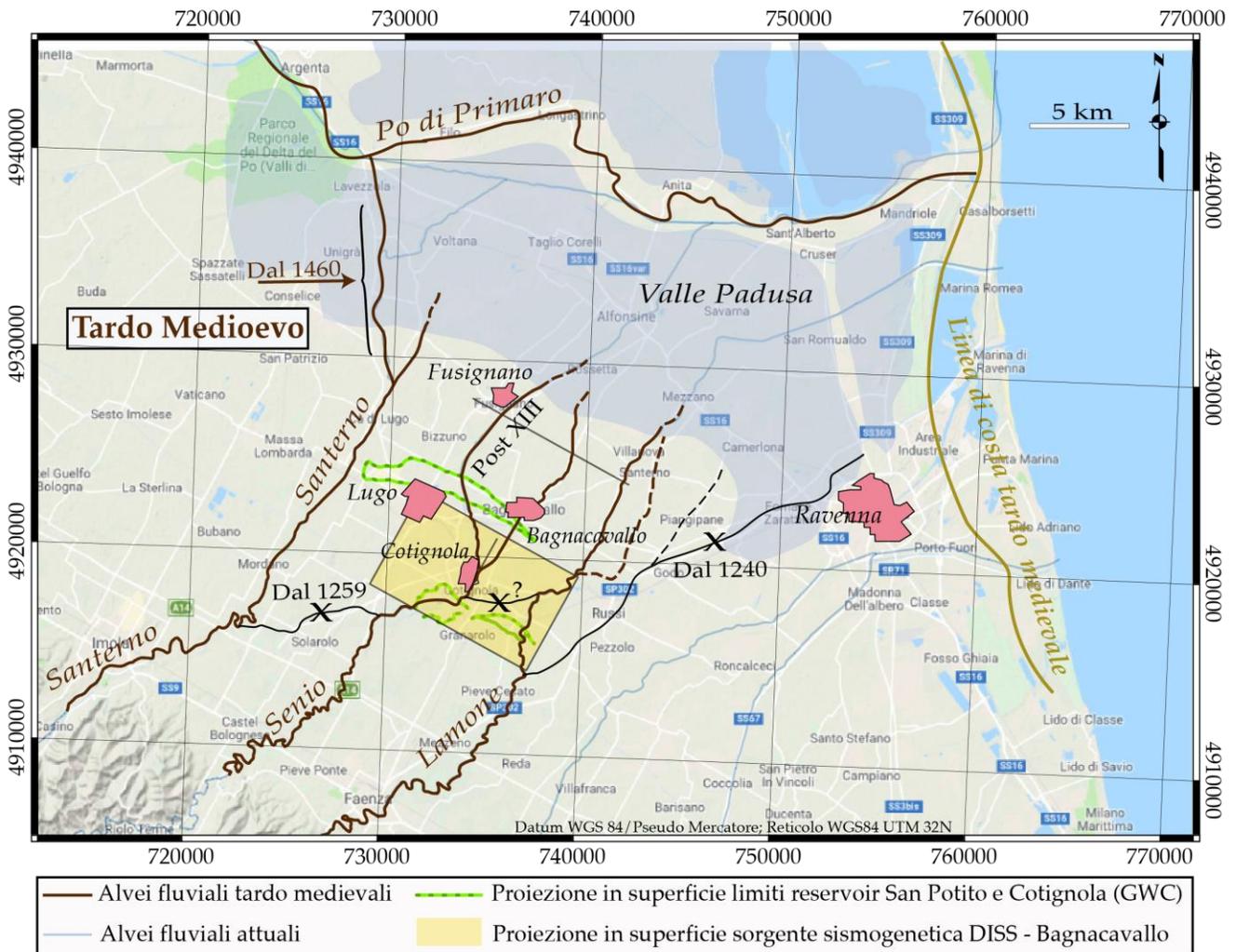


Figura 8 - Ricostruzione dell'andamento in pianta dei fiumi in età Tardo Medioevo. In grigio le paludi. Compilata da varie fonti (vedi Tab. 4).

In epoca tardo medievale (Fig. 8), a partire dal 1259, in seguito alla disastrosa piena con la distruzione dei villaggi a sud di Lugo (Tabanelli, 1972), viene disattivato il ramo est del Santerno che viene indirizzato lungo il corso NE detto Rasiola e, successivamente (1460), innestato nel Po di Primario. I vecchi tratti del Santerno sono utilizzati dal Senio, tra Solarolo e Cotignola, e dal Lamone tra Cotignola e Russi. Il bordo



meridionale delle paludi della Valle Padusia si sposta verso nord a dimostrazione dell'efficacia sedimentaria dei canali orientati N15E.

In conclusione della parte di geomorfologia fluviale possiamo affermare che i tracciati del Senio e del Lamone rappresentano una sintesi delle vicende naturali ed antropiche che hanno trasformato i tracciati dei fiumi romagnoli a partire da un corso di età romana verso N50E, di cui restano alcuni residui tratti, mentre i tratti in direzione N15E e NW rappresentano canalizzazioni altomedievali, probabilmente effettuate per colmare le paludi della Valle Padusia. Non si può dunque parlare di "progressiva attrazione" di Senio e Lamone. Inoltre, si può provare che i tracciati moderni del Senio e del Lamone furono acquisiti tra il XIII ed il XV secolo, dunque molto prima del terremoto del 1688. I dati presentati smentiscono una relazione tra spostamenti di tracciato dei fiumi Senio e Lamone ed il terremoto del 1688.

### 3 - Piene associate al terremoto

*Ferrari et al. (1985) and Boschi et al. (1997) report the occurrence of floods of the Senio and Lamone rivers in the Cotignola area about ten days after the earthquake. These accounts are consistent with sudden coseismic uplift of the anticline and subsidence of the syncline driven by the blind thrust fault.*

Gli autori ritengono questo dato "coerente" con un quadro di deformazione cosismica.

Secondo il nostro parere, non esiste alcuna coerenza o possibile correlazione tra il terremoto e la piena citata, dato che si tratta di singoli eventi di cui non si conosce la distribuzione statistica. Se dei



terremoti non conosciamo i tempi di ricorrenza, per le piene possiamo cercare una frequenza riferendoci ai dati del periodo 1937-1997 (60 anni), ove, in presenza di argini artificiali di quasi 10 m in pianura, il Senio ha esondato 7 volte in seguito a piene con portate di picco comprese tra 110 e 400 m<sup>3</sup>/s, che hanno creato ristagni in ampie aree attorno al fiume (Artina et al., 1997; si veda Fig. 9).

La piena citate dagli autori della scheda non è certo l'unica o la più importante tra quelle citate dalle fonti storiche. A titolo di esempio, il territorio a sud di Lugo, nei fondi dei conti Cunio, fu colpito da una devastante inondazione intorno al 1250, ben prima del terremoto, con la conseguente distruzione di villaggi ed il loro abbandono. La popolazione fu spostata a Nord dove fu fondata l'attuale Fusignano (Tabanelli, 1972; Fig. 8). Da notare il fatto che il territorio a sud di Lugo corrisponde alla culminazione dell'anticlinale di Cotignola nel sottosuolo. Dunque non sembra esserci una selettività areale delle inondazioni rispetto all'anticlinale sepolta di Cotignola.

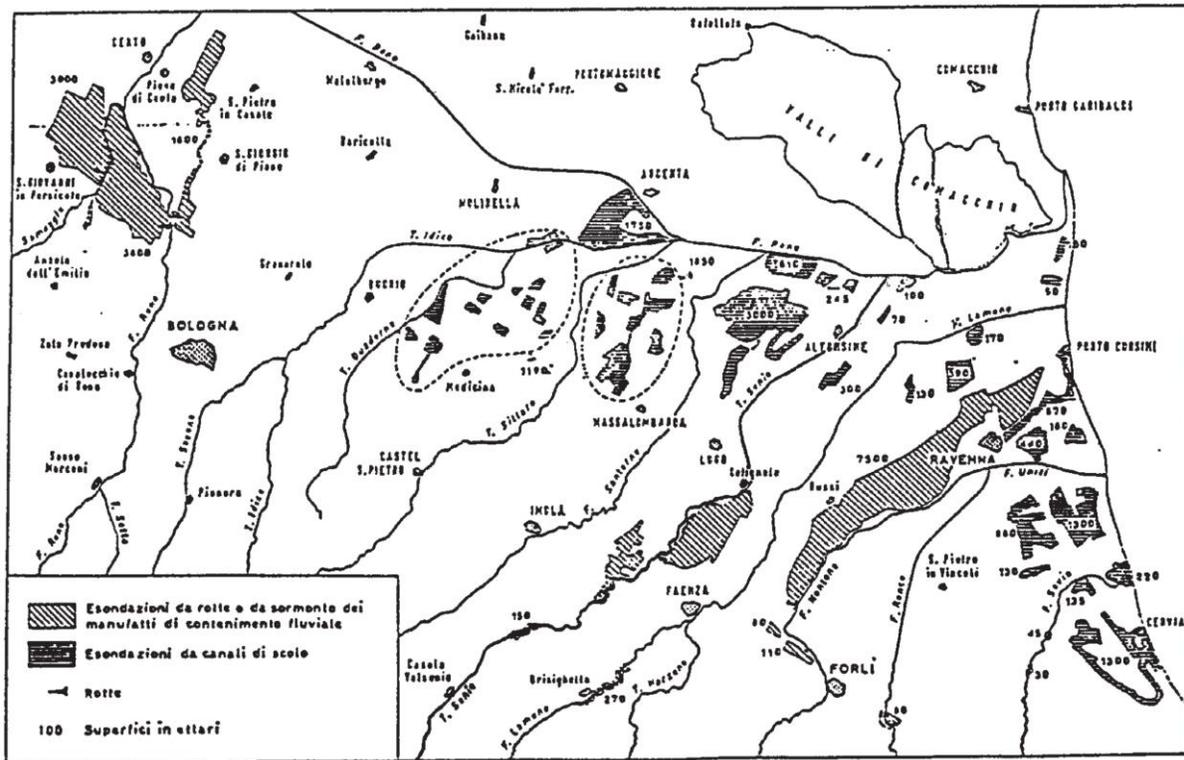


Figura 9 - Distribuzione aree alluvionate in seguito all'evento di novembre 1966 nel bacino del Fiume Reno (da Artina et al., 1997).

In conclusione di questo paragrafo, riteniamo non si possa parlare di coerenza o correlazione tra il terremoto e una piena fluviale. La frequenza delle piene recenti, circa ogni 10 anni, rende particolarmente improbabile una correlazione con i sismi, i cui tempi di ricorrenza non sono noti, ma sono ritenuti dagli stessi autori della scheda di  $\approx 3333 - 10000$  anni.

#### 4 - Slip rates



Nelle informazioni parametriche riportate in tabella 1, gli autori propongono *slip rates* compresi tra 0.1 e 0.3 mm/anno, riferendosi a dati di letteratura provenienti da Maesano et al. (2015). Riteniamo alcuni aspetti di quest'ultimo lavoro particolarmente sfortunati, sia per l'imprecisione di localizzazione e/o di geologia delle sezioni geologiche, sia per la scelta di basare le stime deformative su sezioni idrogeologiche edite nel 1998, ancora una volta modelli interpretativi e non dati oggettivi. Ma il problema maggiore del lavoro di Maesano et al. (2015) è nella approssimazione dei parametri usati nella definizione della compattazione dei sedimenti. Infatti, la definizione litologica, invece di essere sito-specifica e basata su stratigrafie reali, è assunta a priori come una omogenea miscela di sabbia e fango al 50%, in spregio alle variazioni stratigrafiche laterali e verticali. Inoltre, la decompattazione è fatta solo per il Pliocene e Pleistocene, tralasciando il contributo del Miocene. Infine, Maesano et al. (2015) non hanno tenuto conto della mancata compattazione di orizzonti mineralizzati/pressurizzati presso le anticlinali, con conseguente sovrastima della componente tettonica nelle anticlinali.

Un problema altrettanto grave di questo lavoro, nella scelta fatta per definire gli *slip rates* di Bagnacavallo, è il fatto che la struttura sismogenetica per cui Maesano et al. (2015) hanno proposto una stima, non è la sorgente B, ma una differente posta a oltre 15 km verso SE (si veda Fig. 1b per la localizzazione).

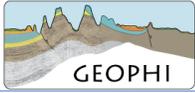
Per questi motivi, si ritiene che gli *slip rates* proposti per la struttura B non siano validi, a causa delle assunzioni arbitrarie e della mancanza di dati, nonché al riferirsi ad una struttura differente da quella dello studio Maesano et al. (2015).



## 5 - Conclusioni

In conclusione della verifica dei dati e delle affermazioni presenti nella scheda della sorgente sismica Bagnacavallo del DISS possiamo affermare i seguenti fatti:

- Al contrario di quanto ipotizzato da Burrato e coautori della scheda, la struttura principale al di sotto dell'anticlinale di Cotignola è un thrust cieco immergente a NE (retroscorrimento), che rimaneggia precedenti, più piccole e più superficiali strutture immergenti a SW.
- La struttura anticlinalica di Cotignola non deforma gli strati più recenti di 1 Milione di anni.
- Esiste la possibilità che nell'area siano attive strutture tettoniche associate a lunghezze d'onda maggiori dell'anticlinale di Cotignola, e dunque più profonde. Tale possibilità dovrebbe essere esplorata con studi specifici.
- Data la storia nota dei tracciati dei fiumi, non si può parlare di "progressiva attrazione" di Senio e Lamone. Inoltre, si può provare che i tracciati moderni del Senio e del Lamone furono acquisiti tra il XIII ed il XV secolo, dunque molto prima del terremoto del 1688.
- I dati presentati smentiscono una relazione tra gli spostamenti del tracciato dei fiumi Senio e Lamone ed il terremoto del 1688.
- Non riteniamo coerente proporre una correlazione tra il terremoto del 1688 e una piena fluviale ad esso successiva, in assenza di una valida distribuzione statistica di entrambi gli eventi.
- Gli *slip rates* proposti per la sorgente Bagnacavallo sono stati definiti per un'altra struttura, posta 15 km a sudest da un lavoro scientifico viziato da assunzioni generiche ed imprecisioni.



## Bibliografia

Arca, S., Beretta, G.P., 1985. Prima sintesi geodetico-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia Settentrionale (1897- 1957). Boll. Geod. Sc. Aff. 44, 125-156.

Artina, S., Bizzarri, A., Lamberti, A., Todini, E., 1997. Studio idraulico del torrente Senio nel tratto compreso tra la localita' Isola e la foce in Reno: verifica delle condizioni di deflusso in piena e proposte di intervento. Università degli Studi di Bologna, DISTART, 200 pp.

Bigi, G., Cosentino, D., Parotto, M., Sartori, R., Scandone, P., 1990. Structural model of Italy 1:500000, sheet 1. SELCA, Firenze.

Boccaletti, M., Corti, G., Martelli, L., 2011. Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines (Italy). International Journal of Earth Sciences, 100 (6), pp. 1331-1348.

Burrato, P., Ciucci, F., Valensise, G., 2003. An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: Evidence for active blind thrust faulting. Annals of Geophysics, 46 (5), pp. 865-882

Cani, N., 2017. *Santi, guerrieri e contadini*, Il Ponte Vecchio, Cesena, pag. 111.

Calderoni, G., Di Giovambattista, R., Burrato, P., Ventura, G., 2009. A seismic sequence from Northern Apennines (Italy) provides new insight on the role of fluids in the active tectonics of accretionary wedges. Earth and Planetary Science Letters, 281 (1-2), pp. 99-109.

Carcano, C., Livraghi, L., Nerby, A., Rogledi, S., Terazzi, F., 2007 Campi di Cotignola e S. Potito. Interpretazione congiunta geologico - geofisica. Rel. ESEI n. 0/200, San Donato Milanese.



Cassano, E., Anelli A., Fichera R., Cappelli V., 1986. Pianura Padana: interpretazione integrata di dati geologici e geofisici, in *Proceedings of the 73° Meeting of the Società Geologica Italiana, September 29-October 4, 1986, Rome, Italy*, pp. 27.

Donati, L., 2008. Idrografia antica nella pianura ravennate, Faenza, Stefano Casanova Editore.

Fantoni R. and Franciosi R., 2010. Mesozoic extension and Cenozoic compression in Po Plain and Adriatic foreland. In: Sassi F.P. (Ed.). *Nature and Geodynamics of the Lithosphere in Northern Adriatic*, Rendiconti Fisica Accademia Lincei, **21** (Suppl. 1): 197-209, DOI: 10.1007/s12210-010-0102-4.

Franceschelli, C., Marabini, S., 2007. Lettura di un territorio sepolto. La pianura Lughese in età Romana. Studi e Scavi nuova serie n. 17, Ante Quem. 222 pp.

Molinari, I., Argnani, A., Morelli, A., Basini, P., 2015. Development and testing of a 3D seismic velocity model of the Po Plain sedimentary basin, Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105 (2), pp. 753-764.

Maesano, F.E., D'Ambrogi, C., Burrato, P., Toscani, G., 2015. Slip-rates of blind thrusts in slow deforming areas: Examples from the Po Plain (Italy). *Tectonophysics*, 643, pp. 8-25.

Marconi, V., Franceschelli, C., Marabini, S., Vai, G., Zuffa, G.G., 2008. Provenance of the Cotignola quarry sands (Northern Apennines) as a tool for palaeogeographical studies on the action of Senio and Santerno rivers in the Romagna floodplain. *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 21 (1), pp. 139-146.

Nanetti, A e Giberti, M, 2014. Viabilità e insediamenti nell'assetto territoriale di Imola nel Medioevo, Imola, La Mandragora, p. 87.



Negri, A., Sabbatini, A., Picotti, V. Ponza, A. e D'Oriano, F., 2014 Biostratigrafia integrata dei pozzi San Potito e Cotignola Cluster A, B e C. Implicazioni geologiche. Relazione Geophi - Edison, 68 pp.

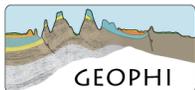
Pieri, M., Groppi G., 1981. Subsurface geological structure of the Po Plain, CNR, *P.F. Geodin.*, Publication n.414, 278-286.

Serpelloni, E., Faccenna, C., Spada, G., Dong, D., Williams, S.D.P., 2013 Vertical GPS ground motion rates in the Euro-Mediterranean region: New evidence of velocity gradients at different spatial scales along the Nubia-Eurasia plate boundary *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118 (11), pp. 6003-6024.

Tabanelli, M., *Romagna medievale. I conti di Cunio e di Barbiano*, Longo, Faenza 1972, p. 51.

Veggi, L., A. Roncuzzi, *Ricerche di topografia antica nei territori di Lugo e di Bagnacavallo*, in *Studi Romagnoli*, XXI, 1970, 3-18

Veggiani, A., 1975. Le vicende idrografiche del Santerno da Imola al mare nell'antichità. *Studi Romagnoli*, XXVI, 3 - 21.



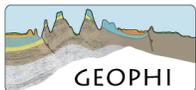
## Tabelle riassuntive

GEOMORFOLOGIA DEL FIUME	FONTE	CONFERMA
Corso del ramo sud del Po, "Vatrenus" che si gettava nel Po di Spina	Plinio il Vecchio I. Sec. d. C.	- Evidenza topografica del dosso fluviale
Esistenza ramo est del Samternus	-Tavola Peutingeriana - Veggiani, 1975 -Marconi et al., 2008	- Analisi stratigrafiche lungo la via San Bartolo (Castelnuovo di Solarolo) - Evidenza topografica del dosso fluviale - Provenienza sabbie a Cotignola e Fusignano
Esistenza ramo nord del Samternus detto Vaternus o Rasiola	<i>Epigrammata</i> di Marziale (I sec d.C.)	Descrizione di un viaggio a nord di Imola
Ramo est del Santerno, riceve acque del Senio a sud di Cotignola, prosegue verso ENE e sfocia a lato di Ravenna.	Veggiani, 1975.	- evidenza topografica dei dossi fluviali a ENE di Russi
Esistenza della fossa Augusta (Padenna), canale di collegamento tra i fossati della città di Ravenna (in cui confluivano acque del Lamone) ed il Vatrenus, in zona valli di Comacchio, Po di Spina.	Veggiani, 1975 Franceschelli e Marabini, 2007	

Tabella 2. Fonti ed eventuali dati a supporto della ricostruzione dei fiumi in età tardo-Romana.

GEOMORFOLOGIA DEL FIUME	FONTE	CONFERMA
Tratto del Santerno a nord di Cotignola e Bagnacavallo e spaglio nelle valli poco ad ovest di Fusignano;	-Franceschelli e Marabini, 2007. - Marconi et al., 2008.	Analisi stratigrafiche; evidenza di un canale fluviale assai sviluppato ad ovest di Fusignano. Provenienza sabbie a Cotignola e Fusignano
Rami del Santerno nell'attuale Canale Naviglio di Bagnacavallo, Fiumazzo di Russi ed in direzione nord attraverso l'abitato di Santerno (attestato tra il 942 ed il 1153;	-Franceschelli e Marabini, 2007.	
Lamone distolto dalle mura di Ravenna intorno all'anno Mille: passaggio a nord della città;		
Tratto montano-pedecollinare del Senio fatto confluire nel ramo est del Santerno, tale da assumere, almeno fino all'altezza di Cotignola, andamento simile all'attuale;	-Franceschelli e Marabini, 2007; -Donati, 2008;	

Tabella 3 - Fonti ed eventuali dati a supporto della ricostruzione dei fiumi in età alto medievale.



GEOMORFOLOGIA DEL FIUME	FONTE	CONFERMA
Disattivazione del ramo est del Santerno nei pressi di San Prospero ed intera portata del fiume confluyente nell'alveo nord del Santerno (Rasiola in età romana);	-Cani, 2017; -Franceschelli e Marabini, 2007; - Tabanelli, 1972; - Donati, 2008 -Nanetti e Giberti, 2014;	Mappa in una pergamena del 1259.
1460: deviazione del Santerno ad opera degli Estensi, facendolo confluire nel Po di Primaro a valle di Bastia,	Veggi e Roncuzzi, 1970;	
Chiusura del tratto del Lamone tra Russi a Ravenna attorno al 1240 (Federico II di Svevia?). All'altezza di Cotignola e Russi, il Lamone fu deviato e immesso nell'antico letto del Santerno, per poi entrare nel territorio di Bagnacavallo e proseguire in direzione nord, con andamento complessivo simile all'attuale.	Franceschelli e Marabini, 2007.	

Tabella 4 - Fonti ed eventuali dati a supporto della ricostruzione dei fiumi in età tardo medievale.

## **ALLEGATO 3**

**Relazione monitoraggio microsismico nel periodo  
luglio - novembre 2017**

***Edison Stoccaggio S.p.A.***

***Relazione dell'attività di monitoraggio  
microsismico svolto presso la concessione San  
Potito e Cotignola Stoccaggio nel periodo 13  
luglio - 6 novembre 2017***

Oggetto: Rete microsismica provvisoria San Potito – Report luglio-novembre 2017

Cliente: EDISON STOCCAGGIO S.p.a.

ref

S17MN03

Autore

Date

Chiara Cocorullo

20 November 2017

Checked By

date

Filippo Di Fronzo – Stefano Limonta

20 November 2017

Cod.

Version

S17MN03

Rev. 0 - 20 November 2017

Solgeo S.r.l.

via Pastrengo 9

24068 Seriate (BG)- Italy

Tel. +39035 4520075

[www.solgeo.it](http://www.solgeo.it) e\_mail [info@solgeo.it](mailto:info@solgeo.it)



## Versione

COD	NOTE
<b>Rev. 00 – Novembre 2017</b>	1 <sup>a</sup> Emissione

## Indice

1. INTRODUZIONE .....	6
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE – DESCRIZIONE DEL SITO.....	7
2.1. Inquadramento geologico-strutturale.....	7
3. DESCRIZIONE DELLA RETE .....	9
3.1. Descrizione della strumentazione .....	12
4. OPERATIVITÀ DELLA RETE SISMICA – INTERVENTI E/O SOSTITUZIONI .....	12
4.1. Copertura dei dati.....	12
5. PROCESSING DEI DATI: IDENTIFICAZIONE E LOCALIZZAZIONE DEGLI EVENTI SISMICI.....	15
5.1. Pre-analisi .....	15
5.2. Analisi .....	17
5.3. Eventi interni ai Domini di rilevazione.....	19
6. SCHEDE MONOGRAFICHE .....	24
6.1. SP01 (Dominio Interno) .....	24
6.2. SP05 (Dominio Interno) .....	26
6.3. SP06 (Oltre il Dominio Esteso).....	28
6.4. SP08 (Oltre il Dominio Esteso).....	30
6.5. SP09 (Oltre il Dominio Esteso).....	32
6.6. SP11 (Dominio Esteso).....	34
APPENDICE A .....	36
APPENDICE B .....	37
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA .....	38

Figura 1: Sezione sismica regionale (SW-NE) attraverso l'alto di Cotignola (fonte ENI).....	8
Figura 2: Mappa di pericolosità sismica nazionale (a sinistra) e ingrandimento sui comuni in cui ricade la concessione San Potito e Cotignola Stoccaggio e sui comuni limitrofi. ....	9
Figura 3: Proiezione in superficie dei Domini di Rilevazione (in giallo il DE, in verde il DI) e dei giacimenti di San Potito e Cotignola (in rosso).....	10
Figura 4: Posizioni individuate per l'installazione delle stazioni microsismiche. ....	11
Figura 5: Percentuale di funzionamento di ogni stazione, per ogni mese. ....	14
Figura 6: SEISMOSCAN - finestra di dialogo per il settaggio del tipo di analisi e dei parametri per la fase di detection degli eventi sismici.....	17
Figura 7: Rete provvisoria ed evento sismico localizzato al di fuori del DE ma il cui epicentro ricade nel DE. ...	20
Figura 8: Segnale di velocità registrato dalla stazione SP11 il 13 agosto 2017 dalle 20:53:30 alle 20:54:57 .....	23
Figura 9: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Spostamento.....	21
Figura 10: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Velocità. ....	21
Figura 11: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Accelerazione.....	22
Figura 12: Localizzazione dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC .....	22
Figura 13: SP01 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. ....	24
Figura 14: Stazione SP01.....	25
Figura 15: SP05 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. ....	26
Figura 16: Stazione SP05.....	27
Figura 17: SP06 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. ....	28
Figura 18: Stazione SP06.....	29
Figura 19: SP08 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. ....	30
Figura 20: Stazione SP08.....	31
Figura 21: SP09 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. ....	32
Figura 22: Stazione SP09.....	33
Figura 23: SP11 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. ....	34
Figura 24: Stazione SP11.....	35

## Indice delle tabelle

Tabella 1: Dettaglio delle stazioni della rete provvisoria San Potito e Cotignola. ....	11
Tabella 2: Dettaglio operatività rete monitoraggio. ....	14
Tabella 3: Parametri utilizzati in fase di detection .....	16
Tabella 4: Modello di velocità .....	19
Tabella 5: Evento sismico localizzato al di fuori del DE ma il cui epicentro ricade nel DE.....	19
Tabella 6: SP01: Informazioni generali. ....	25
Tabella 7: SP05: Informazioni generali. ....	26
Tabella 8: SP06: Informazioni generali. ....	28
Tabella 9: SP08: Informazioni generali. ....	30
Tabella 10: SP09: Informazioni generali. ....	32
Tabella 11: SP11: Informazioni generali. ....	34

## Abbreviazioni

DI	Dominio Interno
DE	Dominio Esteso
LG	Linee guida MISE
SW	Software
SNR	Signal to Noise Ratio
UTC	Coordinated Universal Time
WGS84	World Geodetic System 1984

## 1. INTRODUZIONE

Edison Stoccaggio ha completato la fase di progettazione della rete di monitoraggio microsismico sulla concessione di San Potito e Cotignola Stoccaggio (Ra), in conformità con quanto previsto dal documento *“Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell’ambito delle attività antropiche”* [1] (da qui in avanti LG), redatto nel 2014 dal Gruppo di Lavoro istituito dalla Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie (CIRM) del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE).

La progettazione della rete microsismica [2] è stata eseguita dalla ditta SOLGEO srl in coordinamento con l’Università di Bologna.

Il progetto prevede 15 stazioni di misura: 5 nel Dominio Interno, 5 nel Dominio Esteso e 5 oltre il Dominio Esteso. A causa del forte rumore antropico presente in superficie, 8 delle 15 stazioni verranno installate in appositi pozzi in modo da migliorare la capacità di rilevazione degli eventi sismici e raggiungere la magnitudo di completezza prevista nelle LG per il Dominio Interno ( $0 \leq M_L \leq 1$ ).

Per anticipare il rilevamento della microsismicità dell’area, in attesa dell’installazione della rete definitiva, tra giugno e settembre 2017 sono state provvisoriamente installate 6 stazioni sismometriche di superficie.

Il presente documento prende in esame i dati registrati dalle sei stazioni microsismiche della rete provvisoria [3] nel periodo luglio-novembre 2017, espone le metodologie di analisi impiegate e presenta i risultati ottenuti in conformità con quanto richiesto dalle LG.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE – DESCRIZIONE DEL SITO

La Concessione di stoccaggio gas naturale denominata San Potito e Cotignola Stoccaggio, ottenuta dalla società Edison Stoccaggio S.p.A. con Decreto Ministeriale in data 24 aprile 2009, interessa un'area di 51,76 km<sup>2</sup> localizzata in provincia di Ravenna e compresa nei comuni di Bagnacavallo, Cotignola, Lugo, Castel Bolognese, Faenza e Solarolo.

Essa contiene il giacimento di San Potito a nord, e quello di Cotignola a sud.

Il volume oggetto del monitoraggio racchiude il livello BB1 del giacimento di San Potito e i livelli B e CC1 del giacimento di Cotignola. I livelli minerari adibiti allo stoccaggio sono presenti entro le quote 1650-2000 m s.l.m (livello BB1 di San Potito) e 750-1200 m s.l.m. (livelli B e CC1 di Cotignola).

Per i dettagli relativi all'inquadramento minerario dei giacimenti si rimanda alla progettazione della rete [2].

### 2.1. Inquadramento geologico-strutturale

La struttura tettonica di Cotignola è costituita da un'anticlinale di rampa a vergenza pro-grada (verso NE) e dai suoi margini (Figura 1). 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 retroscorrimento 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 anticlinale le successioni grossolane depostesi sul fianco meridionale durante il Messiniano superiore e Pliocene inferiore.

Per i dettagli dell'inquadramento geologico si rimanda alla progettazione della rete di monitoraggio [2].

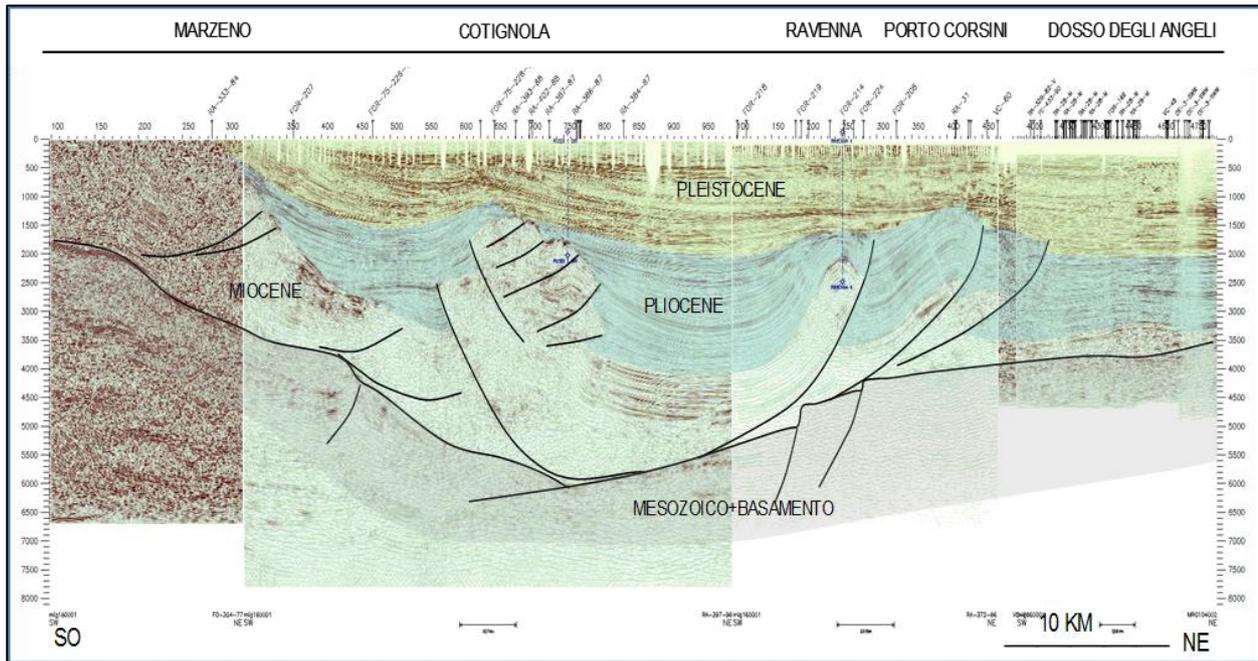


Figura 1: Sezione sismica regionale (SW-NE) attraverso l'alto di Cotignola (fonte ENI)

Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*, i Comuni interessati dalla Concessione sono stati classificati alla zona sismica 2. L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006 n. 3519, *“Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”* ha fissato i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale di cui sopra. Il valore di pericolosità sismica del territorio dell'area, così come individuato dall'INGV, è compreso tra 0,175 e 0,200 g con una probabilità del 10% in 50 anni.

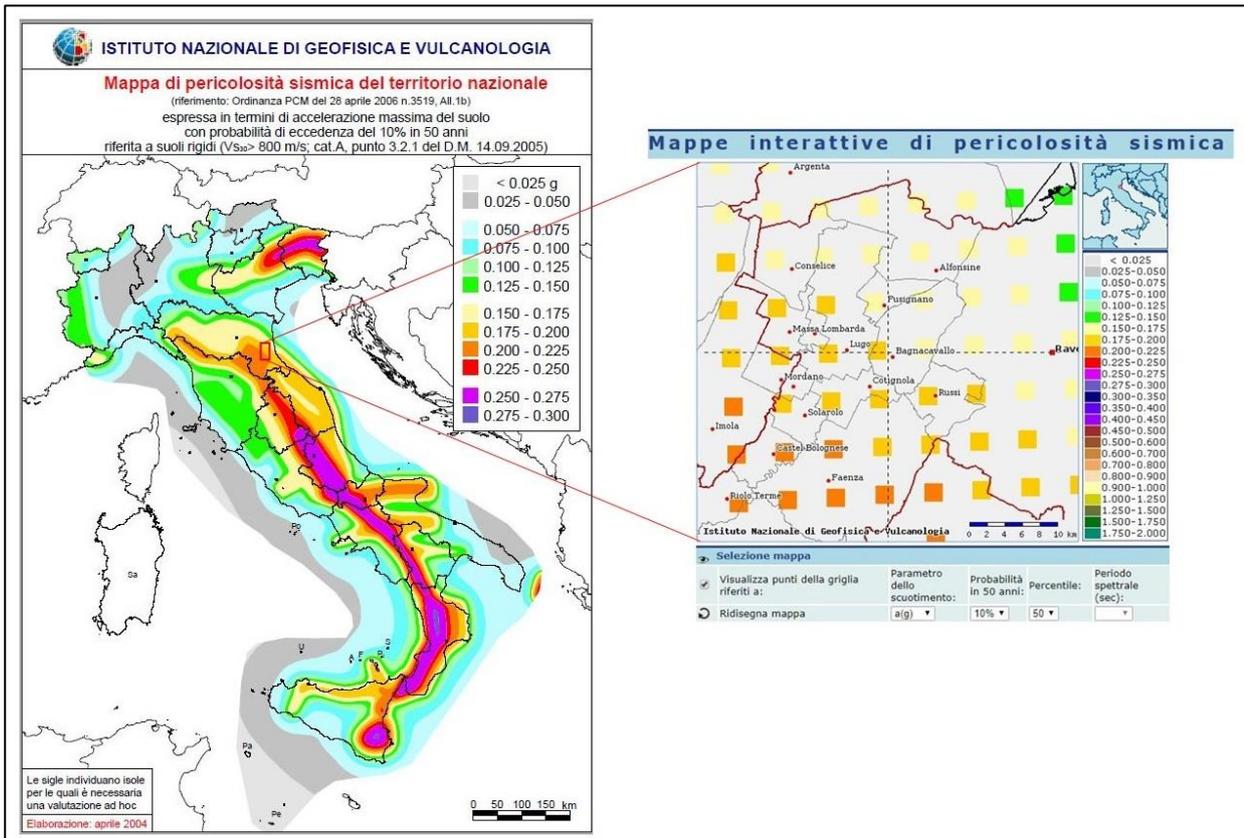


Figura 2: Mappa di pericolosità sismica nazionale (a sinistra) e ingrandimento sui comuni in cui ricade la concessione *San Potito e Cotignola Stoccaggio* e sui comuni limitrofi.

Mappa estratta dal sito [esse1-gis.mi.ingv.it](http://esse1-gis.mi.ingv.it)

### 3. DESCRIZIONE DELLA RETE

Sulla base delle indicazioni delle LG e tenendo conto degli aspetti sismologici e della pericolosità di base, sono stati individuati i Domini di rilevazione nel seguente modo:

- Il Dominio Interno comprende i giacimenti di San Potito (a nord) e di Cotignola (a sud) e una fascia larga poco più di 2 km (che li circonda); la sua proiezione in superficie è costituita da due aree di dimensioni  $12 \times 5 \text{ km}^2$  e  $11 \times 5 \text{ km}^2$  circa; esso si estende fino a una profondità di circa 7 km.
- il Dominio Esteso si estende, oltre il Dominio Interno, per una fascia ampia poco più di 5 km. La sua definizione è atta a definire e contestualizzare al meglio i fenomeni monitorati. Si estende fino a una profondità di circa 15 km.

In Figura 3 sono rappresentate le proiezioni in superficie dei Domini di Rilevazione e dei giacimenti di San Potito, a nord, e Cotignola, a sud.

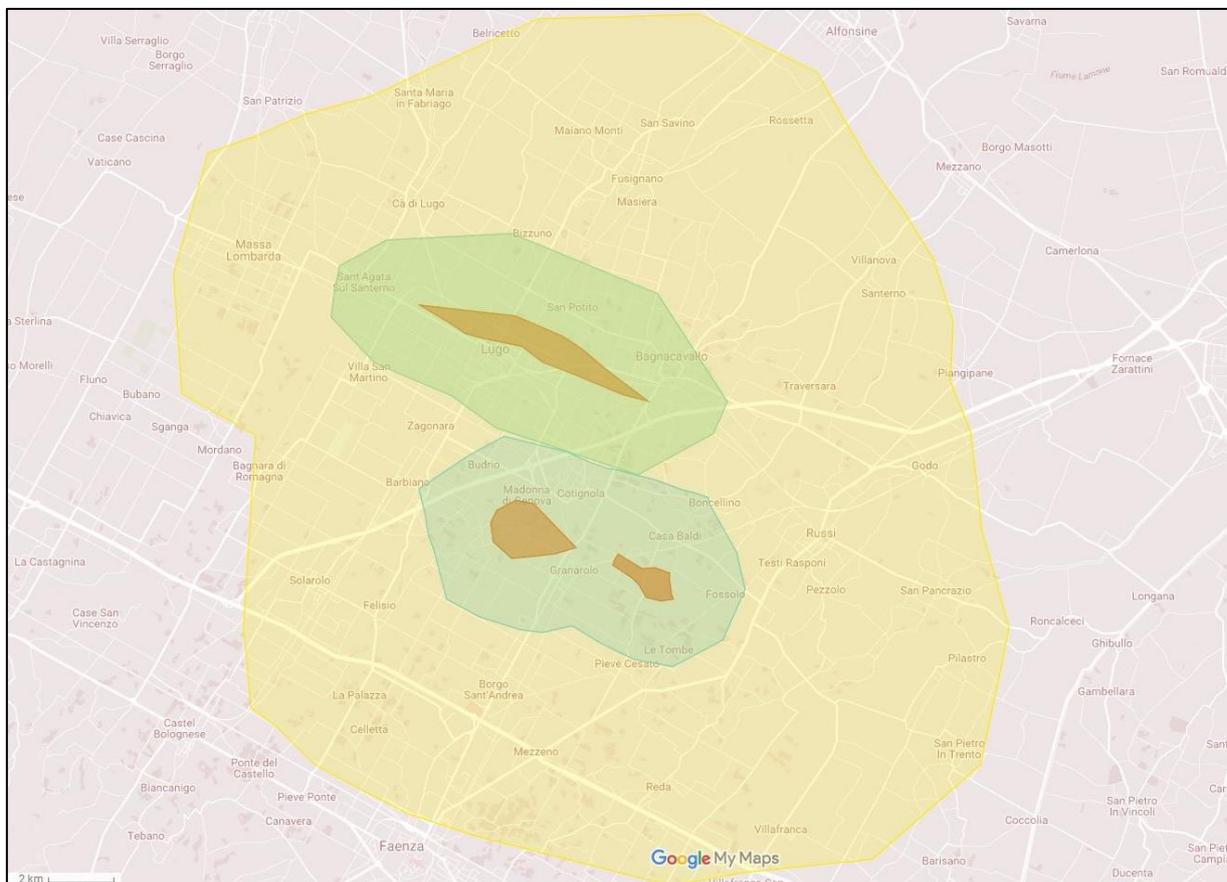


Figura 3: Proiezione in superficie dei Domini di Rilevazione (in giallo il DE, in verde il DI) e dei giacimenti di San Potito e Cotignola (in rosso).

La rete microsismica provvisoria è composta da 6 stazioni, elencate in Tabella 1 e mostrate in mappa in Figura 4:

ID	Latitudine	Longitudine	Data installazione	Sensore	Modem	Frequenza di campionamento	Pannelli fotovoltaici	Batterie
SP01	44.433557°	11.904429°	13/07/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP05	44.370153°	11.954165°	06/07/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	-
SP06	44.334684°	11.752625°	19/09/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP08	44.530896°	11.840114°	06/07/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP09	44.398621°	12.119776°	21/09/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP11	44.362789°	11.873278°	06/07/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	-

Tabella 1: Dettaglio delle stazioni della rete provvisoria San Potito e Cotignola.

In ocra sono indicate le stazioni che si trovano nel Dominio Interno di rilevazione, in verde chiaro quelle oltre il Dominio Esteso di rilevazione, in verde quella nel DE. Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.

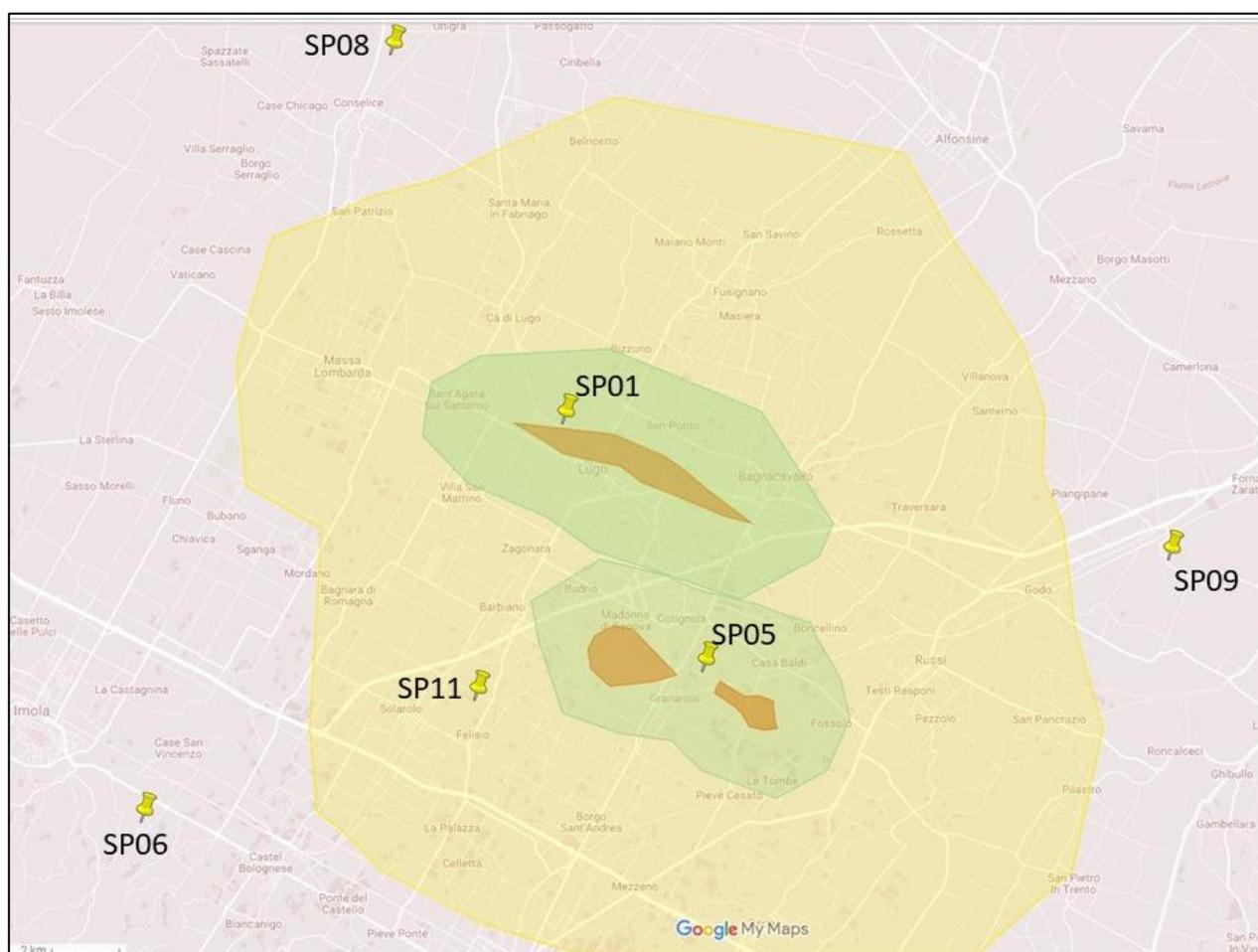


Figura 4: Posizioni individuate per l'installazione delle stazioni microsismiche della rete provvisoria.

In rosso i giacimenti: a nord San Potito BB1, a sud a ovest Cotignola CC1 e a est Cotignola B. In verde il DI, in giallo il DE.

### 3.1. Descrizione della strumentazione

Tutte le stazioni sono installate in superficie e sono dotate di:

- un acquirente sismico;
- un sensore triassiale ad elevata sensibilità (sismometro), con frequenza di acquisizione 200 Hz, e fattore di guadagno pari a 400 V/m/s;
- un GPS per la sincronizzazione temporale delle registrazioni;
- un modem per la trasmissione continua dei segnali con protocollo SEEDlink.

Tutte le stazioni sono alimentate tramite 1 pannello fotovoltaico da 150 W; le stazioni SP05 e SP11 hanno disponibilità di corrente elettrica, mentre le restanti stazioni dispongono di una batteria da 200 Ah.

I segnali vengono acquisiti in continuo in formato miniSEED; la trasmissione degli eventi triggerati al software di analisi (SEISMODESK, tool del pacchetto SEISMOWIN (SARA ELECTRONIC INSTRUMENTS)) è in formato GSE con compressione CM6.

## 4. OPERATIVITÀ DELLA RETE SISMICA – INTERVENTI E/O SOSTITUZIONI

In questo primo periodo di monitoraggio microsismico, la rete provvisoria si presenta nella sua configurazione completa solo da metà settembre: le stazioni SP01, SP05, SP08 e SP11 sono state installate a luglio 2017, mentre la SP06 e la SP09 durante la seconda metà di settembre 2017.

A settembre la SP01 è stata spostata di 30 m per non intralciare le operazioni di preparazione (lavori civili) alla perforazione del pozzo pilota in cui verrà installata una catena costituita da 6 sismometri (array).

Il 12 ottobre è stato cambiato il modem della SP11 per migliorare la comunicazione.

### 4.1. Copertura dei dati

Nel periodo di riferimento (13/07/2017 – 06/11/2017), la rete nel suo complesso ha garantito una copertura di dati pari al 100%.

Anche in presenza di problemi di trasmissione dovuti a momentanee interruzioni dei ponti cellulari, i dati non sono stati persi, poiché il sistema di acquisizione è dotato di un buffer che permette il recupero dei dati non trasmessi in un intervallo massimo di circa 2 mesi.

Si segnalano:

- limitate mancanze (frazioni di ora) di dati di alcune singole stazioni;

In Tabella 2 è schematizzato il funzionamento delle stazioni nel periodo in esame:

- in ocra sono indicate le stazioni ubicate nel Dominio Interno, in verde chiaro quelle oltre il Dominio Esteso, in verde quella nel Dominio Esteso;
- il DOY (Day Of Year) esprime il numero di giorno a partire da inizio anno: la seconda riga, pertanto, riporta l'intervallo di giorni, in DOY, del mese di riferimento;
- il trattino (-) indica mancanza di dati (si ricorda che le stazioni SP06 e SP09 sono state installate a settembre);
- OK significa che la registrazione dei segnali e la trasmissione dei dati hanno avuto esito positivo;

2017								
Stazione	Mese	07	08	09	10	11	Giorni_OK/ Giorni_tot	% FUNZION. STAZIONE
	DOY	194 – 212	213 – 243	244 – 273	274 – 304	305 – 310		
SP01		OK	OK	OK	OK	OK	117/117	100
SP05		OK	OK	OK	OK	OK	117/117	100
SP06		–	–	–/OK	OK	OK	49/49	100
SP08		OK	OK	OK	OK	OK	117/117	100
SP09		–	–	–/OK	OK	OK	47/47	100
SP11		OK	OK	OK	OK	OK	117/117	100

Tabella 2: Dettaglio operatività rete monitoraggio.

In ocra sono indicate le stazioni che si trovano nel Dominio Interno di rilevazione, in verde chiaro quelle oltre il Dominio Esteso, in verde quella nel DE

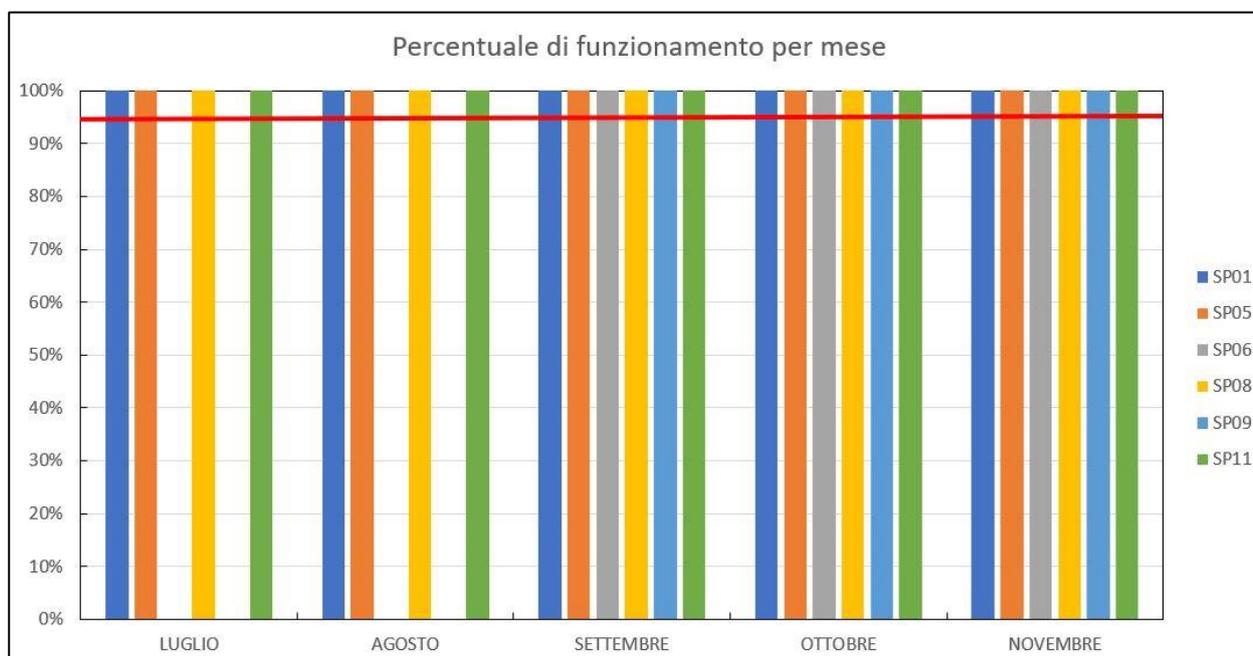


Figura 5: Percentuale di funzionamento di ogni stazione, per ogni mese.

In rosso la percentuale minima di funzionamento per ogni stazione (95%), raccomandata dalle LG.

In Figura 5 è mostrata la percentuale di funzionamento di ogni stazione, per ogni mese del periodo in esame: nel mese di luglio la percentuale è calcolata da giorno 13; le stazioni SP06 e SP09 sono state installate rispettivamente il 19/09 e il 21/09 (la percentuale è calcolata sui giorni utili), motivo per cui non compaiono nei mesi precedenti. La linea rossa indica la minima percentuale di funzionamento (95%) raccomandata dalle LG per ogni stazione.

## 5. PROCESSING DEI DATI: IDENTIFICAZIONE E LOCALIZZAZIONE DEGLI EVENTI SISMICI

I dati acquisiti sono stati elaborati in modalità off-line e ricorrendo a operazioni e controlli manuali da parte dell'operatore.

L'elaborazione dati comprende tre fasi:

- organizzazione dei dati di tutto il periodo in una cartella contenente due sottocartelle, una per le componenti orizzontali (E e N) e una per la componente verticale (Z);
- detection;
- ricerca delle coincidenze;
- picking dei primi arrivi;
- localizzazione e stima della magnitudo.

### 5.1. Pre-analisi

La fase di detection è stata eseguita con il software SEISMOSCAN, che filtra il segnale registrato e implementa l'algoritmo STA/LTA (Short Term Average/Long Term Average) [\[4\]](#): vengono così individuati dei tempi (trigger) candidati a essere interpretati come tempi di arrivo della fase P.

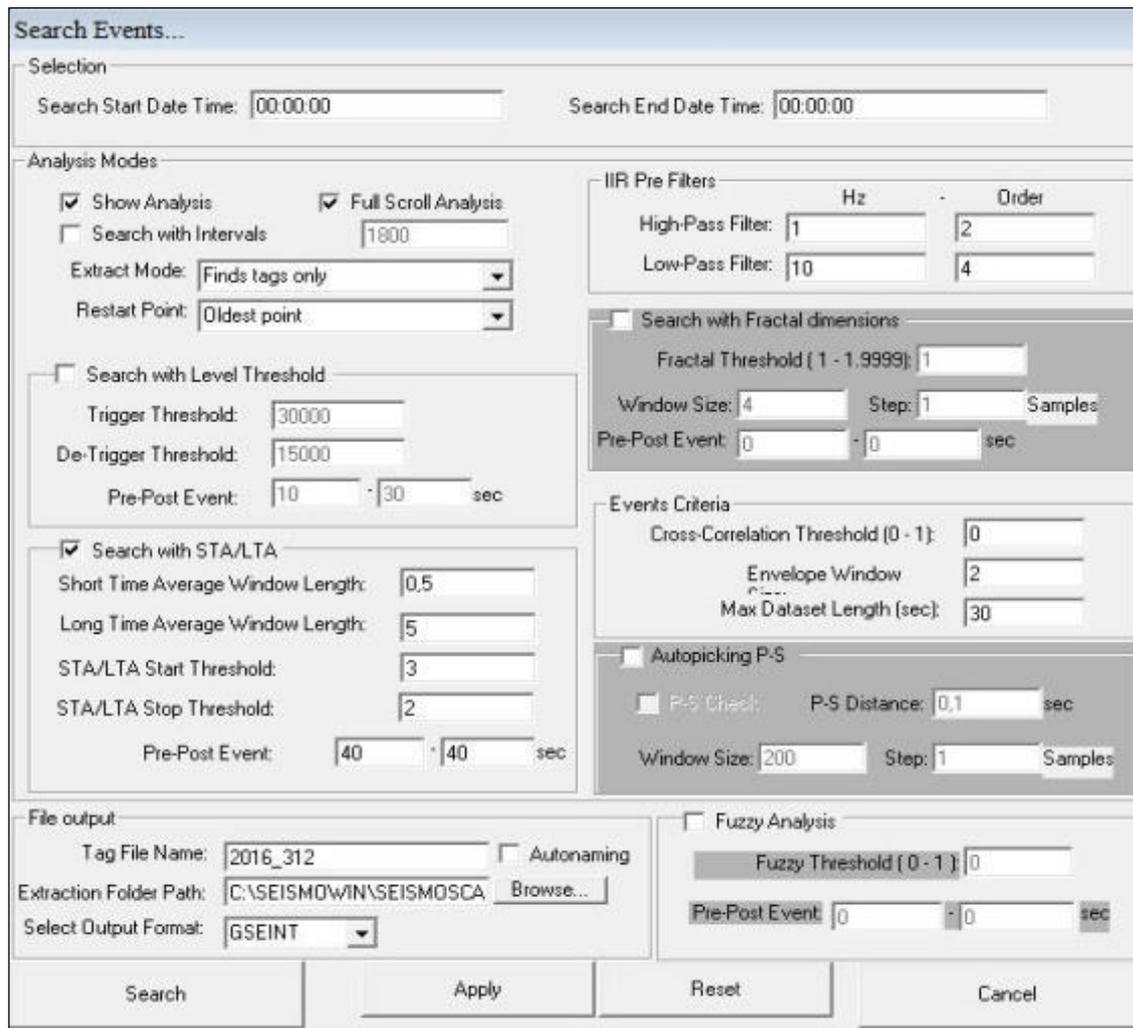
I parametri impostati per il filtro passabanda e per l'algoritmo STA/LTA sono riportati in Tabella 3:

Filtro		Frequenza [Hz]	Ordine
	Passa-alto	2	2
	Passa-basso	10	4
STA/LTA			
	Lunghezza STA [s]	0.5	
	Lunghezza LTA [s]	5.0	
	Soglia di trigger	3.0	
	Soglia di de-trigger	2.0	
	Pre-event (PEM) [s]	40.0	
	Post-event (PET) [s]	40.0	

Tabella 3: Parametri utilizzati in fase di detection

L'algoritmo STA/LTA è uno dei più utilizzati in microsismica: 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 window) è sensibile agli eventi sismici, quella di lunga durata (LTA window) 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. L'acquisitore, tuttavia, aggiunge una certa porzione di segnale sismico precedente al trigger e successiva al de-trigger, rispettivamente PEM (pre-event memory) e PET (post-event time).

In Figura 6 è riportata la finestra di dialogo di SEISMOSCAN per il settaggio dei parametri per la detection.



**Search Events...**

**Selection**  
 Search Start Date Time: 00:00:00      Search End Date Time: 00:00:00

**Analysis Modes**

Show Analysis       Full Scroll Analysis  
 Search with Intervals      1800  
 Extract Mode: Finds tags only  
 Restart Point: Oldest point

Search with Level Threshold  
 Trigger Threshold: 30000  
 De-Trigger Threshold: 15000  
 Pre-Post Event: 10 · 30 sec

Search with STA/LTA  
 Short Time Average Window Length: 0,5  
 Long Time Average Window Length: 5  
 STA/LTA Start Threshold: 3  
 STA/LTA Stop Threshold: 2  
 Pre-Post Event: 40 · 40 sec

**IIR Pre Filters**

	Hz	Order
High-Pass Filter:	1	2
Low-Pass Filter:	10	4

Search with Fractal dimensions  
 Fractal Threshold ( 1 - 1,9999): 1  
 Window Size: 4      Step: 1      Samples  
 Pre-Post Event: 0 · 0 sec

**Events Criteria**

Cross-Correlation Threshold ( 0 - 1 ): 0  
 Envelope Window: 2  
 Max Dataset Length (sec): 30

Autopicking P-S  
 P-S Check      P-S Distance: 0,1 sec  
 Window Size: 200      Step: 1      Samples

**File output**  
 Tag File Name: 2016\_312       Autonoming  
 Extraction Folder Path: C:\SEISMOWIN\SEISMOSCA      Browse...  
 Select Output Format: GSEINT

Fuzzy Analysis  
 Fuzzy Threshold ( 0 - 1 ): 0  
 Pre-Post Event: 0 · 0 sec

Search      Apply      Reset      Cancel

Figura 6: SEISMOSCAN - finestra di dialogo per il settaggio del tipo di analisi e dei parametri per la fase di detection degli eventi sismici

## 5.2. Analisi

Il risultato della fase di detection degli eventi sismici è un TAG file che contiene i tempi in cui è stato identificato un probabile evento sismico. Questo file è stato utilizzato per valutare le coincidenze (presenza dell'evento in più stazioni): sono stati considerati eventi sismici da localizzare quelli che hanno provocato un trigger in almeno 3 stazioni sismiche entro un range temporale di 4 secondi.

La localizzazione degli eventi è stata eseguita in due step differenti:

1. prima localizzazione tramite *Grid Search*: l'area di interesse viene discretizzata con una griglia regolare: ad ogni nodo vengono calcolati i tempi di arrivo teorici a tutte le stazioni, con un dato modello di velocità; questi tempi teorici vengono confrontati con i tempi identificati durante la detection, finché viene individuato il nodo con minore discrepanza, che diventa la prima soluzione ipocentrale: viene quindi avviata la ricerca dell'ipocentro nell'intorno del nodo;
  - a) analisi del Back Azimuth<sup>1</sup> all'interno del modello crostale stratificato e all'interno di un modello semplice con Vp e Vs uguali a quelle del primo strato del modello stratificato;
2. analisi manuale dei sismogrammi, controllo manuale del picking delle fasi P ed S, e localizzazione definitiva con l'algoritmo *Hypo71*<sup>2</sup> [5]. Questa fase è stata eseguita con il software SEISMODESK.

Il modello crostale utilizzato è schematizzato in Tabella 4: per i dettagli sul modo in cui è stato ricavato si rimanda alla progettazione della rete [2].

---

<sup>1</sup> tecnica basata sul calcolo dell'angolo di emersione e della direzione di provenienza del primo arrivo. Utilizzando un modello stratificato è possibile percorrere a ritroso il cammino dell'onda. Tale tecnica, che si può utilizzare su tutte le stazioni singolarmente in maniera autonoma, necessita di un buon SNR e del *picking* delle onde P ed S.

<sup>2</sup> algoritmo che localizza un evento e ne stima la magnitudo, tramite una regressione statistica che, con un processo iterativo, minimizza gli errori nei tempi di arrivo delle stazioni utilizzando un modello crostale stratificato.

Profondità [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]
50 - 200	1677	932
200 - 500	2008	1116
500 - 600	2125	1181
600 - 900	2265	1258
900 - 1150	2395	1331
1150 - 1250	2911	1617
1250 - 1500	2420	1344
1500 - 2000	2625	1458
2000 - 3000	2991	1662
3000 - 4000	3400	1889
4000 - 5000	4300	2389

Tabella 4: Modello di velocità

### 5.3. Eventi interni ai Domini di rilevazione

Nel periodo considerato (13 luglio 2017 – 06 novembre 2017) non si sono verificati eventi sismici all'interno dei Domini di rilevazione; tuttavia, riportiamo qui l'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC, localizzato a profondità 24.6 km, perché l'epicentro (proiezione in superficie dell'ipocentro) ricade al limite a Nord-Est del DE.

In Tabella 5 la stima della localizzazione, della magnitudo e del tempo origine; nella seconda riga si riporta la localizzazione INGV: si nota che nonostante l'evento sia stato localizzato con sole 3 stazioni poste in superficie, la localizzazione non si discosta tanto da quella ottenuta dalla rete sismica nazionale.

Numero evento	Tempo origine UTC [gg/mm/aaaa hh:mm:ss]	Latitudine	Longitudine	Profondità [km]	M	Dominio
1	13/08/2017 20:54:04	44.447367°	12.061059°	24.6	2.41	-
1 - INGV	13/08/2017 20:54:05	44.429201°	12.047697°	24.0	1.80	-

Tabella 5: Evento sismico localizzato al di fuori del DE ma il cui epicentro ricade nel DE.

La differenza in superficie con la localizzazione INGV è pari a 2.28 km. Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.

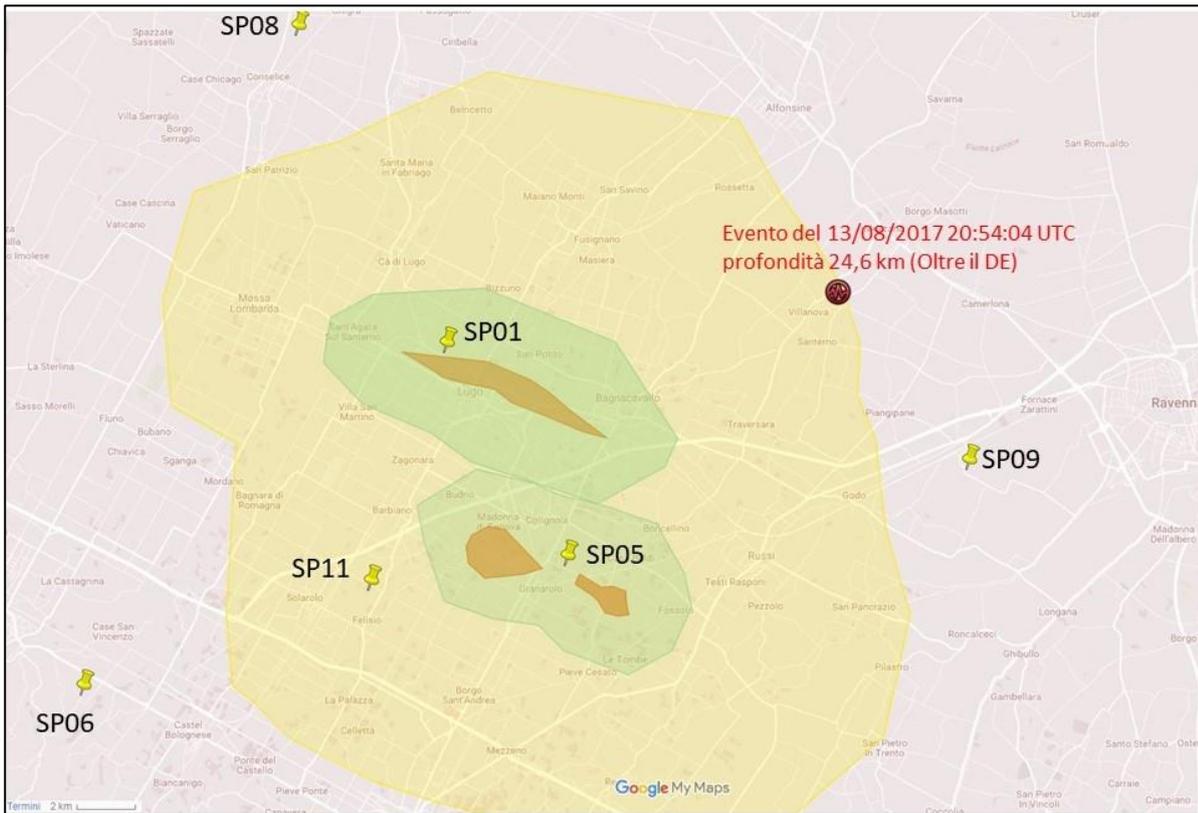


Figura 7: Rete provvisoria ed evento sismico localizzato al di fuori del DE ma il cui epicentro ricade nel DE.

Il 13 agosto 2017 le stazioni SP06 e SP09 non erano state installate, e la SP11 ha registrato un segnale che non risulta utile ai fini della localizzazione dell'evento sismico, perché troppo rumoroso (Figura 12).

La localizzazione quindi è stata ottenuta utilizzando i dati delle stazioni SP01, SP05 e SP08: dalla Figura 8 alla Figura 10 è mostrato il segnale di queste tre stazioni, rispettivamente in spostamento, velocità e accelerazione e il relativo picking dei primi arrivi P ed S.

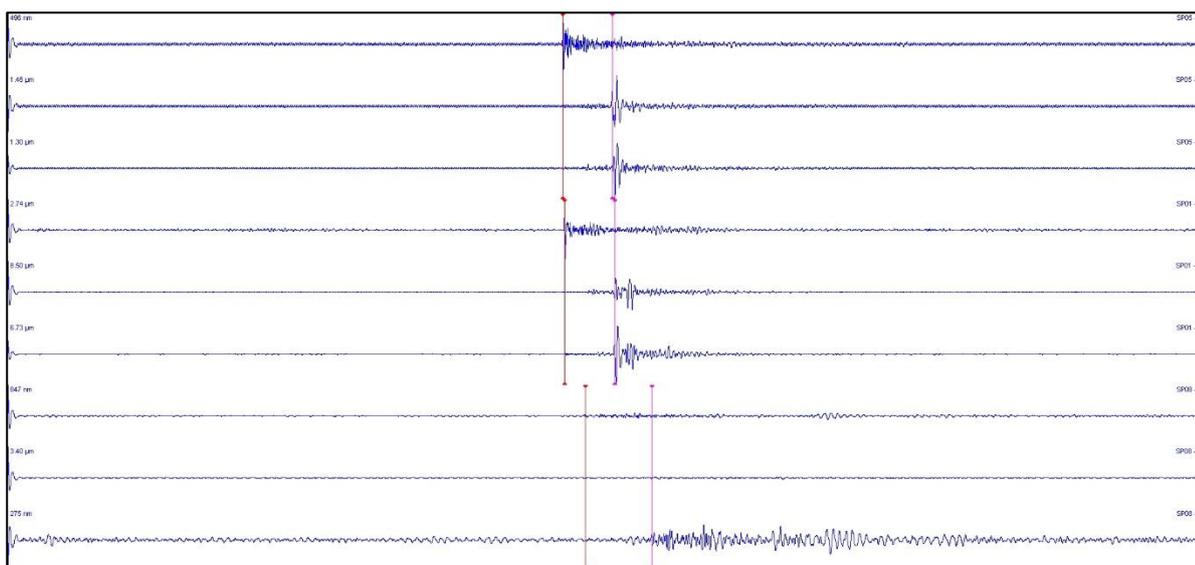


Figura 8: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Spostamento.

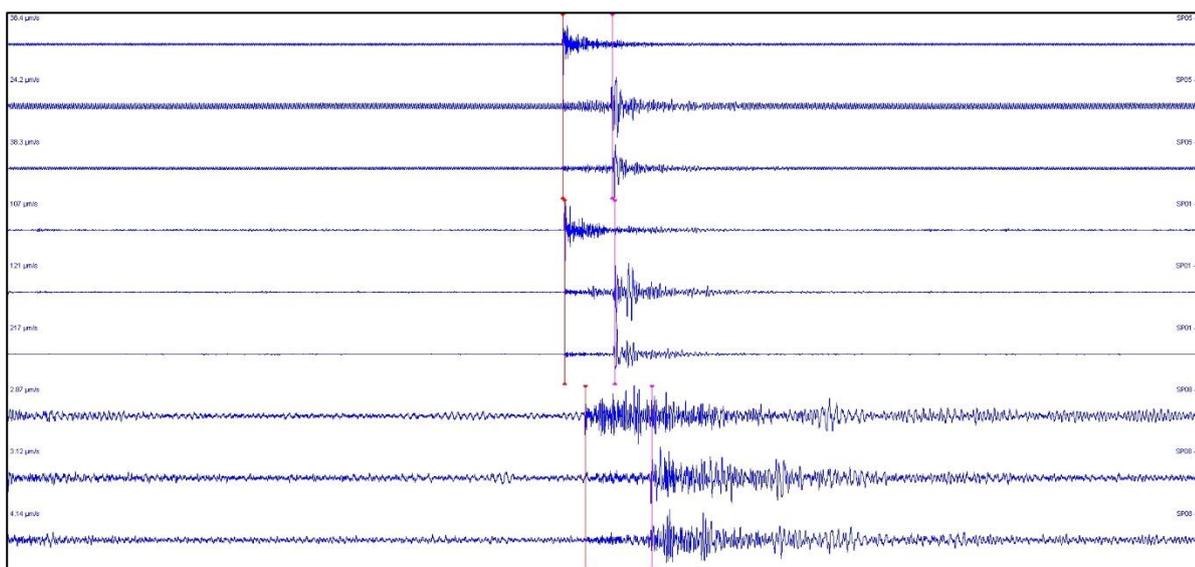


Figura 9: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Velocità.

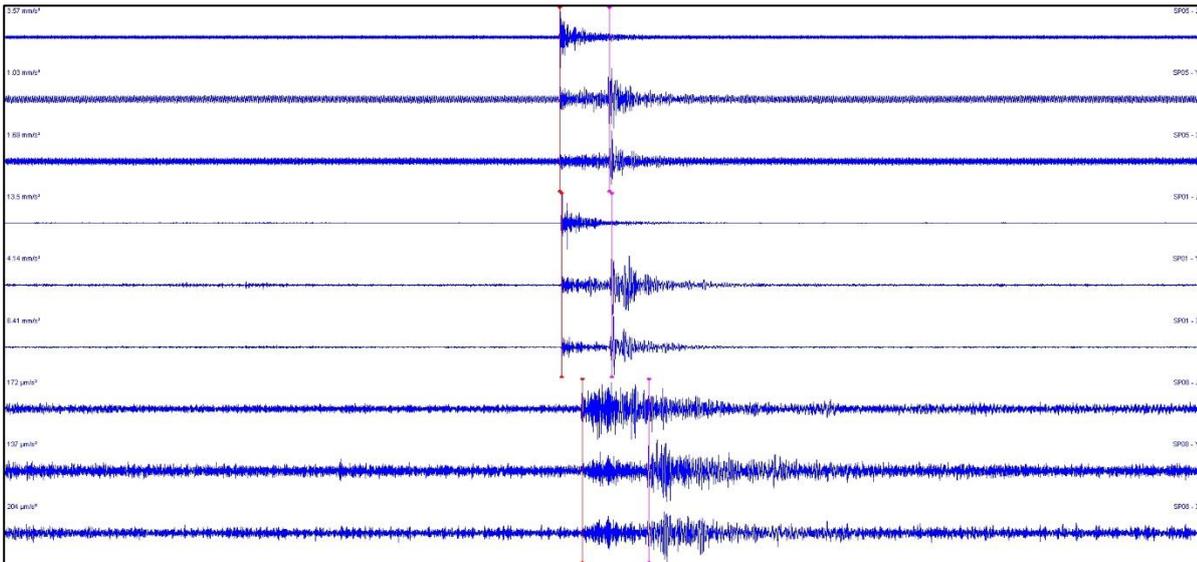


Figura 10: Dall'alto verso il basso, le componenti Verticale, Nord-Sud e Est-Ovest dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC registrato dalle stazioni SP05, SP01 e SP08, e picking delle onde P ed S. Accelerazione.

La Figura 11 mostra la localizzazione dell'evento sismico così come visualizzata dal software SEISMODESK.

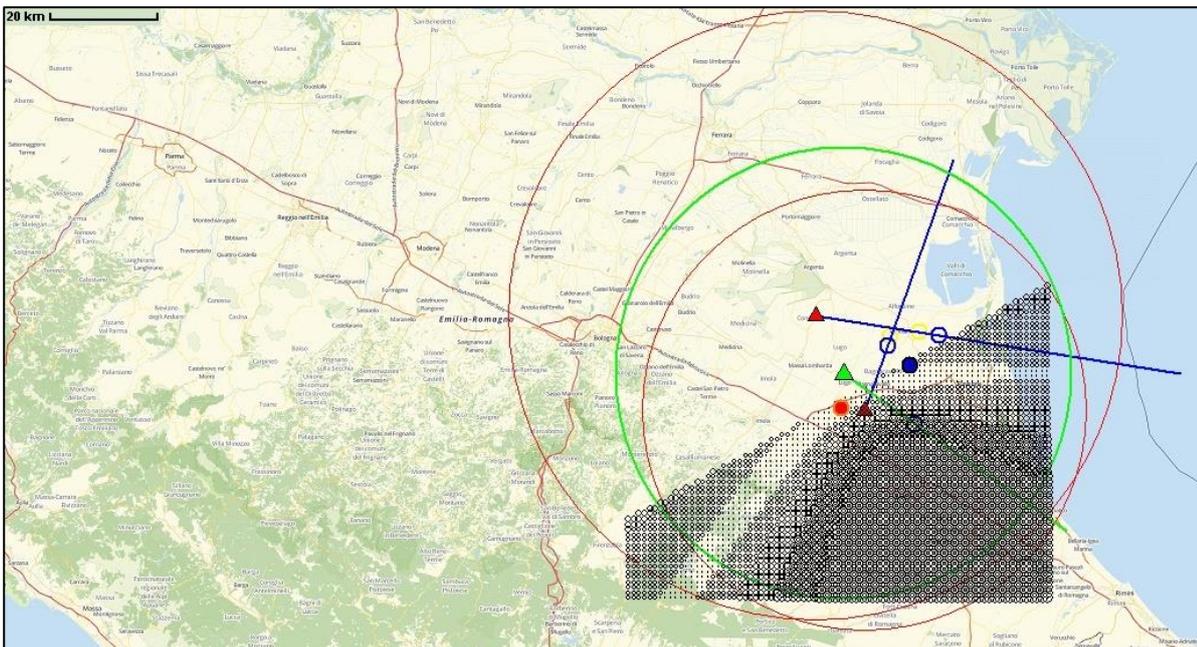


Figura 11: Localizzazione dell'evento del 13 agosto 2017 alle 20:54:04 UTC.

Le circonferenze centrate sulle tre stazioni utilizzate per la localizzazione hanno raggio pari alla distanza ipocentrale calcolata dalla differenza tra i primi arrivi P e S alla data stazione; i segmenti sono ottenuti dal picking del back azimuth, che ci fa conoscere la direzione della sorgente rispetto alla data stazione; i cerchi vuoti blu indicano l'epicentro lungo la direttrice di provenienza della data stazione: la griglia è la Grid Search (v. Grid Search)

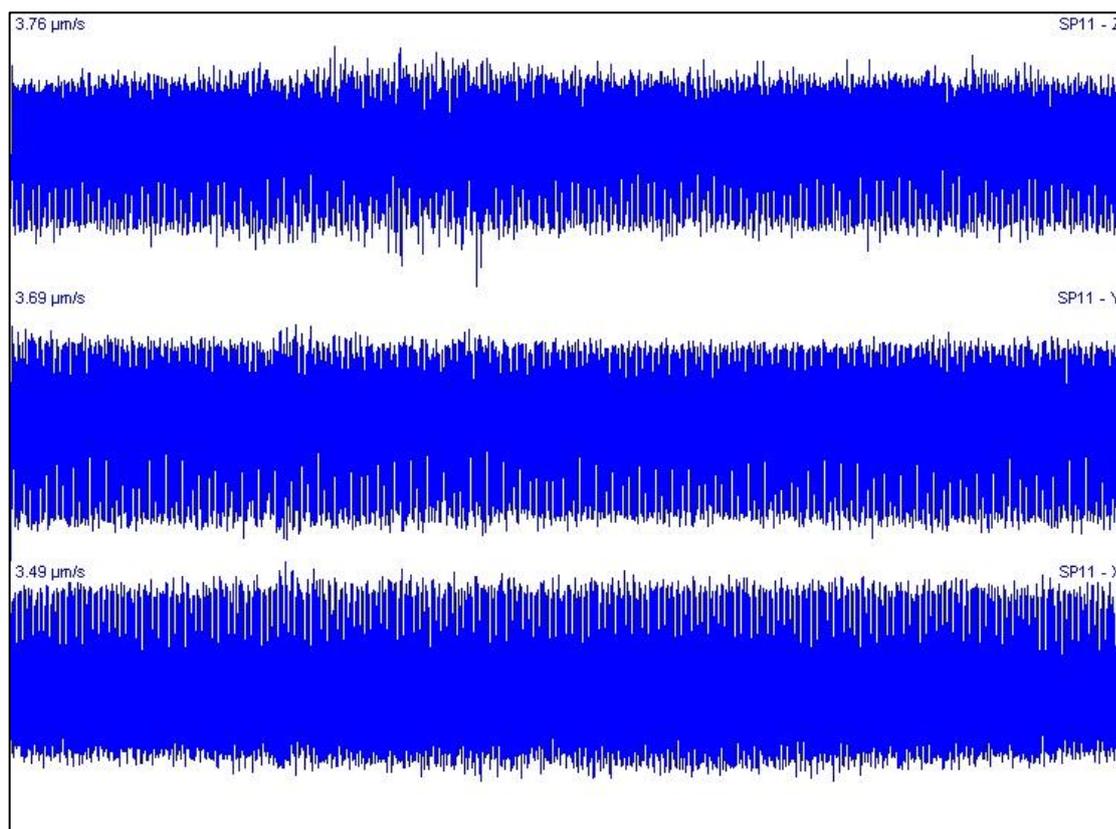


Figura 12: Segnale di velocità registrato dalla stazione SP11 il 13 agosto 2017 dalle 20:53:30 alle 20:54:57

## 6. SCHEDE MONOGRAFICHE

Sono di seguito riportate le schede monografiche di tutte le stazioni della rete microsismica provvisoria

Per ogni sito è mostrata la Carta Tecnica regionale [6] alla scala 1:5000 dell'area interessata, ed è indicata la strumentazione.

### 6.1. SP01 (Dominio Interno)

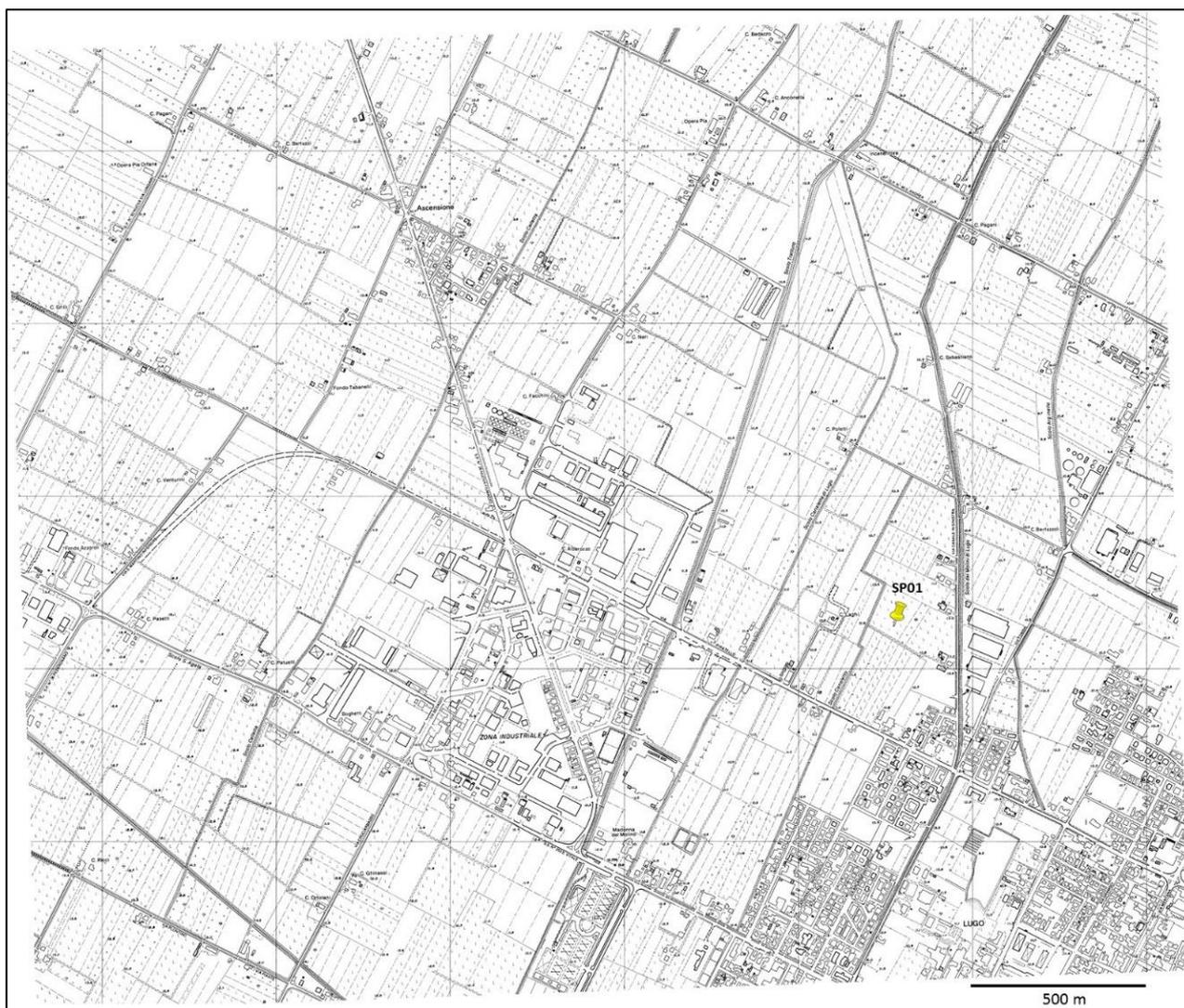


Figura 13: SP01 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.

Quadro 5000 tassello 222151 (modificato) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione della stazione SP01.

ID	Latitudine	Longitudine	Strumentazione	Dominio	Data di installazione	Disponibilità corrente elettrica
SP01	44.433557°	11.904429°	Velocimetro	Interno	13/07/2017	NO

Tabella 6: SP01: Informazioni generali.

Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 14: Stazione SP01

## 6.2. SP05 (Dominio Interno)

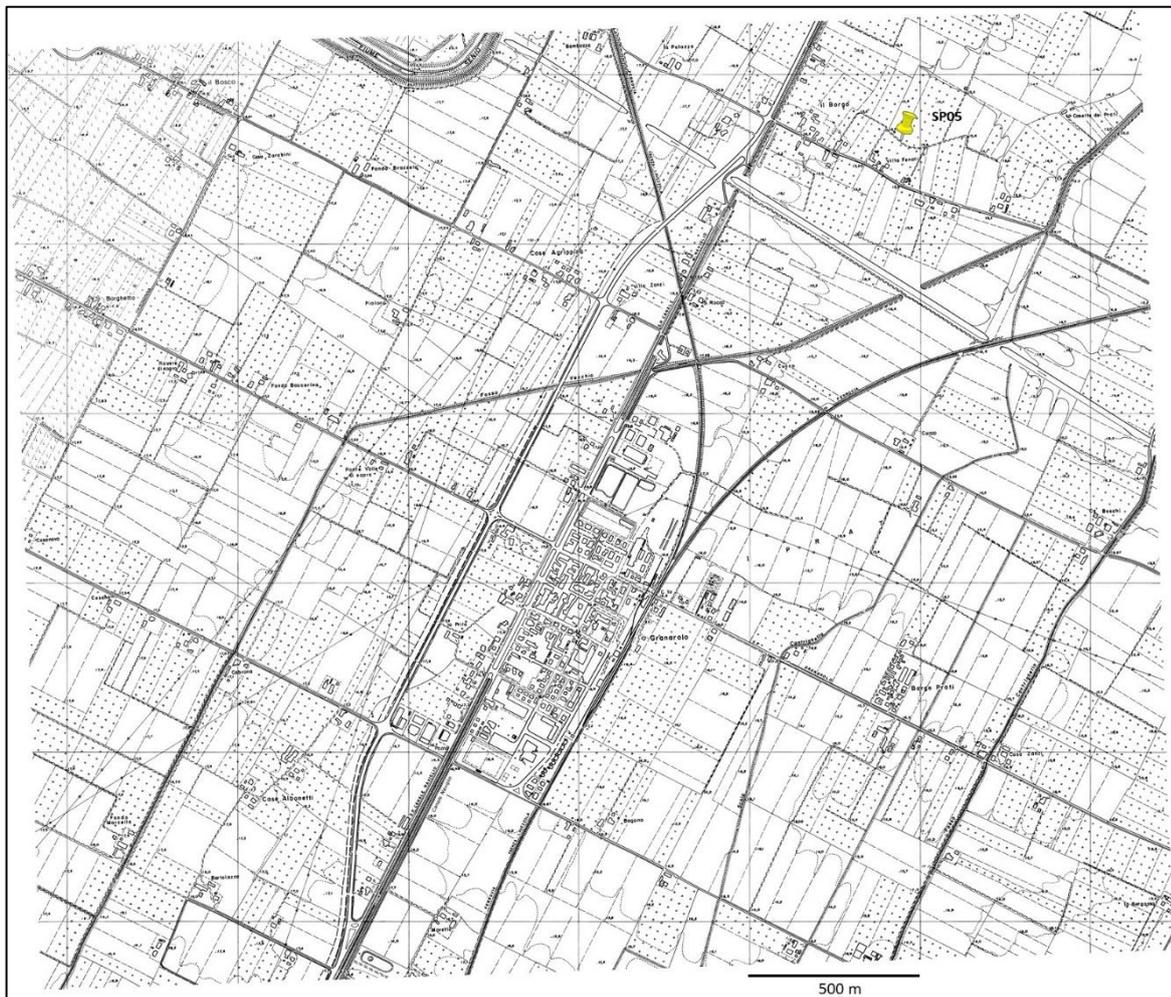


Figura 15: SP05 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.  
Quadro 5000 tassello 239043 (modificato) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione della stazione SP05.

ID	Latitudine	Longitudine	Strumentazione	Dominio	Data di installazione	Disponibilità corrente elettrica
SP05	44.370153°	11.954165°	Velocimetro	Interno	06/07/2017	Sì

Tabella 7: SP05: Informazioni generali.  
Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 16: Stazione SP05

### 6.3. SP06 (Oltre il Dominio Esteso)

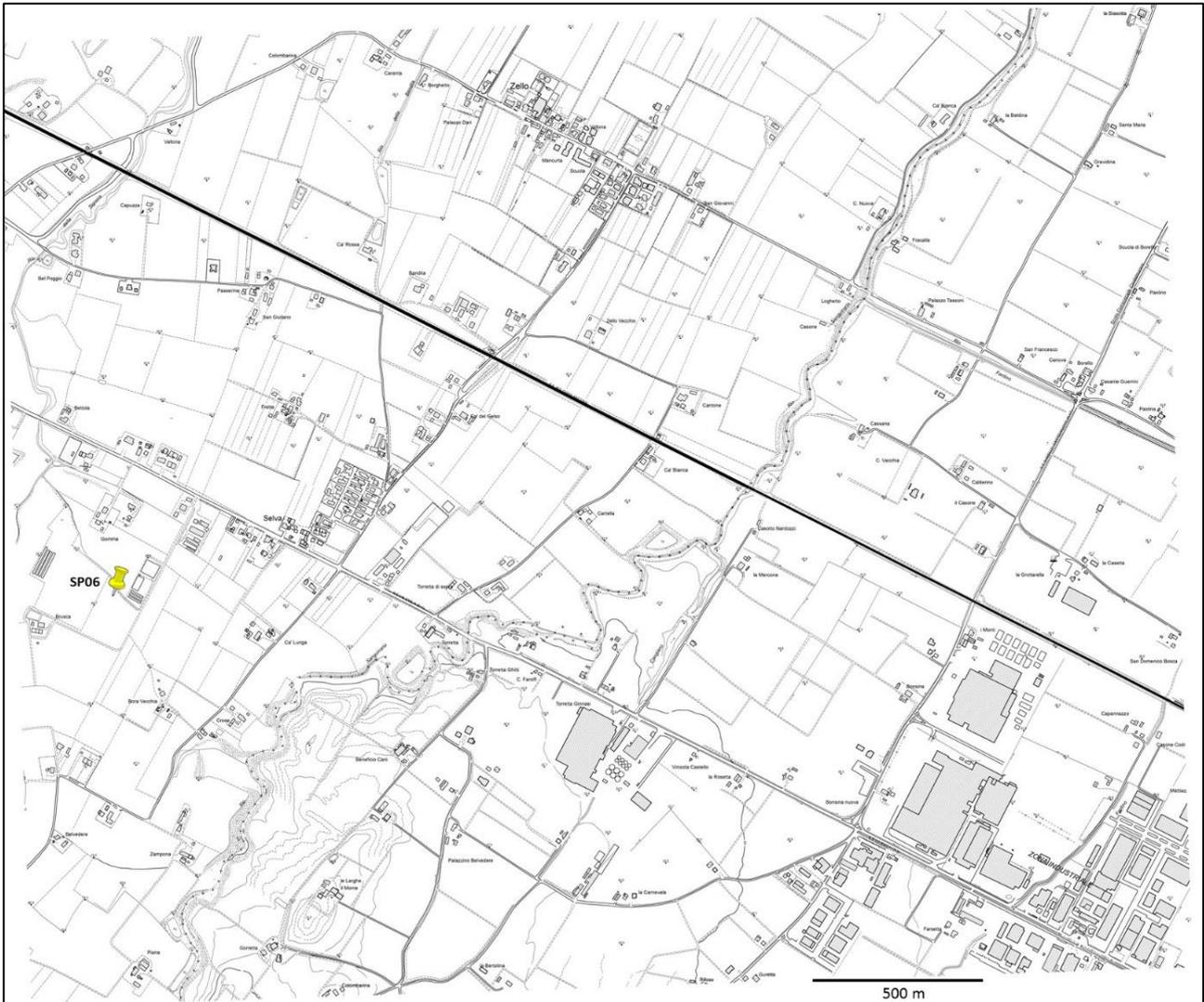


Figura 17: SP06 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.

Quadro 5000 tassello 239064 (modificato) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione ipotizzata per la stazione SP06.

ID	Latitudine	Longitudine	Strumentazione	Dominio	Data di installazione	Disponibilità corrente elettrica
SP06	44.334684°	11.752625°	Velocimetro	Oltre il DE	19/09/2017	NO

Tabella 8: SP06: Informazioni generali.

Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 18: Stazione SP06

## 6.4. SP08 (Oltre il Dominio Esteso)



Figura 19: SP08 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.

Quadro 5000 tassello 222074 (modificato) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione ipotizzata per la stazione SP08.

ID	Latitudine	Longitudine	Strumentazione	Dominio	Data di installazione	Disponibilità corrente elettrica
SP08	44.530896°	11.840114°	Velocimetro	Oltre il DE	06/07/2017	NO

Tabella 9: SP08: Informazioni generali.

Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 20: Stazione SP08

## 6.5. SP09 (Oltre il Dominio Esteso)

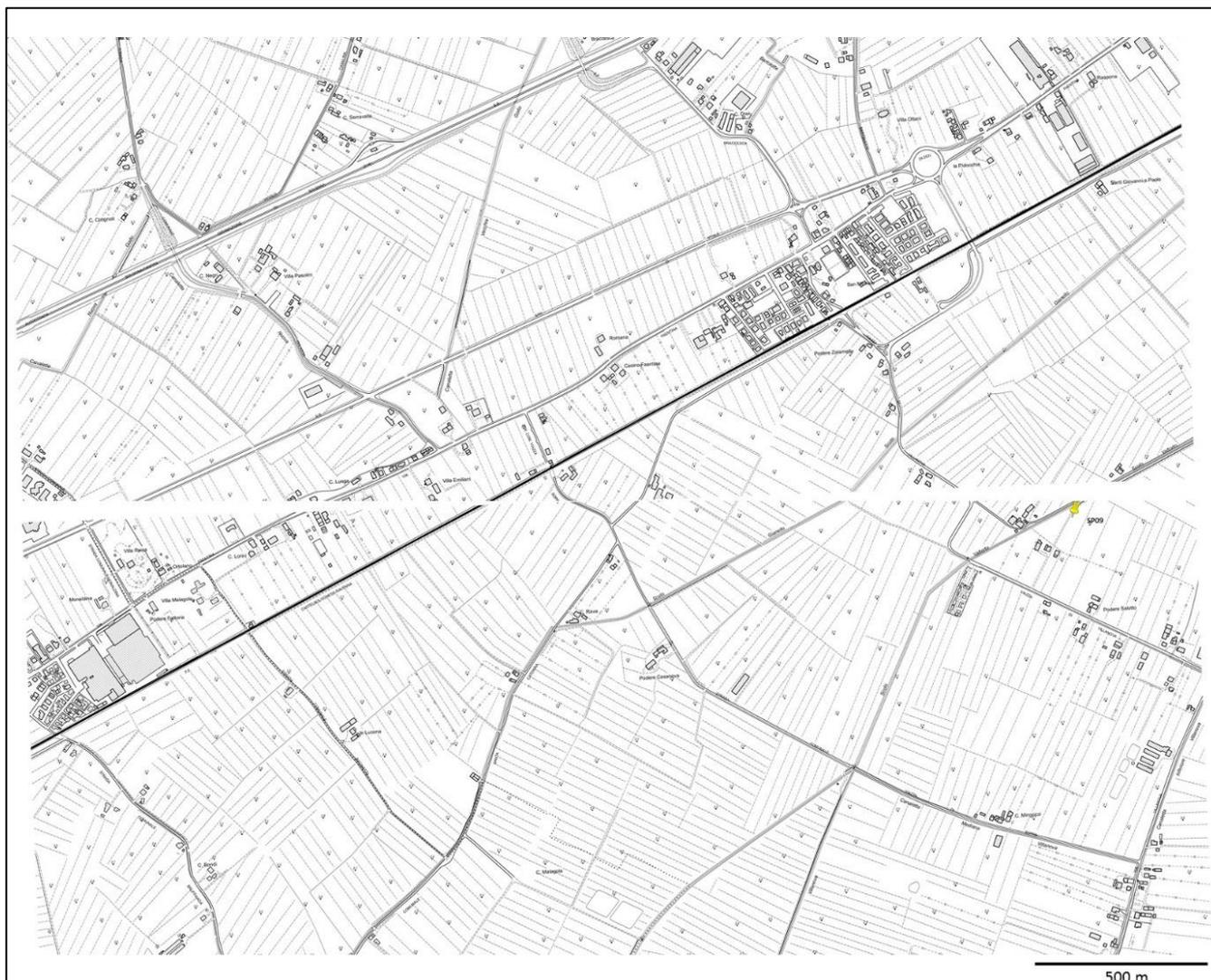


Figura 21: SP09 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.

Quadro 5000 tasselli 223143 e 240024 (modificati) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione ipotizzata per la stazione SP09.

ID	Latitudine	Longitudine	Strumentazione	Dominio	Data di installazione	Disponibilità corrente elettrica
SP09	44.398621°	12.119776°	Velocimetro	Oltre il DE	21/09/2017	NO

Tabella 10: SP09: Informazioni generali.

Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 22: Stazione SP09

## 6.6. SP11 (Dominio Esteso)

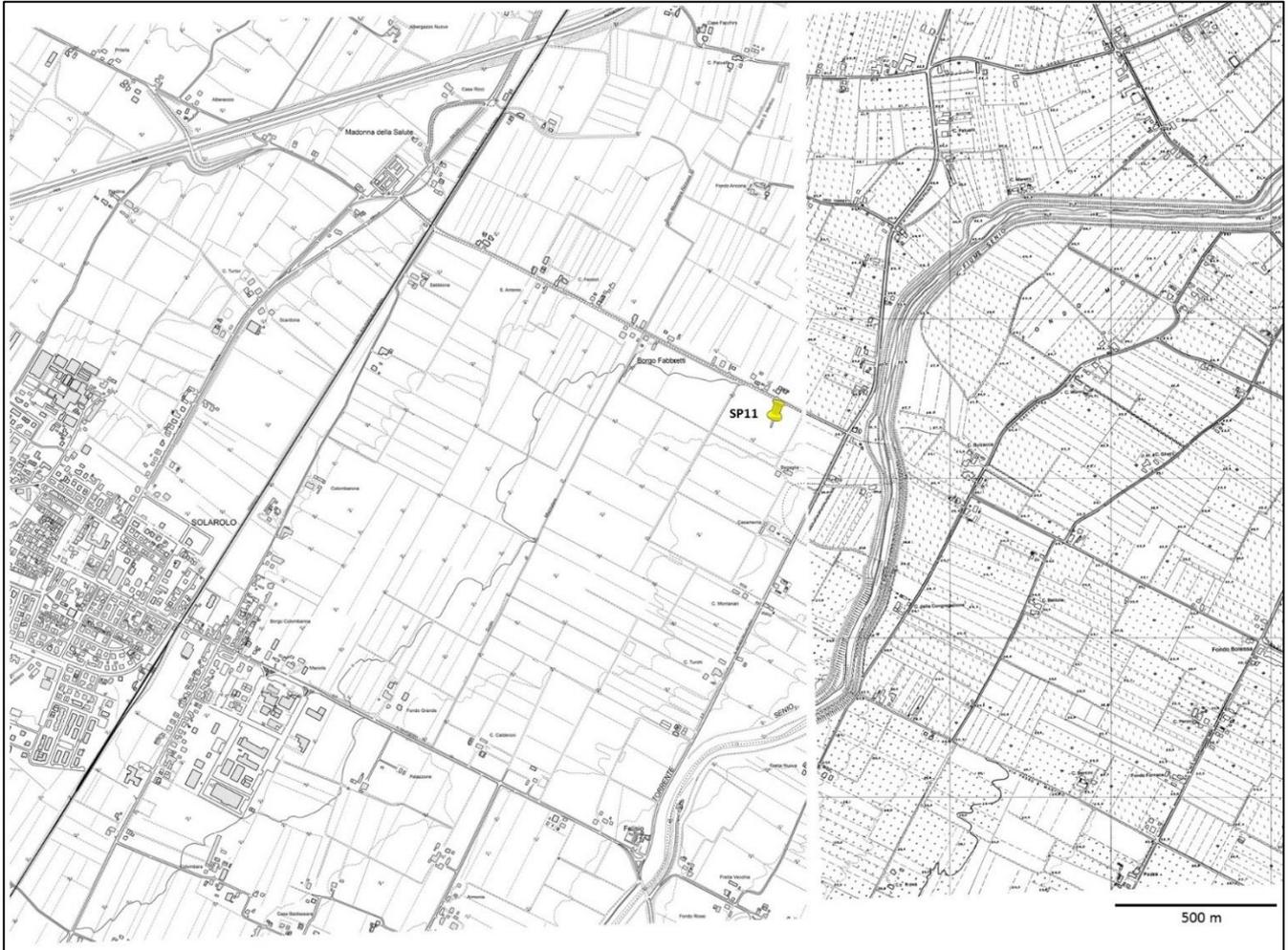


Figura 23: SP11 - Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000.

Quadro 5000 tasselli 239032 e 239033 (modificati) [6]. Il segnaposto giallo indica la posizione ipotizzata per la stazione SP11.

ID	Latitudine	Longitudine	Strumentazione	Dominio	Data di installazione	Disponibilità corrente elettrica
SP11	44.362789°	11.873278°	Velocimetro	Esteso	06/07/2017	Sì

Tabella 11: SP11: Informazioni generali.

Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.



Figura 24: Stazione SP11.



## APPENDICE B

I prodotti raster scaricati dal sito <http://geoportale.regione.emilia-romagna.it> sono coperti da licenza Creative Commons BY (CC-BY), visibile al link:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.it>

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] Dialuce G., Chiarabba C., Di Bucci D., Doglioni C., Gasparini P., Lanari R., Priolo E., Zollo A. - *Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche* - 2014
- [2] Solgeo srl – *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)* – 2017
- [3] Solgeo srl – *Progettazione di una rete di monitoraggio microsismico provvisoria presso l'impianto di stoccaggio gas denominato "San Potito e Cotignola Stoccaggio (Ra)"* – 2017
- [4] Trnkoczy A. – *Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm* – New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP) – 1999
- [5] Lee W. H. K., Bennet R. E., Meagher K. L. – *A method of estimating magnitude of local earthquakes from signal duration*. USGS Open File Report 72-223, Menlo Park – 1972
- [6] Regione Emilia Romagna – <http://www.regione.emilia-romagna.it>  
<http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/download/prodottiraster>

## **ALLEGATO 4**

**Relazione monitoraggio microsismico nel periodo  
dicembre 2017 - giugno 2018**

**Edison Stoccaggio S.p.A.**

**Relazione dell'attività di monitoraggio  
microsisimico svolto presso la concessione San  
Potito e Cotignola Stoccaggio nel periodo  
dicembre 2017 - giugno 2018**

Oggetto: Rete microsismica provvisoria San Potito – Report dicembre 2017 - giugno 2018

Cliente: EDISON STOCCAGGIO S.p.a.

ref

S17MN03

Autore

Date

Chiara Cocorullo

25 July 2018

Checked By

date

Filippo Di Fronzo

25 July 2018

Cod.

Version

S17MN03

Rev. 0 - 25 July 2018

Solgeo S.r.l.

via Pastrengo 9

24068 Seriate (BG)- Italy

Tel. +39035 4520075

[www.solgeo.it](http://www.solgeo.it) e\_mail [info@solgeo.it](mailto:info@solgeo.it)



## Versione

COD	NOTE
<b>Rev. 00 – Luglio 2018</b>	1 <sup>a</sup> Emissione

## Indice

1. INTRODUZIONE .....	6
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE – DESCRIZIONE DEL SITO.....	8
2.1. Inquadramento geologico-strutturale.....	8
3. DESCRIZIONE DELLA RETE .....	10
3.1. Descrizione della strumentazione .....	12
4. OPERATIVITÀ DELLA RETE SISMICA – INTERVENTI E/O SOSTITUZIONI .....	13
4.1. Copertura dei dati.....	13
4.2. Interventi .....	15
5. PROCESSING DEI DATI: IDENTIFICAZIONE E LOCALIZZAZIONE DEGLI EVENTI SISMICI.....	16
5.1. Pre-analisi .....	16
5.2. Analisi .....	18
5.3. Eventi interni ai Domini di rilevazione.....	20
5.3.1. Evento 1: 07/03/2018 20:16:37 UTC – M 1.46.....	22
5.3.2. Evento 2: 02/05/2018 12:56:51 UTC – M 2.35.....	24
5.3.3. Evento 3: 17/06/2018 23:10:46 UTC – M 0.67.....	26
5.4. Eventi esterni ai Domini di rilevazione ma il cui epicentro ricade nella zona di interesse.....	28
5.4.1. Evento 4: 07/12/2017 16:47:59 UTC – M 2.55.....	29
1.1.1. Evento 5: 11/03/2018 09:21:51 UTC – M 1.68.....	31
BIBLIOGRAFIA .....	33

Figura 1: sezione sismica regionale (SW-NE) attraverso l'alto di Cotignola (fonte ENI) .....	9
Figura 2: mappa di pericolosità sismica nazionale (a sinistra) e ingrandimento sui comuni in cui ricade la concessione <i>San Potito e Cotignola Stoccaggio</i> e sui comuni limitrofi. ....	10
Figura 3: siti in cui sono attualmente installate le 12 stazioni di superficie. ....	12
Figura 4: percentuale di funzionamento di ogni stazione, per ogni mese. ....	14
Figura 5: percentuale di funzionamento dell'intera rete nel periodo in esame. ....	15
Figura 6: posizione in cui è stata trovata la stazione SP06 il 10/01/2018 .....	15
Figura 7: SEISMOSCAN - finestra di dialogo per il settaggio del tipo di analisi e dei parametri per la fase di detection degli eventi sismici.....	18
Figura 8: rete provvisoria superficiale ed eventi localizzati nei Domini di Rilevazione. ....	21
Figura 9: forme d'onda, in velocità, dell'evento 1, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. In rosso il picking dell'onda P, in rosa quello dell'onda S. Componente verticale. ....	22
Figura 10: evento del 7/03/2018 20:16:38 UTC e segnali delle stazioni usate per la localizzazione. ....	23
Figura 11: forme d'onda, in velocità, dell'evento 2, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. In rosso il picking dell'onda P, in rosa quello dell'onda S. Componente verticale .....	24
Figura 12: evento del 2/05/2018 12:56:51 UTC e segnali delle stazioni usate per la localizzazione. ....	25
Figura 13: forme d'onda, in velocità, dell'evento 3, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. In rosso il picking dell'onda P, in rosa quello dell'onda S. Componente verticale .....	26
Figura 14: evento del 17/06/2018 23:10:46 UTC e segnali delle stazioni usate per la localizzazione. ....	27
Figura 15: rete provvisoria superficiale ed eventi sismici esterni ai Domini di rilevazione, ma il cui epicentro ricade nella zona di interesse.....	28
Figura 16: forme d'onda, in velocità, dell'evento 4, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. In rosso il picking dell'onda P, in rosa quello dell'onda S. Componente verticale. ....	29
Figura 17: evento del 7/12/2017 16:47:59 UTC e segnali delle stazioni usate per la localizzazione. ....	30
Figura 18: forme d'onda, in velocità, dell'evento 5, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. In rosso il picking dell'onda P, in rosa quello dell'onda S. Componente verticale. ....	31
Figura 19: evento dell' 11/03/2018 09:21:51 UTC e segnali delle stazioni usate per la localizzazione. ....	32
Tabella 1: dettaglio delle stazioni della rete provvisoria San Potito e Cotignola. ....	11
Tabella 2: percentuale di funzionamento delle stazioni della rete provvisoria superficiale .....	14
Tabella 3: parametri utilizzati in fase di detection .....	17
Tabella 4: modello di velocità .....	20
Tabella 5: eventi sismici localizzati nei Domini di Rilevazione. Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84. ....	20

Tabella 6: eventi sismici esterni ai domini, ma il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione. Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84..... 28

## Abbreviazioni

DI	Dominio Interno
DE	Dominio Esteso
LG	Linee guida MISE
SW	Software
SNR	Signal to Noise Ratio
UTC	Coordinated Universal Time
WGS84	World Geodetic System 1984

## 1. INTRODUZIONE

Edison Stoccaggio ha completato la fase di progettazione della rete di monitoraggio microsismico sulla concessione di San Potito e Cotignola Stoccaggio (Ra), in conformità con quanto previsto dal documento *“Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell’ambito delle attività antropiche”* [1] (da qui in avanti LG), redatto nel 2014 dal Gruppo di Lavoro istituito dalla Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie (CIRM) del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE).

La progettazione della rete microsismica [2] è stata eseguita dalla ditta SOLGEO srl in coordinamento con l’Università di Bologna.

Il progetto prevede 15 stazioni di misura: 6 nel Dominio Interno, 4 nel Dominio Esteso e 5 oltre il Dominio Esteso. A causa del forte rumore antropico presente in superficie, 8 (SP01, SP02, SP03, SP04, SP05, SP11, SP13, SP14) delle 15 stazioni verranno installate in appositi pozzi in modo da migliorare la capacità di rilevazione degli eventi sismici e raggiungere la magnitudo di completezza prevista nelle LG per il Dominio Interno ( $0 \leq M_L \leq 1$ ).

Per anticipare il rilevamento della microsismicità dell’area, in attesa dell’installazione della rete definitiva, tra giugno e settembre 2017 sono state provvisoriamente installate 6 stazioni sismometriche di superficie (SP01, SP05, SP06, SP08, SP09 e SP11); tra dicembre 2017 e gennaio 2018 sono state installate altre 6 stazioni sismometriche di superficie (SP02, SP03, SP04, SP12, SP13 e SP14) ed è stato perforato un pozzo di 285 m, in cui si è installato un array verticale equipaggiato con 6 sismometri triassiali distanziati di 50 m, nel sito SP01 [2].

La rete attualmente installata risulta pertanto costituita da 12 stazioni sismometriche di superficie.

Sono già stati elaborati i dati acquisiti tra luglio e novembre 2017 [3].

Il presente documento prende in esame i dati registrati dalle stazioni microsismiche già installate in superficie nel periodo dicembre 2017 - giugno 2018, espone le metodologie di analisi impiegate e presenta i risultati ottenuti in conformità con quanto richiesto dalle LG.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE – DESCRIZIONE DEL SITO

La Concessione di stoccaggio gas naturale denominata San Potito e Cotignola Stoccaggio, ottenuta dalla società Edison Stoccaggio S.p.A. con Decreto Ministeriale in data 24 aprile 2009, interessa un'area di 51,76 km<sup>2</sup> localizzata in provincia di Ravenna e compresa nei comuni di Bagnacavallo, Cotignola, Lugo, Castel Bolognese, Faenza e Solarolo.

Essa contiene il giacimento di San Potito a nord, e quello di Cotignola a sud.

Il volume oggetto del monitoraggio racchiude il livello BB1 del giacimento di San Potito e i livelli B e CC1 del giacimento di Cotignola. I livelli minerari adibiti allo stoccaggio sono presenti entro le quote 1650-2000 m s.l.m (livello BB1 di San Potito) e 750-1200 m s.l.m. (livelli B e CC1 di Cotignola).

Per i dettagli relativi all'inquadramento minerario dei giacimenti si rimanda alla progettazione della rete [2].

### 2.1. Inquadramento geologico-strutturale

La struttura tettonica di Cotignola è costituita da un'anticlinale di rampa a vergenza pro-grada (verso NE) e dai suoi margini (Figura 1). 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 retroscorrimento 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 anticlinale le successioni grossolane depostesi sul fianco meridionale durante il Messiniano superiore e Pliocene inferiore.

Per i dettagli dell'inquadramento geologico si rimanda alla progettazione della rete di monitoraggio [2].

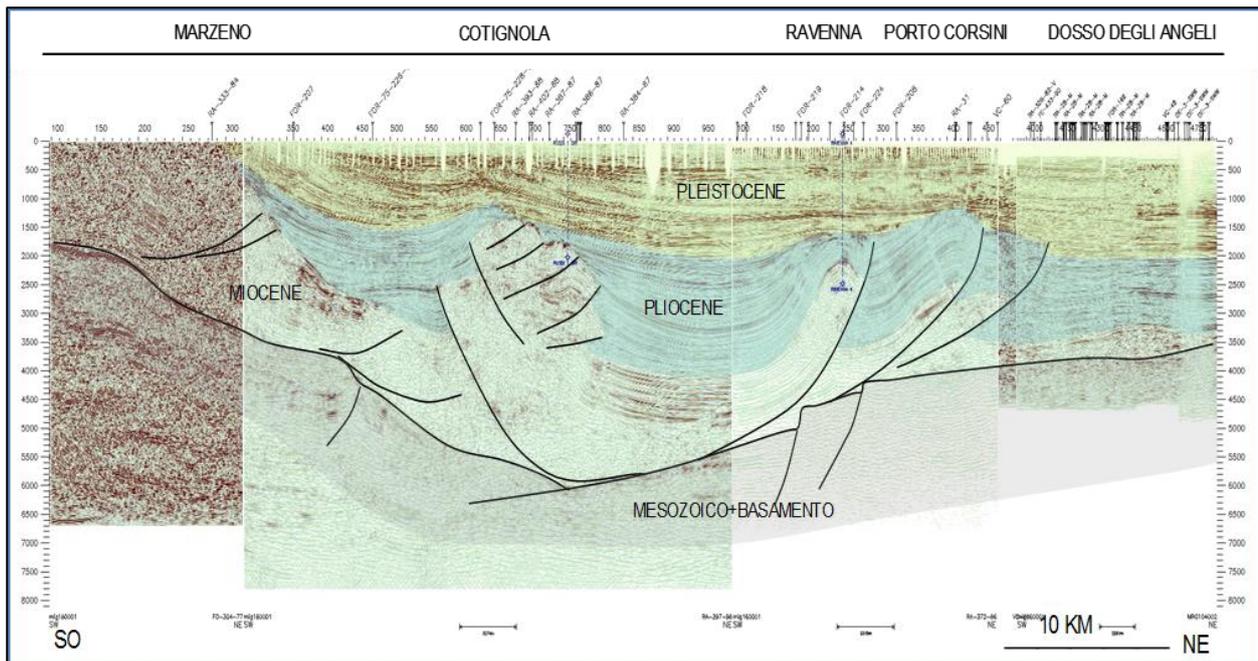


Figura 1: sezione sismica regionale (SW-NE) attraverso l'alto di Cotignola (fonte ENI)

Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*, i Comuni interessati dalla Concessione sono stati classificati alla zona sismica 2. L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006 n. 3519, *“Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”* ha fissato i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale di cui sopra. Il valore di pericolosità sismica del territorio dell'area, così come individuato dall'INGV, è compreso tra 0,175 e 0,200 g con una probabilità del 10% in 50 anni.

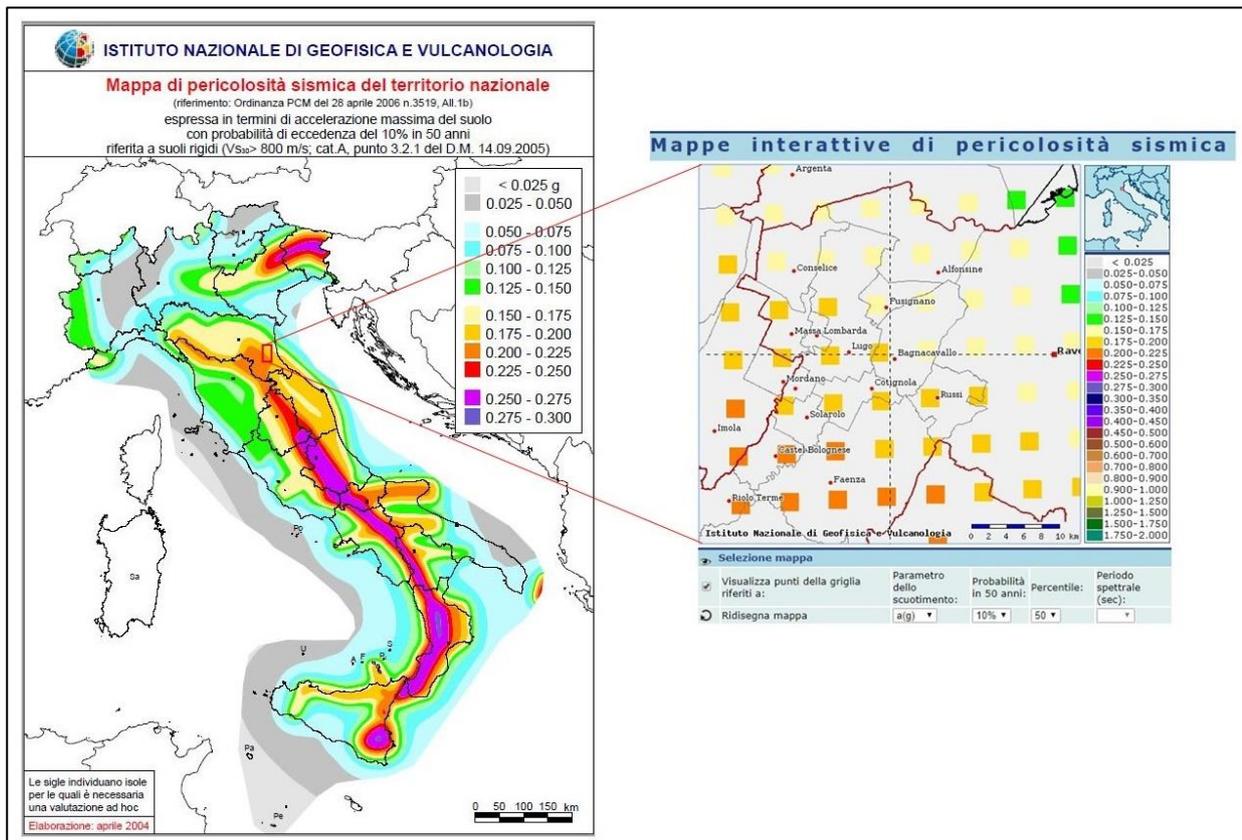


Figura 2: mappa di pericolosità sismica nazionale (a sinistra) e ingrandimento sui comuni in cui ricade la concessione *San Potito e Cotignola Stoccaggio* e sui comuni limitrofi.

Mappa estratta dal sito [esse1-gis.mi.ingv.it](http://esse1-gis.mi.ingv.it)

### 3. DESCRIZIONE DELLA RETE

Sulla base delle indicazioni delle LG e tenendo conto degli aspetti sismologici e della pericolosità di base, sono stati individuati i Domini di rilevazione nel seguente modo:

- Il Dominio Interno comprende i giacimenti di San Potito (a nord) e di Cotignola (a sud) e una fascia larga poco più di 2 km (che li circonda); la sua proiezione in superficie è costituita da due aree di dimensioni  $12 \times 5\text{ km}^2$  e  $11 \times 5\text{ km}^2$  circa; esso si estende fino a una profondità di circa 7 km.
- il Dominio Esteso si estende, oltre il Dominio Interno, per una fascia ampia poco più di 5 km. La sua definizione è atta a definire e contestualizzare al meglio i fenomeni monitorati. Si estende fino a una profondità di circa 15 km.

Le stazioni superficiali attualmente installate sono elencate in Tabella 1 e mostrate in mappa in Figura 3:

ID	Latitudine	Longitudine	Data installazione	Sensore	Modem	Frequenza di campionamento	Pannelli fotovoltaici	Batterie
SP01 <sup>1</sup>	44.433729°	11.903942°	13/07/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP02	44.420499°	11.943138°	19/12/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP03	44.397539°	11.920736°	21/12/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP04	44.371351°	11.922112°	21/12/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP05	44.370153°	11.954165°	06/07/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	-
SP06	44.334684°	11.752625°	19/09/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP08	44.530896°	11.840114°	06/07/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP09	44.398621°	12.119776°	21/09/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP11	44.362789°	11.873278°	06/07/2017	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	-
SP12	44.453506°	11.991391°	24/01/2018	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP13	44.411438°	11.854657°	12/01/2018	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah
SP14	44.375863°	12.005984°	09/01/2018	VELOCIMETRO	SÌ	200 Hz	1X150 W	1X200 Ah

Tabella 1: dettaglio delle stazioni della rete provvisoria San Potito e Cotignola.

In ocra sono indicate le stazioni che si trovano nel Dominio Interno di rilevazione, in verde chiaro quelle oltre il Dominio Esteso di rilevazione, in verde quella nel DE (la posizione definitiva della SP14 rientra invece nel DI). Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.

<sup>1</sup> Le coordinate della SP01 differiscono da quelle riportate nel report luglio-novembre 2017 perché è stata spostata di circa 30 m per non intralciare le operazioni di preparazione alla perforazione del pozzo.

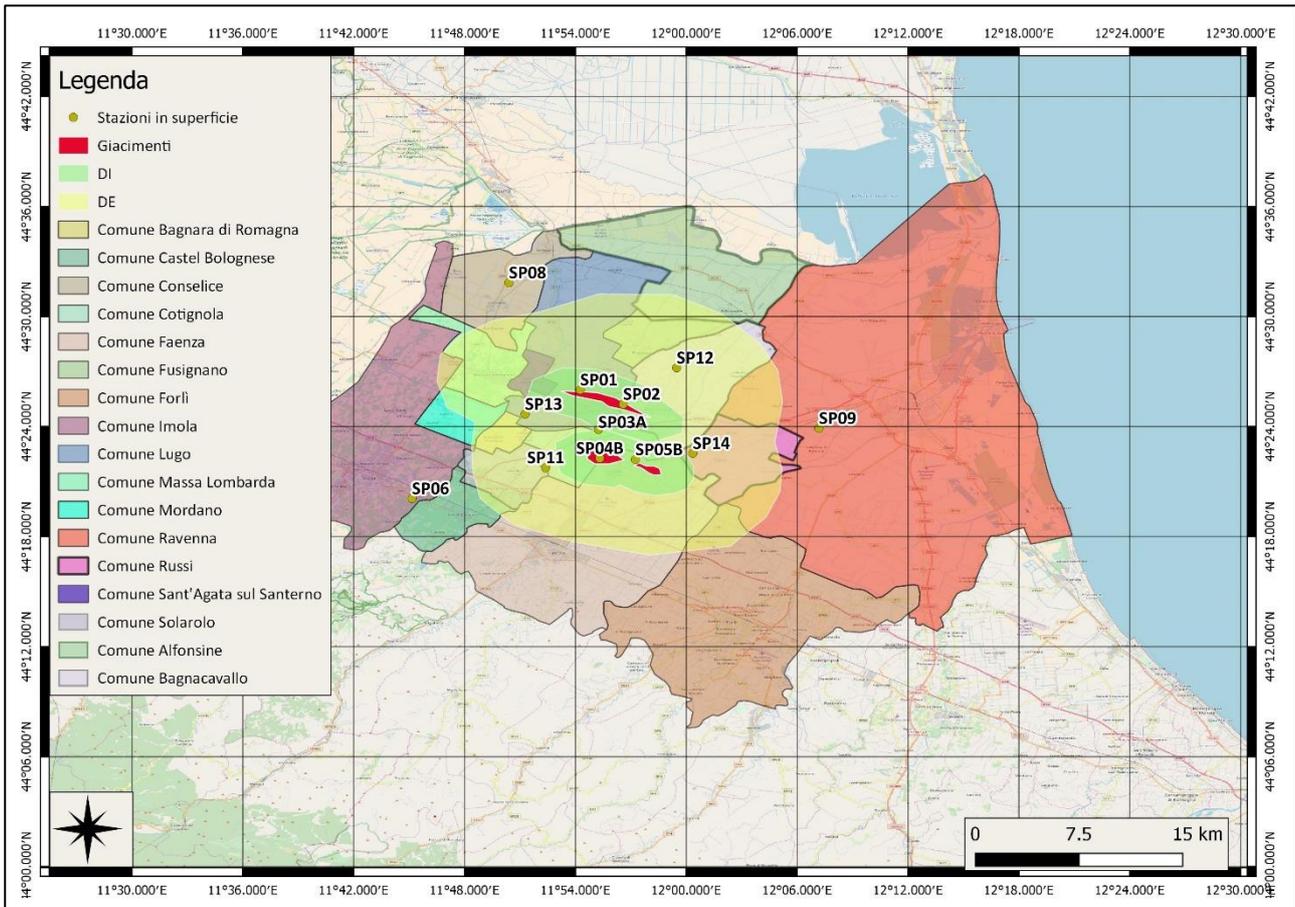


Figura 3: siti in cui sono attualmente installate le 12 stazioni di superficie.

In rosso i giacimenti: a nord San Potito BB1, a sud a ovest Cotignola CC1 e a est Cotignola B. In verde il DI, in giallo il DE; e i comuni interessati.

### 3.1. Descrizione della strumentazione

Tutte le stazioni sono installate in superficie e sono dotate di:

- un acquirente sismico;
- un sensore triassiale ad elevata sensibilità (sismometro), con frequenza di acquisizione 200 Hz, e fattore di guadagno pari a 400 V/m/s;
- un GPS per la sincronizzazione temporale delle registrazioni;
- un modem per la trasmissione continua dei segnali con protocollo SEEDlink.

Tutte le stazioni sono alimentate tramite 1 pannello fotovoltaico da 150 W; le stazioni SP05 e SP11 hanno disponibilità di corrente elettrica, mentre le restanti stazioni dispongono di una batteria da 200 Ah.

I segnali vengono acquisiti in continuo in formato miniSEED; la trasmissione degli eventi triggerati al software di analisi (SEISMODESK, tool del pacchetto SEISMOWIN (SARA ELECTRONIC INSTRUMENTS)) è in formato GSE con compressione CM6.

#### 4. OPERATIVITÀ DELLA RETE SISMICA – INTERVENTI E/O SOSTITUZIONI

##### 4.1. Copertura dei dati

Nel periodo di riferimento (01/12/2017 – 30/06/2018), la rete nel suo complesso ha garantito una copertura di dati pari al 90.51%.

La stazione SP02 è stata installata il 19/12/2017, le stazioni SP03 e SP04 il 21/12/2017: le loro percentuali di funzionamento sono calcolate, per dicembre, a partire da queste date.

Le stazioni SP12, SP13 e SP14 sono state installate rispettivamente il 24/01/2018, il 12/01/2018 e il 9/01/2018: le loro percentuali di funzionamento sono calcolate, per gennaio, a partire da queste date.

Si segnalano:

- limitate mancanze (frazioni di ora) di dati di alcune singole stazioni;
- mancanza di alcuni dati della stazione SP02, nel mese di giugno: la stazione non ha acquisito poiché il pannello fotovoltaico si trovava all'ombra;
- mancanza di dati della SP09, nel mese di giugno, per un problema al modem, che è stato poi sostituito;
- mancanza di alcuni dati della SP13 nei giorni successivi all'installazione.

In Tabella 2 sono elencate le percentuali di funzionamento di ogni stazione, nel periodo in esame.

Percentuale funzionamento							
Anno	2017	2018					
Stazione	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno
SP01	100,00	35,48	80,06	97,27	93,60	94,27	16,64
SP02	81,13	100,00	89,85	95,05	93,59	99,62	67,53
SP03	100,00	100,00	91,90	98,87	93,60	99,61	98,42
SP04	94,58	89,59	82,03	92,25	93,53	99,32	96,20
SP05	100,00	100,00	94,70	98,87	55,72	99,61	98,43
SP06	88,02	85,29	86,92	95,36	93,60	99,62	98,28
SP08	100,00	100,00	89,48	95,83	93,60	99,61	98,42
SP09	100,00	100,00	89,66	98,87	93,60	99,61	17,29
SP11	100,00	100,00	95,66	98,87	93,59	99,61	98,42
SP12	-	94,31	93,97	95,52	93,59	99,61	98,23
SP13	-	24,61	92,12	97,23	93,60	99,61	98,36
SP14	-	56,77	62,85	91,76	93,60	99,62	98,91
<b>Rete</b>	<b>95,97</b>	<b>82,17</b>	<b>87,43</b>	<b>96,31</b>	<b>90,43</b>	<b>99,14</b>	<b>82,09</b>

Tabella 2: percentuale di funzionamento delle stazioni della rete provvisoria superficiale

In Figura 4 la percentuale di funzionamento delle stazioni, nei singoli mesi.

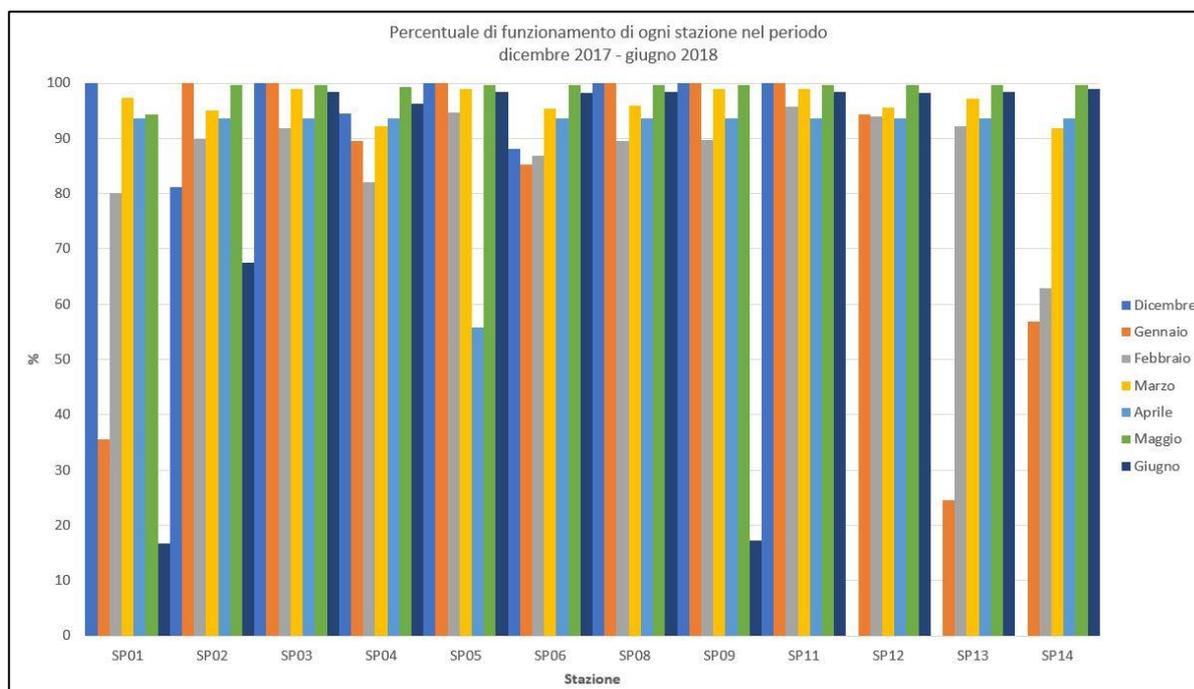


Figura 4: percentuale di funzionamento di ogni stazione, per ogni mese.

In rosso la percentuale minima di funzionamento per ogni stazione (95%), raccomandata dalle LG.

In Figura 5 la percentuale dell'intera rete per singolo mese.

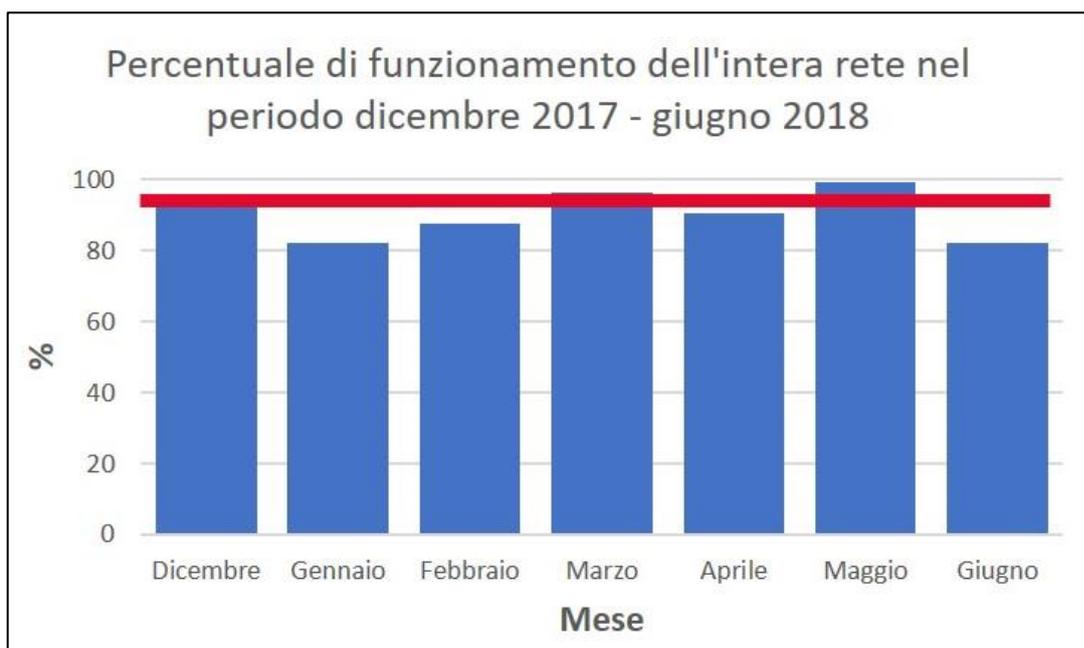


Figura 5: percentuale di funzionamento dell'intera rete nel periodo in esame.

## 4.2. Interventi

Il 10 gennaio 2018 si è intervenuto sulla stazione SP06, che non trasmetteva perché si era ribaltata per circostanze ignote (Figura 6).



Figura 6: posizione in cui è stata trovata la stazione SP06 il 10/01/2018

A giugno è stato sostituito il modem della stazione SP09.

Non si è intervenuto per risolvere il malfunzionamento della stazione SP01 durante il mese di giugno poiché la stazione era stata spostata precedentemente da Edison nelle vicinanze della SP02.

## 5. PROCESSING DEI DATI: IDENTIFICAZIONE E LOCALIZZAZIONE DEGLI EVENTI SISMICI

I dati acquisiti sono stati elaborati in modalità off-line e ricorrendo a operazioni e controlli manuali da parte dell'operatore.

L'elaborazione dati comprende tre fasi:

- caricamento dei dati con il software SEISMOSCAN; DATALOG per singolo mese;
- detection;
- ricerca delle coincidenze;
- picking dei primi arrivi;
- localizzazione e stima della magnitudo.

### 5.1. Pre-analisi

La fase di detection è stata eseguita con il software SEISMOSCAN, che filtra il segnale registrato e implementa l'algoritmo STA/LTA (Short Term Average/Long Term Average) [4]: vengono così individuati dei tempi (trigger) candidati a essere interpretati come tempi di arrivo della fase P.

I parametri impostati per il filtro passabanda e per l'algoritmo STA/LTA sono riportati in Tabella 3:

Filtro		Frequenza [Hz]	Ordine
	Passa-alto	2	2
	Passa-basso	10	4
STA/LTA			
	Lunghezza STA [s]	0.5	
	Lunghezza LTA [s]	5.0	
	Soglia di trigger	3.0	
	Soglia di de-trigger	2.0	
	Pre-event (PEM) [s]	40.0	
	Post-event (PET) [s]	40.0	

Tabella 3: parametri utilizzati in fase di detection

L'algoritmo STA/LTA è uno dei più utilizzati in microsismica: 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 window) è sensibile agli eventi sismici, quella di lunga durata (LTA window) 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. L'acquisitore, tuttavia, aggiunge una certa porzione di segnale sismico precedente al trigger e successiva al de-trigger, rispettivamente PEM (pre-event memory) e PET (post-event time).

In Figura 7 è riportata la finestra di dialogo di SEISMOSCAN per il settaggio dei parametri per la detection.

**Search Events...**

Selection  
 Search Start Date Time: 00:00:00      Search End Date Time: 00:00:00

Analysis Modes

Show Analysis       Full Scroll Analysis  
 Search with Intervals      1800  
 Extract Mode: Finds tags only  
 Restart Point: Oldest point

Search with Level Threshold  
 Trigger Threshold: 30000  
 De-Trigger Threshold: 15000  
 Pre-Post Event: 10 · 30 sec

Search with STA/LTA  
 Short Time Average Window Length: 0.5  
 Long Time Average Window Length: 5  
 STA/LTA Start Threshold: 3  
 STA/LTA Stop Threshold: 2  
 Pre-Post Event: 40 · 40 sec

IIR Pre Filters

	Hz	Order
High-Pass Filter:	1	2
Low-Pass Filter:	10	4

Search with Fractal dimensions  
 Fractal Threshold ( 1 - 1.9999): 1  
 Window Size: 4      Step: 1      Samples  
 Pre-Post Event: 0 · 0 sec

Events Criteria  
 Cross-Correlation Threshold ( 0 - 1 ): 0  
 Envelope Window: 2  
 Max Dataset Length (sec): 30

Autopicking P-S  
 P-S Check      P-S Distance: 0.1 sec  
 Window Size: 200      Step: 1      Samples

File output  
 Tag File Name: 2016\_312       Autonoming  
 Extraction Folder Path: C:\SEISMOWIN\SEISMOSCA      Browse...  
 Select Output Format: GSEINT

Fuzzy Analysis  
 Fuzzy Threshold ( 0 - 1 ): 0  
 Pre-Post Event: 0 · 0 sec

Search      Apply      Reset      Cancel

Figura 7: SEISMOSCAN - finestra di dialogo per il settaggio del tipo di analisi e dei parametri per la fase di detection degli eventi sismici

## 5.2. Analisi

Il risultato della fase di detection degli eventi sismici è un TAG file che contiene i tempi in cui è stato identificato un probabile evento sismico. Questo file è stato utilizzato per valutare le coincidenze (presenza dell'evento in più stazioni): sono stati considerati eventi sismici da localizzare quelli che hanno provocato un trigger in almeno 4 stazioni sismiche entro un range temporale di 6 secondi.

La localizzazione degli eventi è stata eseguita con il software SEISMODESK, ed è consistita in:

1. analisi manuale dei sismogrammi, controllo manuale del picking delle fasi P ed S;
2. prima localizzazione tramite *Grid Search*: l'area di interesse viene discretizzata con una griglia regolare: ad ogni nodo vengono calcolati i tempi di arrivo teorici a tutte le stazioni, con un dato modello di velocità; questi tempi teorici vengono confrontati con i tempi identificati durante la detection, finché viene individuato il nodo con minore discrepanza, che diventa la prima soluzione ipocentrale: viene quindi avviata la ricerca dell'ipocentro nell'intorno del nodo;
3. analisi del Back Azimuth<sup>2</sup> all'interno del modello crostale stratificato e all'interno di un modello semplice con Vp e Vs uguali a quelle del primo strato del modello stratificato;
4. localizzazione definitiva con Hypo71.

Il modello crostale utilizzato è schematizzato in Tabella 4: per i dettagli sul modo in cui è stato ricavato si rimanda alla progettazione della rete [2].

---

<sup>2</sup> tecnica basata sul calcolo dell'angolo di emersione e della direzione di provenienza del primo arrivo. Utilizzando un modello stratificato è possibile percorrere a ritroso il cammino dell'onda. Tale tecnica, che si può utilizzare su tutte le stazioni singolarmente in maniera autonoma, necessita di un buon SNR e del *picking* delle onde P ed S.

Profondità [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]
0 - 500	2008	1116
500 - 600	2125	1181
600 - 900	2265	1258
900 - 1150	2395	1331
1150 - 1250	2410	1339
1250 - 1500	2420	1344
1500 - 2000	2625	1458
2000 - 3000	2991	1662
3000 - 4000	3400	1889
4000 - 5000	4300	2389

Tabella 4: modello di velocità

### 5.3. Eventi interni ai Domini di rilevazione

Nel periodo considerato (01 dicembre 2017 – 30 giugno 2018) sono stati localizzati tre eventi sismici nel Dominio Esteso di Rilevazione.

In Tabella 5 la stima della localizzazione, della magnitudo e del tempo origine.

Numero evento	Tempo origine UTC [gg/mm/aaaa hh:mm:ss]	Latitudine	Longitudine	Profondità [km]	M	Dominio
1	07/03/2018 20:16:38	44.3378	12.0567	10.0	1.42	Esteso
2	02/05/2018 12:56:51	44.4200	11.9719	12.0	2.35	Esteso
3	17/06/2018 23:10:46	44.5072	11.9219	10.0	0.67	Esteso

Tabella 5: eventi sismici localizzati nei Domini di Rilevazione. Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.

In Figura 8 sono mostrati gli epicentri degli eventi suddetti e le proiezioni in superficie dei Domini di Rilevazione.

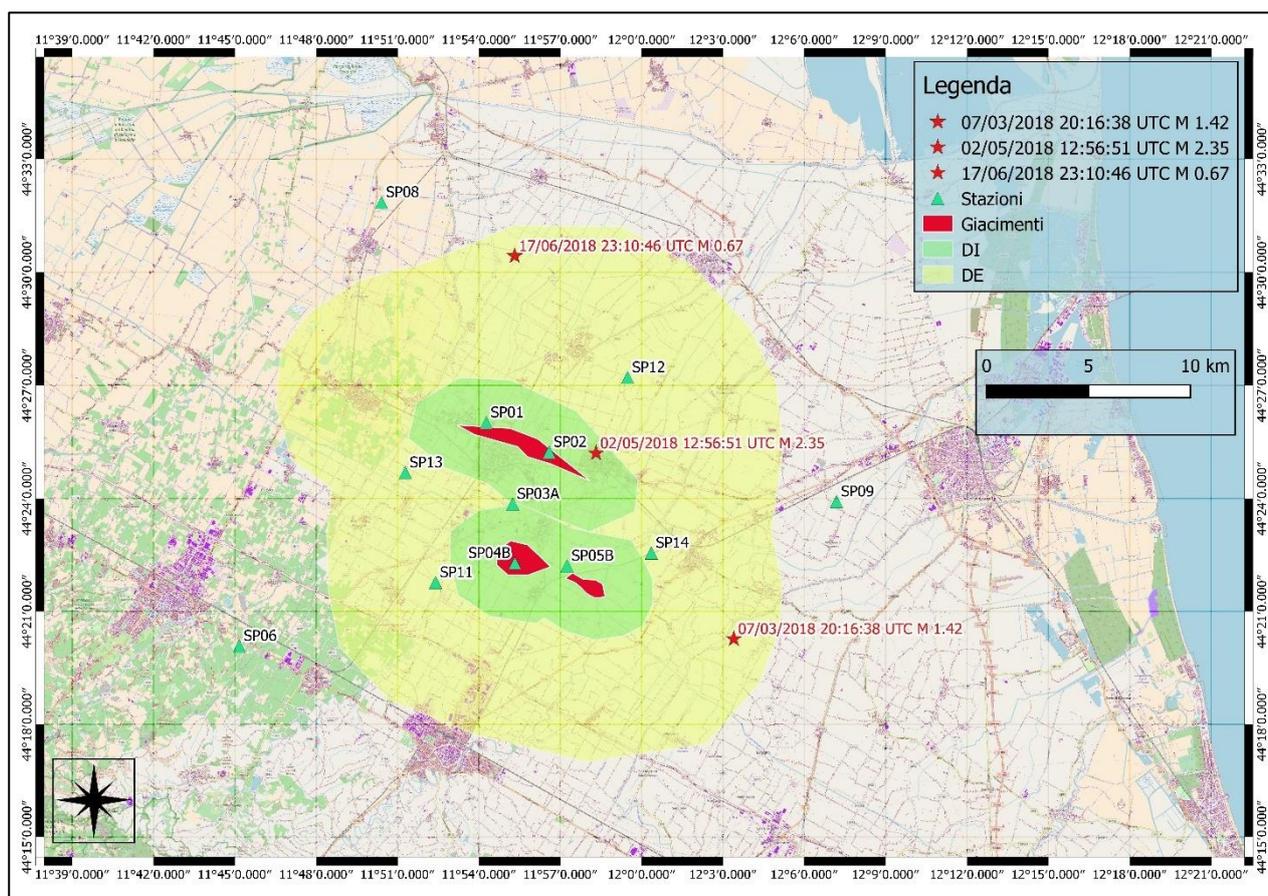


Figura 8: rete provvisoria superficiale ed eventi localizzati nei Domini di Rilevazione.

### 5.3.1. Evento 1: 07/03/2018 20:16:37 UTC – M 1.46

In Figura 9 sono mostrati i segnali, in velocità, dell'evento 1, localizzato nel Dominio Esteso il 7/03/2018 alle 20:16:46 UTC. Sono mostrate le componenti verticali dei segnali registrati dalle sole stazioni che sono state utilizzate per la localizzazione.

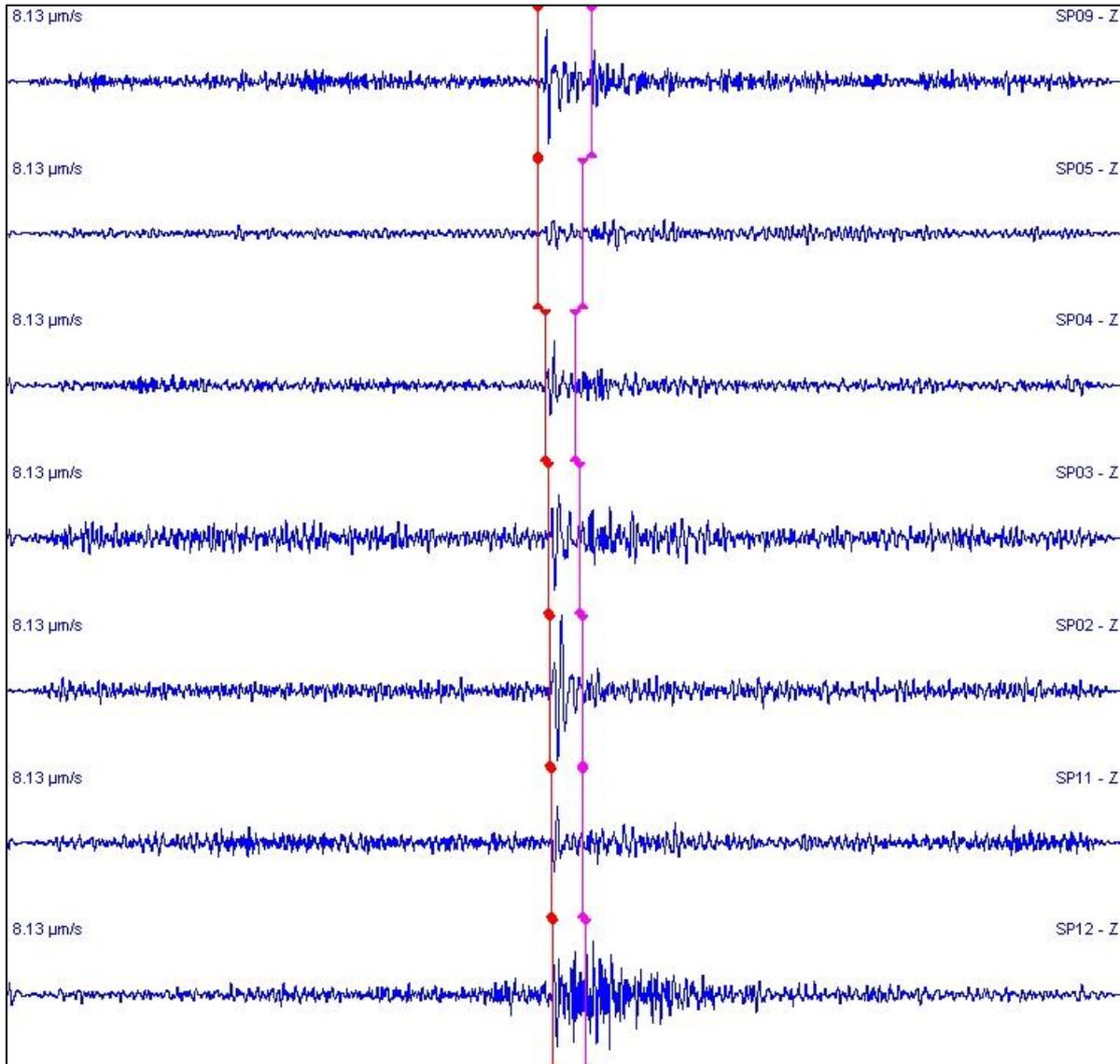


Figura 9: forme d'onda, in velocità, dell'evento 1, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. In rosso il picking dell'onda P, in rosa quello dell'onda S. Componente verticale.

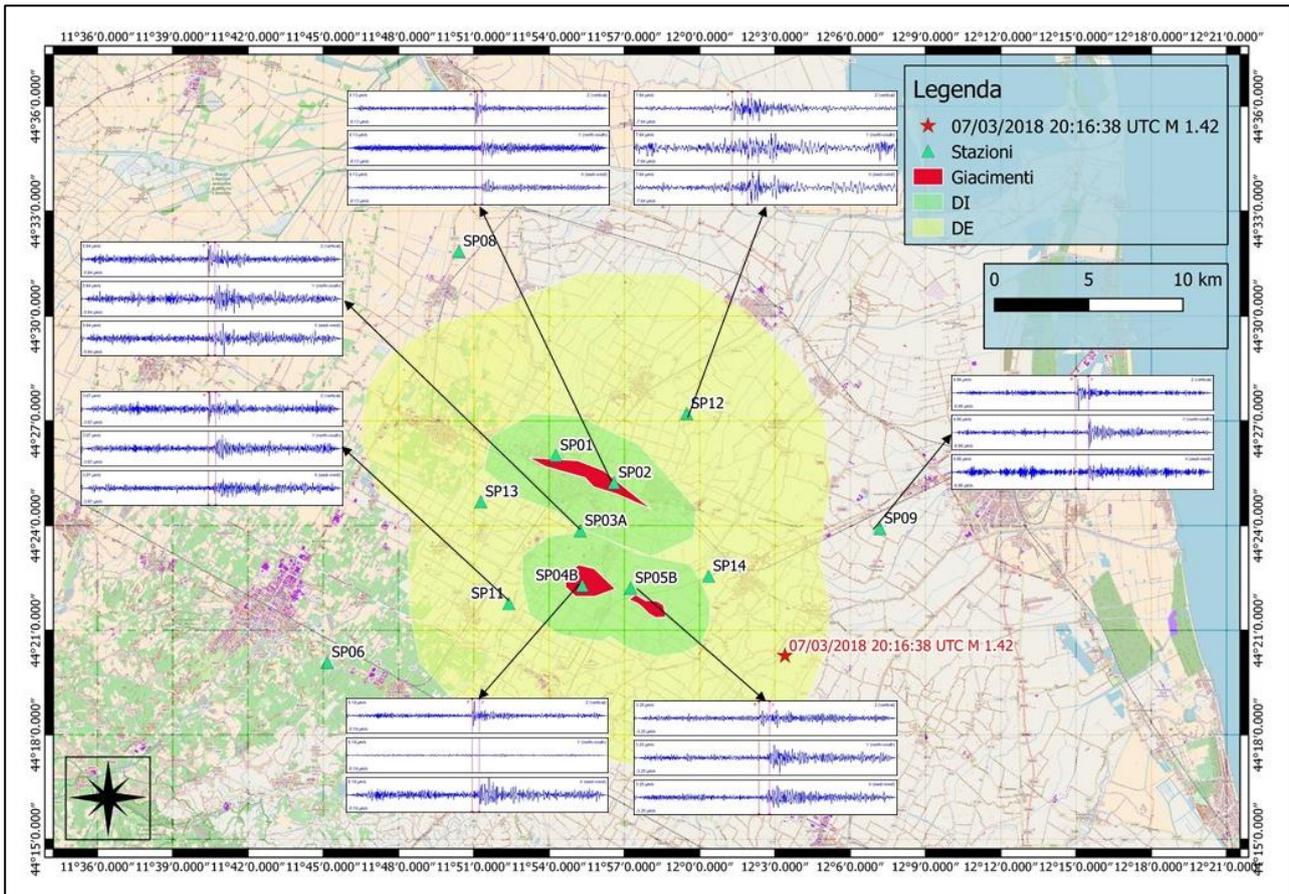


Figura 10: evento del 7/03/2018 20:16:38 UTC e segnali delle stazioni usate per la localizzazione.

La localizzazione è stata ottenuta utilizzando i dati delle stazioni SP02, SP03, SP04, SP05, SP09, SP11 e SP12.

### 5.3.2. Evento 2: 02/05/2018 12:56:51 UTC – M 2.35

In Figura 11 sono mostrati i segnali, in velocità, dell'evento 2, localizzato nel Dominio Estesio il 2/05/2018 alle 12:56:51 UTC. Sono mostrate le componenti verticali dei segnali registrati dalle sole stazioni che sono state utilizzate per la localizzazione.

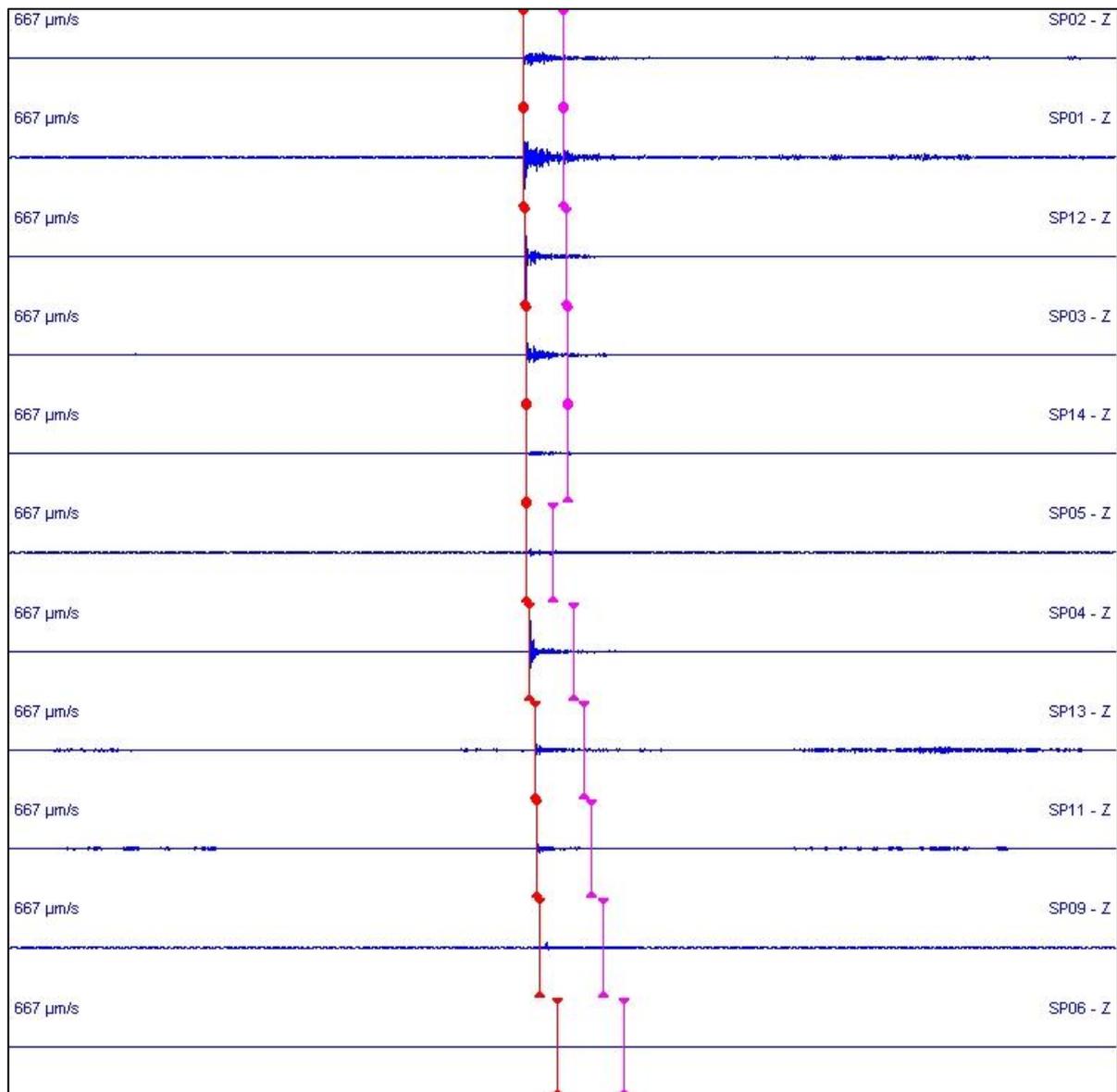


Figura 11: forme d'onda, in velocità, dell'evento 2, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. In rosso il picking dell'onda P, in rosa quello dell'onda S. Componente verticale

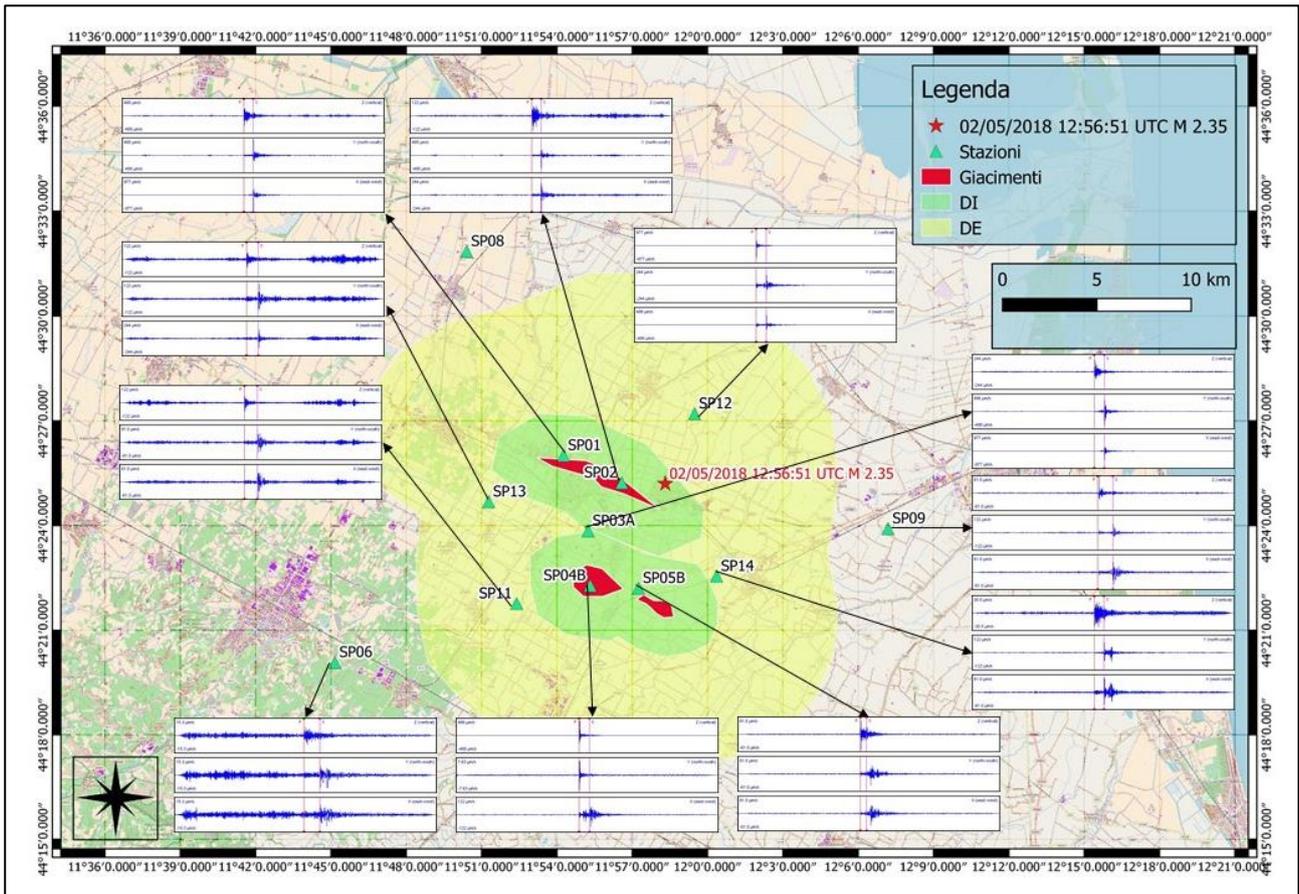


Figura 12: evento del 2/05/2018 12:56:51 UTC e segnali delle stazioni usate per la localizzazione.

Poiché l'evento è stato localizzato ad una profondità di 12 km, esso ricade nel Dominio Esteso: in mappa è riportato l'epicentro, che ricade nel Dominio Interno.

La localizzazione è stata ottenuta utilizzando i dati di tutte le stazioni tranne la SP08.

### 5.3.3. Evento 3: 17/06/2018 23:10:46 UTC – M 0.67

In Figura 13 sono mostrati i segnali, in velocità, dell'evento 3, localizzato nel Dominio Esteso il 17/06/2018 alle 23:10:46 UTC. Sono mostrate le componenti verticali dei segnali registrati dalle sole stazioni che sono state utilizzate per la localizzazione.

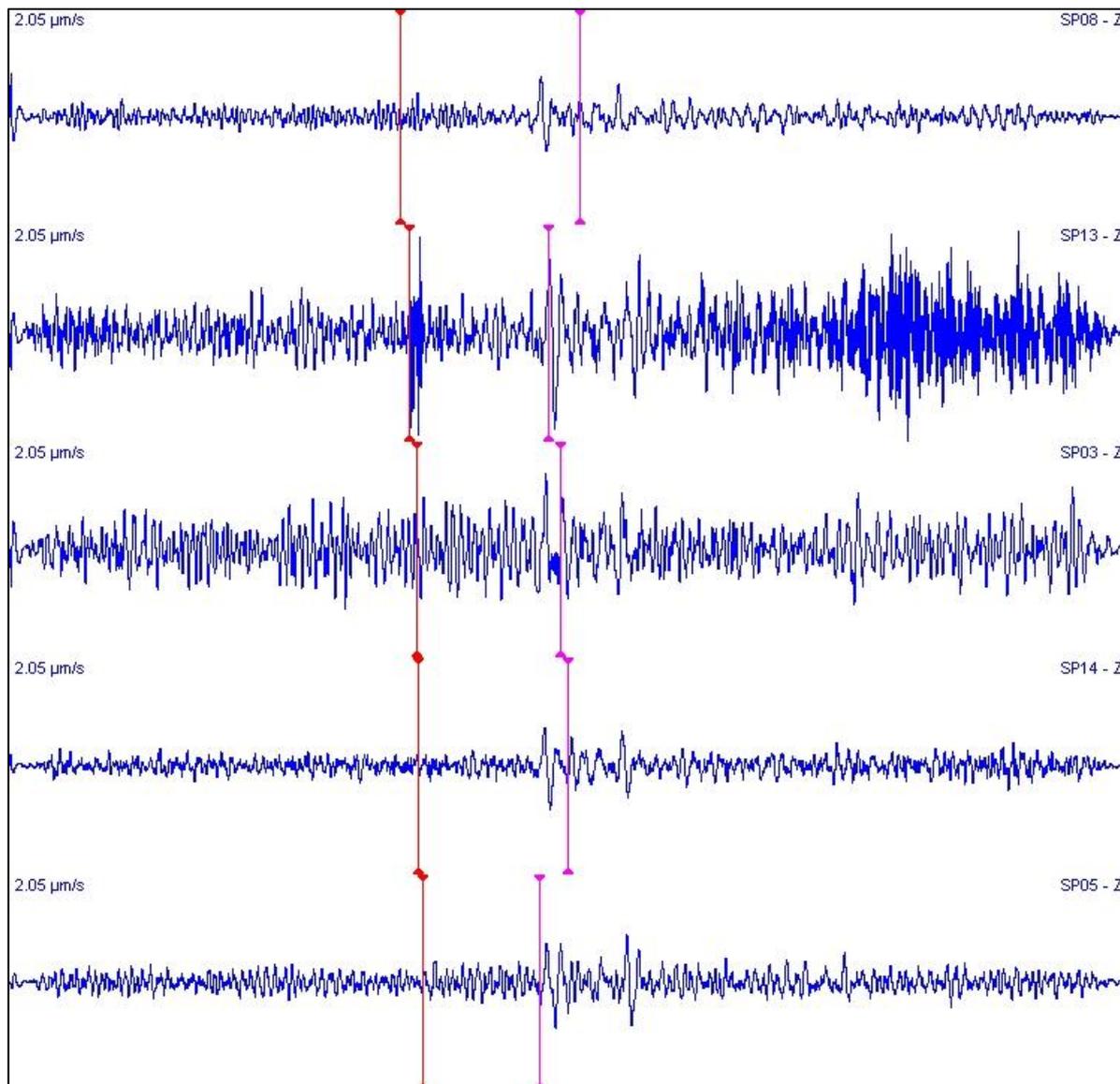


Figura 13: forme d'onda, in velocità, dell'evento 3, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. In rosso il picking dell'onda P, in rosa quello dell'onda S. Componente verticale

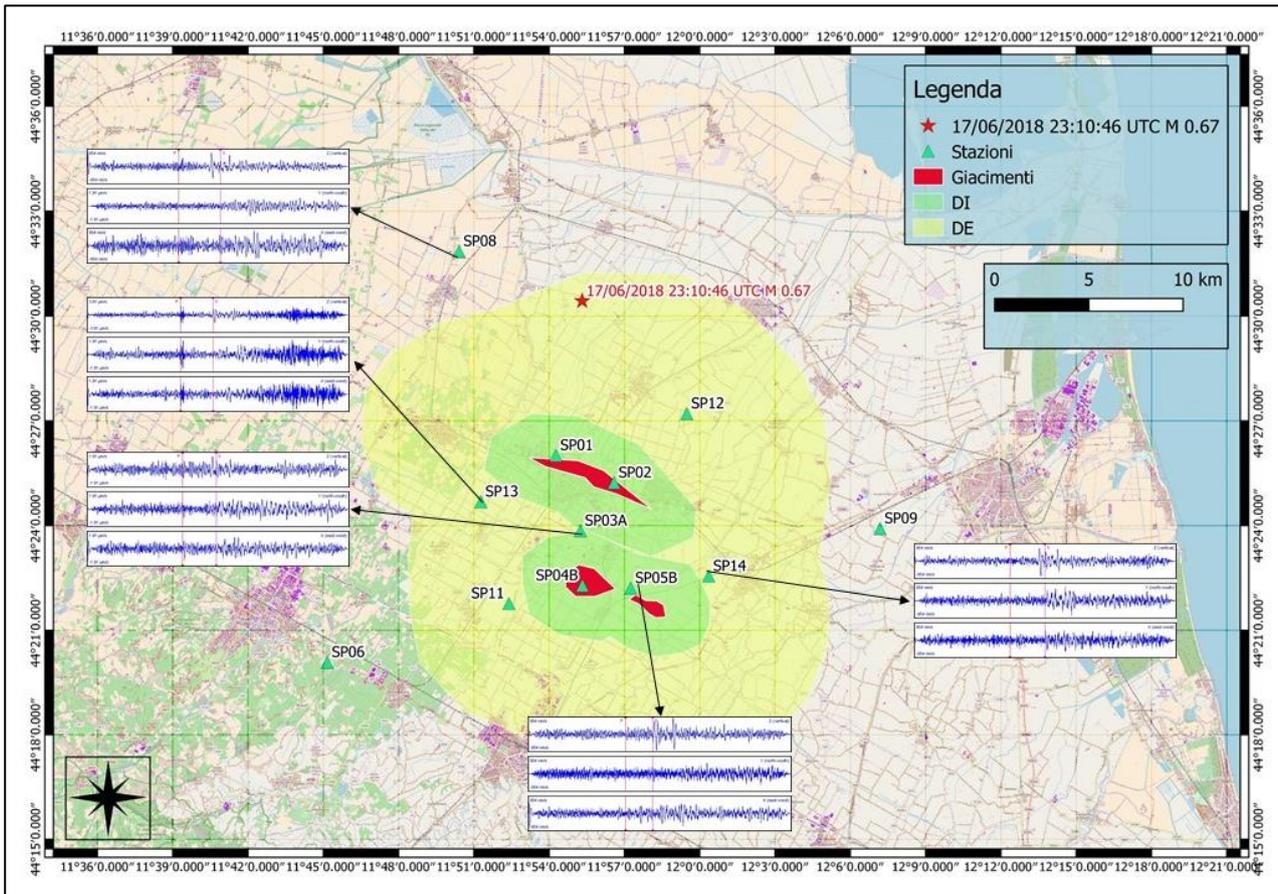


Figura 14: evento del 17/06/2018 23:10:46 UTC e segnali delle stazioni usate per la localizzazione.

La localizzazione è stata ottenuta utilizzando i dati delle stazioni SP03, SP05, SP08, SP13 e SP14.

## 5.4. Eventi esterni ai Domini di rilevazione ma il cui epicentro ricade nella zona di interesse

Si riportano anche due eventi sismici che sono stati localizzati a profondità tali da non ricadere nei Domini di Rilevazione, ma il cui epicentro ricade nella zona di interesse.

In Tabella 6 la stima della localizzazione, della magnitudo e del tempo origine.

Numero evento	Tempo origine UTC [gg/mm/aaaa hh:mm:ss]	Latitudine	Longitudine	Profondità [km]	M	Note
4	07/12/2017 16:47:59	44.3589	11.8836	20.0	2.55	Fuori Dominio
5	11/03/2018 09:21:51	44.3750	11.9147	17.0	1.68	

Tabella 6: eventi sismici esterni ai domini, ma il cui epicentro ricade nei Domini di Rilevazione. Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84.

In Figura 15 sono mostrati gli epicentri dei suddetti eventi e le proiezioni in superficie dei Domini di Rilevazione.

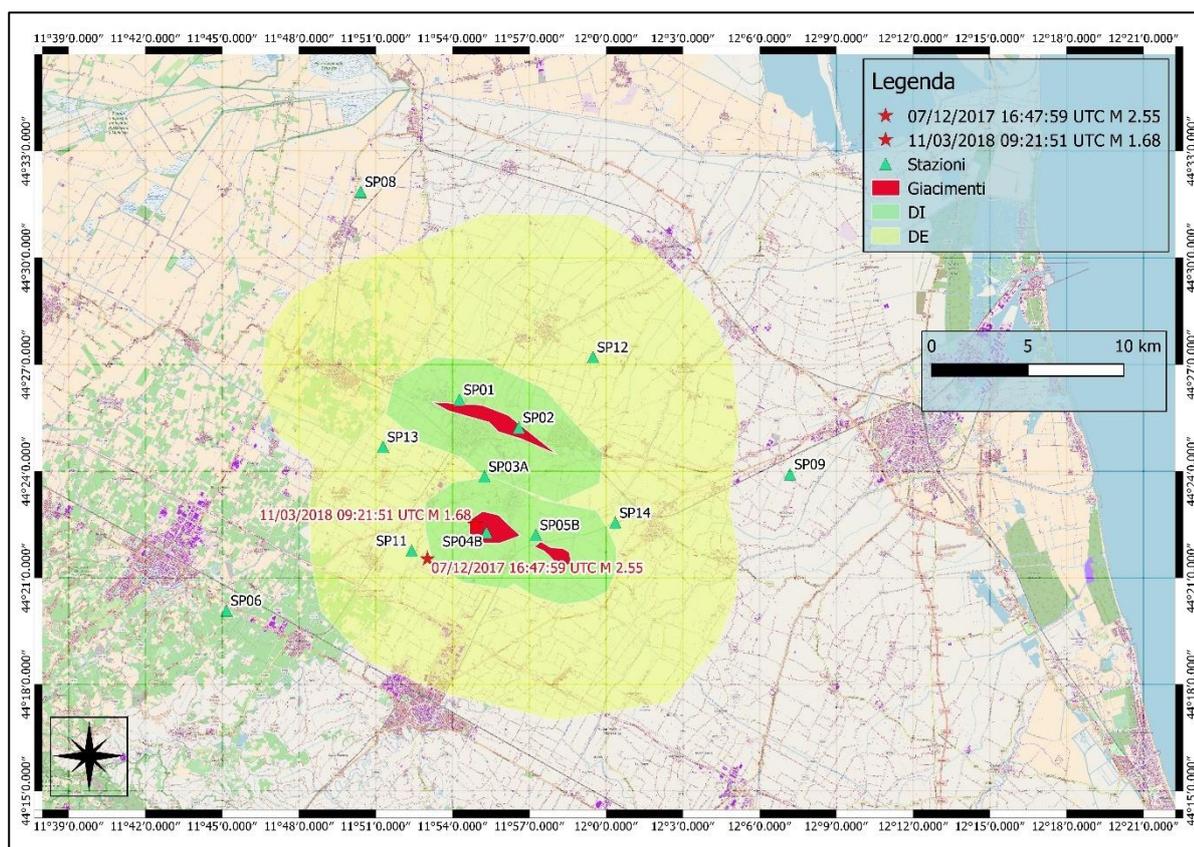


Figura 15: rete provvisoria superficiale ed eventi sismici esterni ai Domini di rilevazione, ma il cui epicentro ricade nella zona di interesse.

#### 5.4.1. Evento 4: 07/12/2017 16:47:59 UTC – M 2.55

In Figura 16 sono mostrati i segnali, in velocità, dell'evento 4, originatosi il 7/12/2017 alle 16:47:59 UTC, a 20 km di profondità. Sono mostrate le componenti verticali dei segnali registrati dalle sole stazioni che sono state utilizzate per la localizzazione.

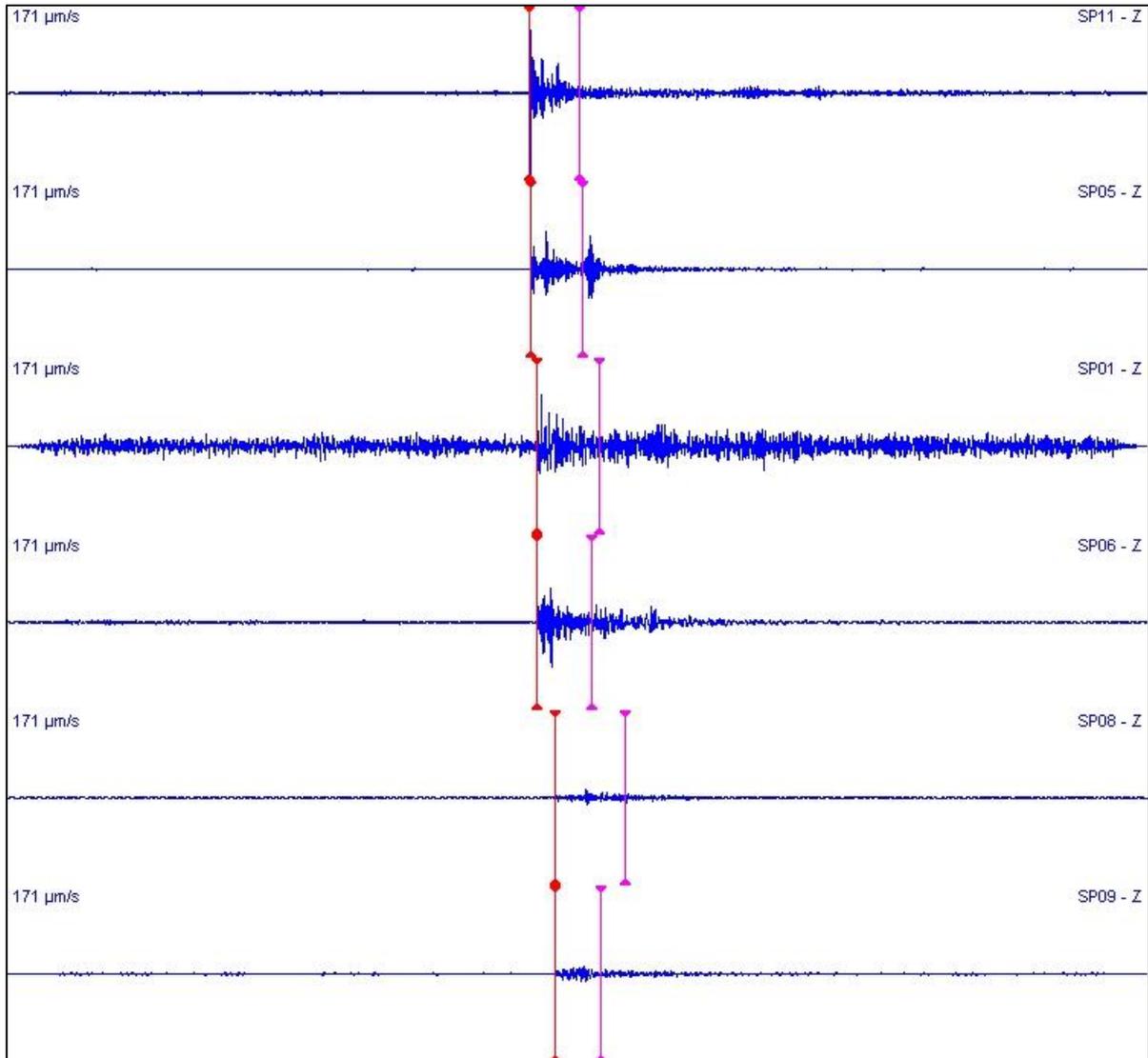


Figura 16: forme d'onda, in velocità, dell'evento 4, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. In rosso il picking dell'onda P, in rosa quello dell'onda S. Componente verticale.

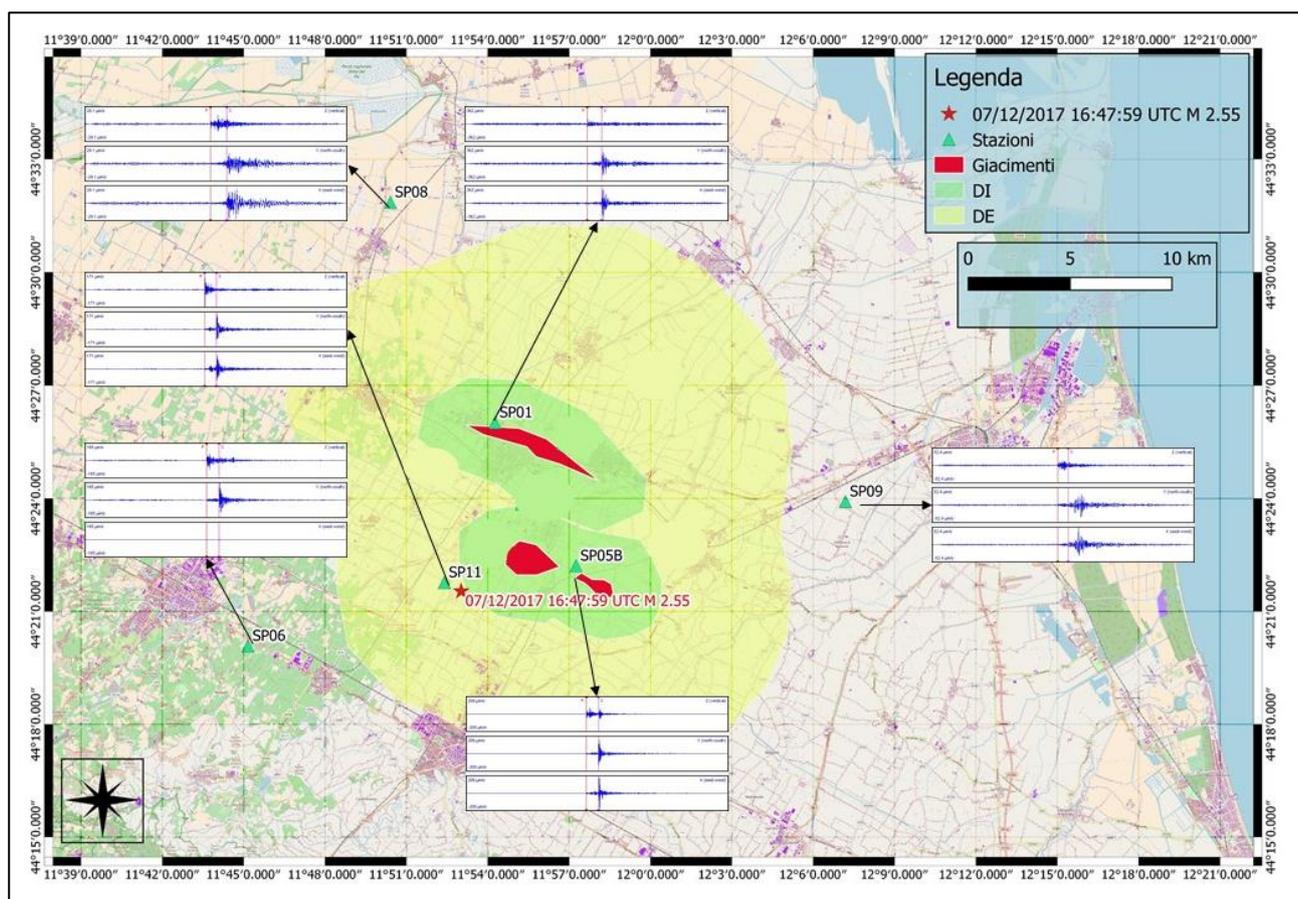


Figura 17: evento del 7/12/2017 16:47:59 UTC e segnali delle stazioni usate per la localizzazione.

Poiché l'evento è stato localizzato ad una profondità di 20 km, esso ricade al di fuori del Dominio Esteso: in mappa è riportato l'epicentro, che ricade nei Domini.

La localizzazione è stata ottenuta con tutte le stazioni che erano installate (le stazioni SP02, SP03 e SP04 sono state installate tra il 19 e il 21 dicembre 2017, le stazioni SP12, SP13 e SP14 a gennaio 2018).

### 1.1.1. Evento 5: 11/03/2018 09:21:51 UTC – M 1.68

In Figura 18 sono mostrati i segnali, in velocità, dell'evento 5, originatosi il 11/03/2018 alle 09:21:51 UTC a 17 km di profondità. Sono mostrate le componenti verticali dei segnali registrati dalle sole stazioni che sono state utilizzate per la localizzazione.

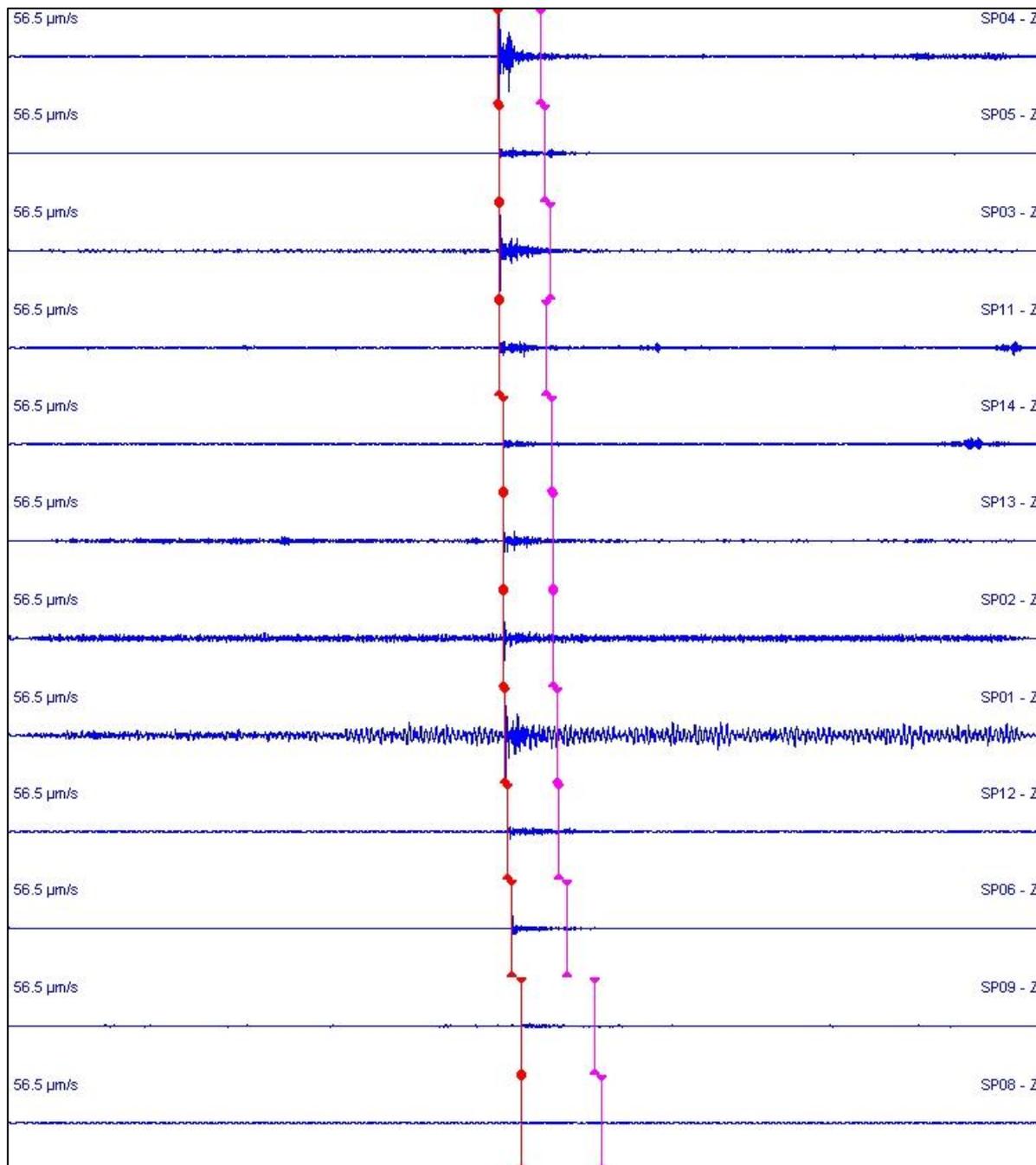


Figura 18: forme d'onda, in velocità, dell'evento 5, registrate dalle stazioni utilizzate per la localizzazione. In rosso il picking dell'onda P, in rosa quello dell'onda S. Componente verticale.

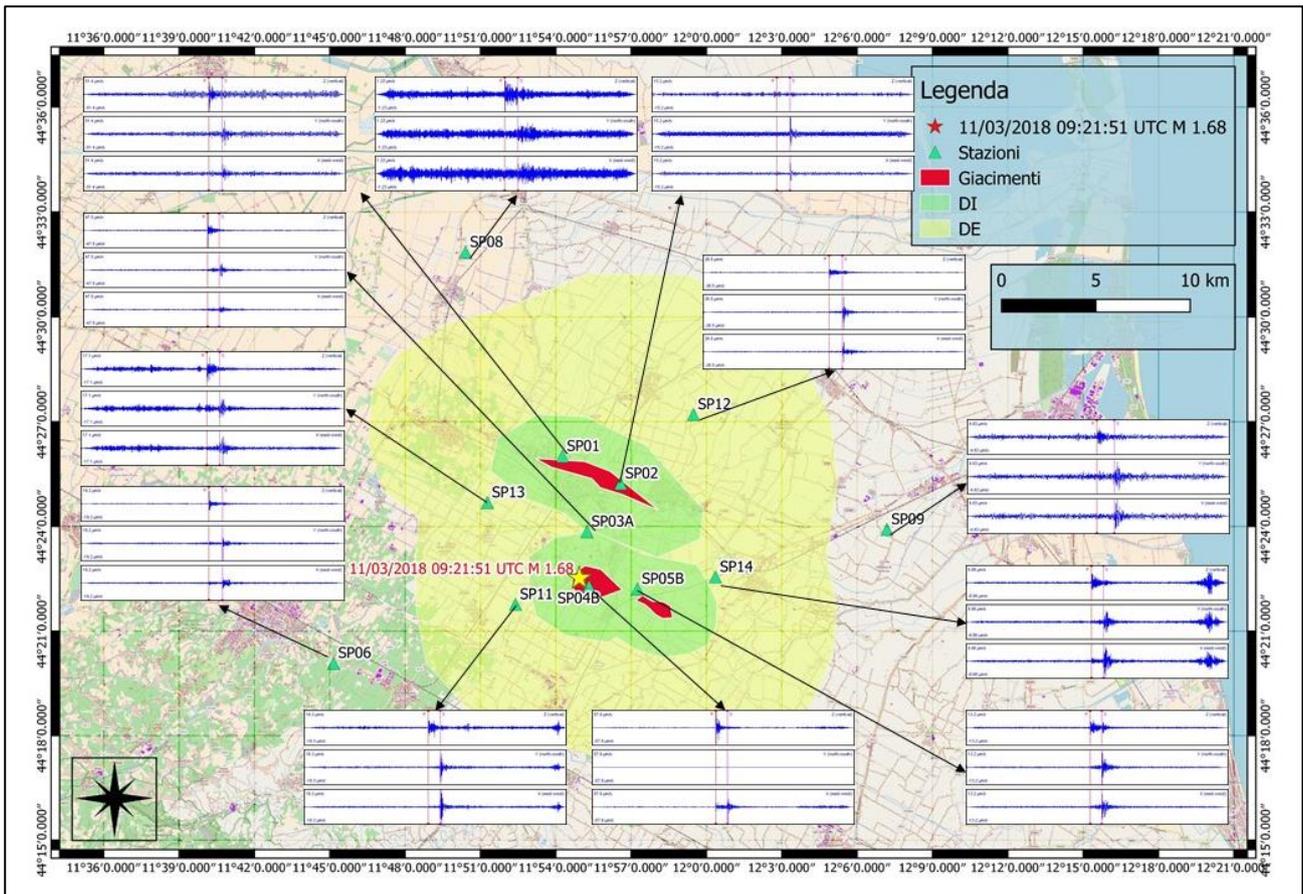


Figura 19: evento dell' 11/03/2018 09:21:51 UTC e segnali delle stazioni usate per la localizzazione.

Poiché l'evento è stato localizzato ad una profondità di 17 km, esso ricade al di fuori del Dominio Esteso: in mappa è riportato l'epicentro, che ricade nel Dominio Interno.

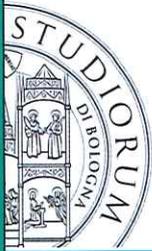
La localizzazione è stata ottenuta utilizzando i dati di tutte le stazioni.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Dialuce G., Chiarabba C., Di Bucci D., Doglioni C., Gasparini P., Lanari R., Priolo E., Zollo A. - *Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche* - 2014
- [2] Solgeo srl – *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) Rev. 3* – 2018
- [3] Solgeo srl – *Relazione dell'attività di monitoraggio microsismico svolto presso la concessione San Potito e Cotignola Stoccaggio nel periodo 13 luglio – 6 novembre 2017*
- [4] Trnkoczy A. – *Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm* – New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP) – 1999

## **ALLEGATO 5**

**Parere tecnico-scientifico dell'Università di Bologna e sintesi del progetto definitivo della rete microsismica**



**DICAM**

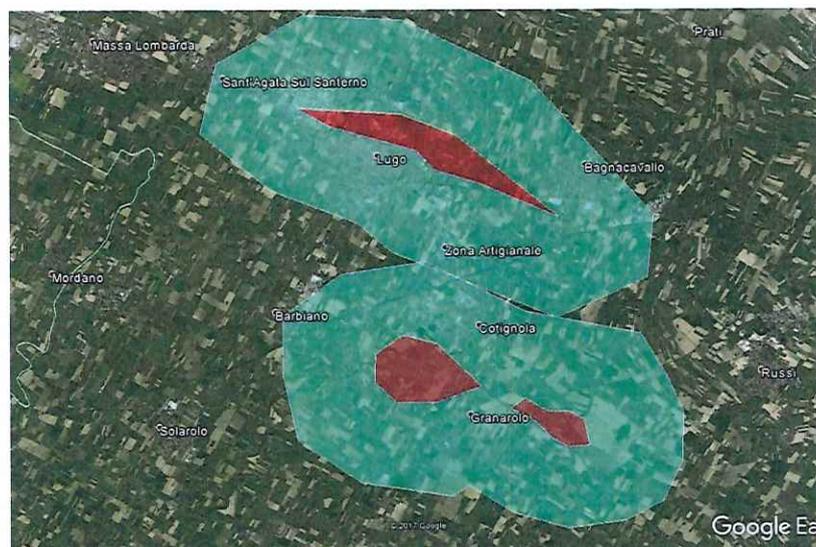
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

**CONTRATTO DI CONSULENZA COMMISSIONATA TRA  
EDISON STOCCAGGIO S.p.A.**

**e**

**DICAM, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna**

**Elaborazione di pareri sulla progettazione di una rete microsismica e geodetica  
presso il campo di stoccaggio gas naturale di San Potito-Cotignola,  
in concessione a Edison Stoccaggio S.p.A.**



**Parere finale**

**Prof. Paolo Macini<sup>1</sup>, Prof Stefano Gandolfi<sup>1</sup>, Prof. Paolo Gasperini<sup>2</sup>**

1- DICAM, Università di Bologna

2- DIFA, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Bologna

**Bologna, 30 maggio 2018**

AUTORI

Prof. Stefano Gandolfi

Prof. Paolo Gasperini

Prof. Paolo Macini

DIRETTORE

Prof. Alberto Montanari

RESPONSABILE SCIENTIFICO

Prof. Paolo Macini

## CENTRO LABORATORI DICAM

LAB. BIOTECNOLOGIE AMBIENTALI E BIORAFFINERIE • LABIOTEC  
LAB. GEOINGEGNERIA E RISORSE NATURALI • LAGIRN  
LAB. GEOMATICA E RILIEVO • LARIG  
LAB. INGEGNERIA IDRAULICA • LIDR  
LAB. INGEGNERIA STRUTTURALE E GEOTECNICA • LISG  
LAB. MECCANICA COMPUTAZIONALE • LAMC  
LAB. RETI DI TRASPORTO • LART  
LAB. SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI • LASTM  
LAB. SINTESI E CARATTERIZZAZIONE DI MATERIALI MACROMOLECOLARI • LAMAC  
LAB. STRADE • LAS  
LAB. INGEGNERIA CHIMICA E DI PROCESSO • LABIC  
LAB. PROGETTAZIONE ASSISTITA E MODELLAZIONE NUMERICA • PAM  
LAB. DI DIAGNOSTICA STRUTTURALE • LADS

[WWW.DICAM.UNIBO.IT](http://WWW.DICAM.UNIBO.IT)

2018

ALMA MATER STUDIORUM • UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DICAM • DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI  
AMMINISTRAZIONE • VIALE RISORGIMENTO, 2 - 40136 BOLOGNA - ITALIA - TEL. +39 051 2093237 - 2093502 - FAX +39 051 2093253  
VIA TERRACINI, 28 - 40131 BOLOGNA - ITALIA - TEL. +39 051 2090312 - FAX +39 051 2090322  
[www.dicam.unibo.it](http://www.dicam.unibo.it) - C.F. 80007010376 - P.IVA 01131710376

RESPONSABILE SCIENTIFICO

Prof. Paolo Macini



## ELENCO DELLA DOCUMENTAZIONE RICEVUTA DALLA COMMITTENZA NEL PERIODO GIUGNO 2017 – MAGGIO 2018

- [1] Progettazione di una rete di monitoraggio microsismico provvisoria presso l'impianto di stoccaggio gas denominato "San Potito e Cotignola Stoccaggio", Rev. 0 (23/06/2017)
- [2] Analisi di rumore sismico ambientale presso le posizioni ipotizzate per le stazioni della rete di monitoraggio microsismico da installare presso l'impianto di stoccaggio gas denominato "San Potito e Cotignola stoccaggio", Rev. 0 (del 28/07/2017)
- [3] Progettazione della rete di Monitoraggio microsismico da installare presso l'impianto di stoccaggio gas denominato "San Potito e Cotignola stoccaggio", Rev. 0 (del 25/07/2017)
- [4] Estratto della progettazione di una rete di monitoraggio microsismico provvisoria presso l'impianto di stoccaggio gas denominato "San Potito e Cotignola stoccaggio", Rev. 0 (del 31/07/2017)
- [5] Progettazione della rete di Monitoraggio microsismico da installare presso l'impianto di stoccaggio gas denominato "San Potito e Cotignola stoccaggio", Rev. 1 (del 06/09/2017)
- [6] 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), Rev. 2 (del 24/10/2017).
- [7] Analisi di rumore sismico ambientale – dati acquisiti presso la stazione microsismica denominata SP01 con un array di sismometri in pozzo, Rev. 0 (del 20/02/2018).
- [8] 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), Rev. 3.2 (del 28/05/2018) e relativi allegati

## PREMESSA

Il presente parere finale è il consuntivo di un serie di attività svolte dal mese di giugno 2017 ad oggi, e che sommariamente sono sintetizzabili in tre punti:

- 1- Supporto preliminare allo sviluppo operativo del progetto della rete di monitoraggio microsismico da installare presso l'impianto di stoccaggio gas denominato "San Potito e Cotignola stoccaggio". Tale supporto si è svolto attraverso riunioni tecniche presso la sede del committente e o scambio di documenti e pareri per via telefonica o telematica. In particolare, nel periodo giugno-luglio 2017, a valle documentazione ricevuta dalla committenza (Documenti [1], [2], [3] e [4]), è stato necessario valutare gli stati di avanzamento del progetto e fornire indicazioni e pareri tecnici sia in merito alle relazioni ricevute, sia in merito alle analisi condotte. Tali azioni, si sono anche formalizzate con l'invio di una nota in data 1 agosto 2017 relativa al monitoraggio microsismico provvisorio, Documento [4], riportata in allegato al parere preliminare del 21 settembre 2017 (vedi punto successivo).
- 2- Redazione di parere preliminare di natura tecnico-scientifica in merito ai Documenti [3] e [5], con particolare riferimento a quest'ultimo, ricevuto in data 06/09/2017 e denominato *Progettazione della rete di Monitoraggio microsismico da installare presso l'impianto di stoccaggio gas denominato "San Potito e Cotignola stoccaggio", Rev. 1.*
- 3- Supporto allo sviluppo teorico e operativo del progetto finale della rete di monitoraggio microsismico da installare presso l'impianto di stoccaggio gas denominato "San Potito e Cotignola stoccaggio". In particolare, l'attività svolta in quest'ultima fase (ottobre 2017 - maggio 2018) ha riguardato essenzialmente l'integrazione nel progetto (Documento [5]), di cui al precedente punto 2, delle sperimentazioni di campo effettuate con una serie di sismometri (*array*) installati in un foro fino a profondità 285 m, appositamente realizzato allo scopo di valutare la riduzione del rumore ambientale rispetto ai sismometri installati in superficie (Documenti [6], [7] e [8]).

Il precedente punto 3 costituisce l'aspetto principale dell'attività che ha portato alla redazione del presente parere finale, e che è riferito alla versione definitiva del progetto, ovvero il Documento [8]. L'attività è stata svolta proseguendo gli incontri con la committenza, al fine di focalizzare gli aspetti metodologici e fornendo ulteriore supporto scientifico alle decisioni progettuali.

## INTRODUZIONE

La progettazione di una rete di monitoraggio nell'area circostante un giacimento di produzione di idrocarburi o di stoccaggio gas naturale nel sottosuolo deve tendere a soddisfare i requisiti indicati nel documento "INDIRIZZI E LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DELLA SISMICITÀ, DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO E DELLE PRESSIONI DI PORO NELL'AMBITO DELLE ATTIVITÀ ANTROPICHE" (da qui in poi denominate ILG, Indirizzi Linee Guida, e reperibili su [http://unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85\\_238.pdf](http://unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf)), indirizzi che oggi costituiscono le specifiche tecniche avanzate di monitoraggio ambientale adottate dalla Direzione Generale per la Sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche (DGS-UNMIG) del Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE).

Ovviamente, il contesto geologico e geofisico nel quale si è chiamati ad operare non è irrilevante dal punto di vista del monitoraggio, poiché coesistono molteplici fattori che possono ridurre le reali capacità di una rete di monitoraggio di osservare e/o registrare eventi sismici anche di entità particolarmente modesta, come quelli cui si fa riferimento nelle ILG.

La progettazione di una rete di monitoraggio si concretizza, nel suo atto finale, nell'installazione sul territorio di un numero finito di strumenti in determinate posizioni (stazioni). In particolare, per la rete microsismica, i sensori, a seconda delle caratteristiche del sottosuolo, della conformazione e dell'uso del territorio e delle esigenze logistiche, possono essere collocate in superficie, oppure in profondità (stazioni in pozzo). La scelta della tipologia, dell'ubicazione, della profondità di installazione dei sismometri, congiuntamente alla scelta circa l'area di copertura della rete e la densità di stazioni sismometriche da istituire, costituiscono aspetti rilevanti della progettazione della rete di monitoraggio microsismico, e che in generale devono essere definiti a valle della conoscenza preliminare dei vari aspetti territoriali dell'area in oggetto, nonché dalla sua geologia superficiale e profonda, dalle caratteristiche del giacimento da monitorare, oltre che da osservazioni e misure del livello di rumore antropico.

## PARERE

Al termine delle attività di analisi degli aspetti territoriali dell'area in oggetto, nonché della geologia superficiale e profonda, delle caratteristiche del giacimento da monitorare, insieme alle misure di rumore che caratterizzano i siti prescelti per l'installazione delle stazioni sismometriche, la committenza ha redatto il Documento [8], *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), Rev. 3.2 (del 28/05/2018) e relativi allegati. Tale documento è allegato al presente Parere, e ne costituisce parte integrante.

La metodologia utilizzata per la redazione del presente parere finale è stata quella di analizzare e validare le procedure generali del lavoro, i metodi utilizzati nelle diverse fasi di analisi e interpretazione delle misure di campo, la consistenza e la congruenza dei dati utilizzati, e la verifica della coerenza delle analisi e dei risultati in relazione ai dati usati.

Non è stata eseguita una validazione dei risultati numerici, in quanto sarebbe stato necessario riprocessare in maniera indipendente i dati, e rielaborare i modelli; tale attività non era prevista nelle attività in oggetto del presente parere. Sono stati comunque considerati i risultati ottenuti alla luce delle conoscenze generali sul tema, sui metodi e, nello specifico, sulla conoscenza delle caratteristiche sismiche e geologiche dell'area di studio.

La procedura seguita durante la progettazione è stata logica e pertinente allo scopo prefissato e al contesto normativo, i dati sono stati adeguatamente selezionati e interpretati, così come le metodologie, sia quelle ricavate dalla letteratura che quelle implementate specificamente per la redazione del progetto.

Per quanto attiene la progettazione della rete sismica, la metodologia progettuale è esauriente, sono state prodotte analisi e soluzioni analitiche consolidate e coerenti con la letteratura scientifica sul tema. I risultati ottenuti sono sostenuti dai dati utilizzati e permettono di definire comportamenti di massima della rete di monitoraggio microsismico, in linea con quanto specificato nel documento ILG della Direzione Generale per la Sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche (DGS-UNMIG) del Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE). Si rileva peraltro che la verifica della reale efficienza detettiva della rete non potrà che essere accertata a posteriori, durante l'esercizio su un adeguato periodo di tempo.

RESPONSABILE SCIENTIFICO

Prof. Paolo Macini



Per quanto attiene la progettazione della rete geodetica, considerando la morfologia dell'area e l'assenza di evidenti sorgenti di disturbo elettromagnetico, non vi è stata l'esigenza di eseguire verifiche preliminari di campo. La progettazione è stata eseguita in modo standard, considerando criteri di omogeneità e densità di stazioni, in linea con quanto definito nel documento ILG.

Alla luce delle attuali conoscenze, si esprime quindi un parere ampiamente positivo su tale progetto.

In particolare, la rete di monitoraggio microsismico, quando sarà completata, si configurerà probabilmente come la rete più avanzata fino ad ora installata in Italia a seguito dell'emanazione del documento ILG.

Bologna, 30 Maggio 2018

Il Responsabile scientifico

Prof. Paolo Macini  


Il Direttore

Prof. Alberto Montanari  


SEGUE il testo integrale del documento [8], *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), Rev. 3.2 (del 28/05/2018) e relativi allegati.

Testo integrale del documento [8], *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)*, Rev. 3.2 (del 28/05/2018) e relativi allegati.

**Edison Stoccaggio S.p.A.**

**Progettazione della rete di monitoraggio  
microsisimico e della rete geodetica di  
raffittimento presso l'impianto di  
stoccaggio gas denominato "San Potito e  
Cotignola Stoccaggio" (Ra)**

Oggetto: Progettazione per rete microsisimica e raffittimento rete geodetica San Potito e Cotignola (Ra). **VERSIONE DEFINITIVA**

Cliente: EDISON STOCCAGGIO S.p.a.

ref  
S17MN03

Autori  
Chiara Cocorullo, Lorenzo Russo

Date  
28 May 2018

Checked By  
Filippo Di Fronzo – Stefano Limonta

date  
28 May 2018

Cod.  
S17MN03

Version  
Rev. 3.2 - 28 May 2018

Solgeo S.r.l.  
via Pastrengo 9  
24068 Seriate (BG)- Italy  
Tel. +39035 4520075  
[www.solgeo.it](http://www.solgeo.it) e\_mail [info@solgeo.it](mailto:info@solgeo.it)



### Versione

COD	NOTE
Rev. 00 – Agosto 2017	1 <sup>a</sup> Emissione
Rev. 01 – Settembre 2017	2 <sup>a</sup> Emissione
Rev. 02 –Ottobre 2017	3 <sup>a</sup> Emissione
Rev. 03 – Maggio 2018	4 <sup>a</sup> Emissione



## Indice

PREMESSA .....	5
DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO.....	6
1 INTRODUZIONE.....	9
2 ANALISI PRELIMINARE TERRITORIALE .....	11
3 DEFINIZIONE DELLE AREE DI MONITORAGGIO.....	15
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	17
4.1 Pericolosità sismica e sismicità storica .....	31
5 INQUADRAMENTO MINERARIO .....	40
5.1 Il giacimento di San Potito.....	41
5.2 Il giacimento di Cotignola .....	46
6 SCELTA DEI SITI E VALUTAZIONE DEL RUMORE SISMICO.....	53
7 RILEVABILITÀ DEGLI EVENTI SISMICI.....	59
7.1 Detezione della stazione SP01 in pozzo .....	70
7.2 Detezione della rete con stazioni in pozzo .....	74
8 MODELLO DI VELOCITÀ.....	81
9 STRUMENTAZIONE MICROSISMICA.....	84
9.1 Trasmissione dei dati .....	86
9.2 Dimensionamento della banda .....	88
9.3 Alimentazione.....	89
10 RETE GEODETICA .....	92
10.1 Inquadramento della stazione di riferimento della rete di monitoraggio.....	95
10.2 Strumentazione geodetica .....	97
10.3 Monumentazione .....	100
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	102

## Abbreviazioni

Acc	Accelerometro
AEI	Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore
AES	Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore
BB	Broadband
CIRM	Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie
CPTI	Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani
DE	Dominio Esteso
DI	Dominio Interno
DISS	Database of Individual Seismogenic Sources
DOY	Day of Year
EPN	EUREF Permanent Network
EUREF	IAG Reference Frame Sub-Commission for Europe
Fm	Formazione
FTP	File Transfer Protocol
GPS	Global Positioning System
GNSS	Global Navigation Satellite System
IAG	International Association of Geodesy
ICHESE	International Commission on Hydrocarbons, Exploration and Seismicity in the Emilia Region
INGV	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
InSAR	Interferometric Synthetic- Aperture Radar
ISIDe	Italian Seismological Instrumental and parametric Data-base
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
LG	Linee guida MISE
MISE	Ministero dello Sviluppo Economico
NHNM	New High Noise Model
NLNM	New Low Noise Model
PSD	Power Spectral Density
Rggmm	Radiazione globale giornaliera media mensile
RING	Rete Integrata Nazionale GNSS
RSN	Rete Sismica Nazionale
Sism	Sismometro
S/N	Signal to Noise ratio
Sup.	Superficie

## PREMESSA

Il presente documento (Rev.3.2), differisce dal precedente (Rev. 2 del 24 ottobre 2017) perché presenta nuove elaborazioni eseguite su nuovi dati, a disposizione da fine gennaio, mese in cui è stato installato un array verticale in pozzo nel sito SP01. L'obiettivo di tali elaborazioni, come annunciato nella Rev. 2, è stato quello di definire la profondità dei pozzi in cui installare 8 stazioni sismiche: sui dati acquisiti dai sensori nell'array in pozzo è stata svolta un'elaborazione atta a determinare il decadimento del rumore con la profondità e sono state eseguite nuove simulazioni al fine di stimare la capacità di rilevazione della stazione SP01 in pozzo.

Prima di estendere i risultati alle altre stazioni, si è scelto di porsi nella peggiore situazione dal punto di vista del rumore piuttosto che in una situazione media, e quindi si sono elaborati nuovamente i dati acquisiti durante le campagne di rumore sismico ambientale svoltesi in giugno 2017, considerando però solo orario diurno.

Infine, si sono estesi i risultati dell'elaborazione in pozzo e delle simulazioni alle altre stazioni da installare in profondità, in modo da stimare la capacità della rete nella sua configurazione definitiva.

La stazione SP14, come indicato in Rev. 2, è stata spostata, e risulta adesso nel DI. Le coordinate delle altre stazioni sono spostate di qualche metro: le posizioni indicate in Tabella 1 sono quelle definitive, a fronte della finalizzazione degli accordi intercorsi con i proprietari.

Gran parte delle figure sono state estratte dal testo principale, e vengono presentate in forma di allegato.

## DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L'oggetto del presente studio è la progettazione di una rete di monitoraggio microsismico da realizzare presso la Concessione di Stoccaggio gas denominata *San Potito e Cotignola Stoccaggio*, gestita da Edison Stoccaggio Spa. La progettazione di questo sistema di monitoraggio è in conformità con il documento *"Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche"* [1], redatto nel 2014 dal Gruppo di Lavoro istituito dalla Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie (CIRM) del MISE (Ministero dello Sviluppo Economico).

La rete è stata progettata considerando i seguenti aspetti:

- il contesto normativo nel quale si inserisce la scelta del monitoraggio del campo di stoccaggio gas, descritto nel capitolo INTRODUZIONE;
- gli aspetti geologici e morfologici delle aree soggette a monitoraggio (Domini di Rilevazione) e dei siti in cui localizzare i punti di misura, nel capitolo DEFINIZIONE DELLE AREE DI MONITORAGGIO; nell'ALLEGATO 1 sono riportate la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000 di ogni area individuata, la tabella con le informazioni generali di ogni stazione di monitoraggio, e le foto del sito e della strumentazione utilizzata per le misure di rumore ambientale o in fase di installazione della rete provvisoria;
- gli aspetti geologici dell'area di interesse, descritti nel capitolo INQUADRAMENTO GEOLOGICO;
- l'inquadramento sismologico dell'area, nel paragrafo Pericolosità sismica e sismicità storica;
- l'inquadramento minerario dei giacimenti, nel capitolo INQUADRAMENTO MINERARIO;
- la valutazione del rumore sismico ambientale nei siti proposti, attraverso l'elaborazione di dati acquisiti durante quattro campagne di acquisizione, ciascuna di una settimana circa, come descritto nel capitolo SCELTA DEI SITI E VALUTAZIONE DEL RUMORE SISMICO;
- la valutazione del livello di detezione della rete, nel capitolo RILEVABILITÀ DEGLI EVENTI SISMICI;
- la strumentazione, la trasmissione dei dati e gli aspetti legati alla realizzazione dell'alimentazione delle stazioni sismiche, descritti nel capitolo STRUMENTAZIONE;
- la rete geodetica, come proposta nel capitolo RETE GEODETICA;

Lo studio ha portato all'individuazione di 15 punti di misura, sintetizzati in Tabella 1: i siti si sono rivelati molto rumorosi, pertanto, al fine di ridurre i rumori antropici e migliorare la capacità di rilevazione degli eventi sismici, si propone l'installazione di 8 stazioni in pozzi di profondità circa 200 m, così da ottenere una magnitudo di completezza, calcolata in base a misure eseguite in superficie e attese in profondità (v. Cap. 7), pari a 1.0 nel Dominio Interno di Rilevazione.

Per stabilire la profondità di installazione dei sensori, è stato perforato un pozzo di 285 m in corrispondenza del sito denominato SP01: a gennaio 2018 vi è stato installato un array verticale equipaggiato con 6 sismometri triassiali posizionati ogni 50 m (il primo a profondità 35 m e l'ultimo a 285 m). Si sono elaborati i dati al fine di ottenere una stima dell'attenuazione del rumore sismico ambientale con la profondità. Per i dettagli dell'elaborazione si veda il paragrafo *Detezione della stazione SP01 in pozzo*.

Il sistema di monitoraggio proposto prevede anche una rete geodetica costituita da 11 stazioni permanenti, co-locate con le stazioni microsismiche, che costituiranno il raffittimento della rete geodetica già esistente.

ID	Area/Proprietario	Latitudine	Longitudine	Strumentazione	Stazione GPS	Dominio
SP01	Area Edison Pozzo 6	44.433748°	11.904231°	Array in pozzo + BB	Rover	Interno
SP02		44.437697°	11.960797°	Sism. pozzo + acc	Rover	Interno
SP03		44.399778°	11.918472°	Sism. pozzo + acc	Rover	Interno
SP04	Area Edison	44.371509°	11.919130°	Sism. pozzo + acc	Rover	Interno
SP05	Area Edison Trappole PIG	44.369958°	11.954506°	Sism. pozzo + acc	Rover	Interno
SP06		44.333389°	11.749564°	Sism. sup. + acc	NO	Oltre il DE
SP07		44.244694°	11.926417°	Sism. sup. + acc	NO	Oltre il DE
SP08		44.530917°	11.840028°	Sism. sup. + acc	NO	Oltre il DE
SP09		44.398181°	12.118394°	Sism. sup. + acc	Rover	Oltre il DE
SP10		44.288222°	12.126083°	Sism. sup. + acc	NO	Oltre il DE
SP11	Area Edison PIL 2	44.362811°	11.873497°	Sism. pozzo + acc	Rover	Esteso
SP12		44.447058°	12.003094°	Sism. sup. + acc	Riferimento	Esteso
SP13		44.411881°	11.859742°	Sism. pozzo + acc	Rover	Esteso
SP14		44.407844°	11.945058°	Sism. pozzo + acc	Rover	Interno
SP15		44.497611°	12.019667°	Sism. sup. + acc	Rover	Esteso

Tabella 1: tabella riassuntiva delle stazioni della rete di monitoraggio microsismico e geodetico da installare presso la Concessione *San Potito e Cotignola Stoccaggio*. Le coordinate sono espresse nel sistema WGS84. La stazione SP14 è stata spostata nel DI, in seguito all'elaborazione del rumore sismico ambientale.

Su richiesta di EDISON, la stazione Broad Band, inizialmente prevista nel sito SP12, viene riposizionata alla stazione SP01, in considerazione della "cantina" già realizzata sotto il piano campagna; si valuterà dopo un primo periodo di registrazione la qualità dei dati.