


|  |         |                                      |                                 |                  |
|--|---------|--------------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  | Eni spa | Campo di GUENDALINA<br>novembre 2023 | Documento<br>GEODCS_REL2023_GUE | Page - 1 - of 62 |
|--|---------|--------------------------------------|---------------------------------|------------------|

# Campo di GUENDALINA

Aggiornamento al 31/12/2022



## Sommario

|     |  |        |
|-----|--|--------|
| 1   | Introduzione .....   | - 3 -  |
| 2   | Assetto geologico - minerario .....  | - 3 -  |
| 3   | Iter autorizzativo e sviluppo del giacimento .....   | - 3 -  |
| 4   | Ultimi aggiornamenti modellistici e storia produttiva .....  | - 5 -  |
| 5   | Modellistica previsionale di subsidenza .....  | - 6 -  |
| 6   | Survey Batimetrici.....  | - 7 -  |
| 7   | Monitoraggi altimetrici onshore e offshore .....   | - 8 -  |
| 7.1 | Livellazione.....  | - 8 -  |
| 7.2 | CGPS (Continuous GPS) .....  | - 11 - |
| 8   | SAR (cfr. Appendice A).....  | - 14 - |
| 9   | SSU / EPSU (cfr. Appendice B).....   | - 15 - |
| 10  | Misura della compattazione profonda - survey log con tool FSMT<br>(Formation Subsidence Monitoring Tool).....  | - 15 - |
| 11  | Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio (CGPS e FSMT) .....  | - 16 - |
| 12  | Conclusioni .....  | - 17 - |
| 13  | Appendice A: Analisi dei dati satellitari (2012-2022) lungo la fascia costiera<br>compresa tra Porto Tolle (RO) e Ortona (PE).....   | - 31 - |
| 14  | Appendice B: Monitoraggio della compattazione superficiale (agg. 2022)<br>lungo la fascia costiera compresa tra Comacchio e Cervia - giacimenti<br>di Naomi-Pandora, Tea-Lavanda-Arnica, Guendalina, PCM. .... | - 37 - |

## 1 Introduzione

Il campo di Guendalina è ubicato nell'offshore adriatico a circa 47 Km dalla costa romagnola, (Figura 1) in corrispondenza di un fondale marino di circa 42 m e ricade nella concessione di coltivazione A.C35.AG, Eni al 80% e Rockhopper Civita al 20%.

| CONCESSIONE | SCADENZA   | OPERATORE | TITOLARI                 | QUOTA      | REGIONE           |
|-------------|------------|-----------|--------------------------|------------|-------------------|
| A.C35.AG    | 25/11/2032 | Eni       | Eni<br>Rockhopper Civita | 80%<br>20% | Emilia<br>Romagna |

## 2 Assetto geologico - minerario


Il giacimento è costituito da una serie di livelli mineralizzati compresi fra i 3000 e i 3080 m slm e appartenenti alla F.ne P. Garibaldi, che si sono depositati in onlap progressivo delle facies torbiditiche lungo un canyon inciso nel substrato pre-pliocenico.

La trappola è di tipo misto (stratigrafico-strutturale): i livelli, infatti, risalgono in *updip* verso l'*unconformity* (in direzione NE) con la chiusura che avviene per *pinch-out* sulla F.ne Clara ("facies impermeabile") per i tre lati della parete del canyon e per pendenza in direzione *downdip*. Il giacimento è stato scoperto dal pozzo esplorativo Guendalina 1, perforato nel 1998 nel permesso A.R88.FR. L'attuale concessione (A.C35.AG), conferita con decorrenza 25/11/2002, è stata prorogata fino al 25/11/2032.

## 3 Iter autorizzativo e sviluppo del giacimento

Il giacimento di Guendalina è stato scoperto nel 1998 con la perforazione del pozzo esplorativo Guendalina 1 che ha rinvenuto mineralizzati a gas i livelli PL3-J3 della formazione Porto Garibaldi (Figura 2). Per valutare l'estensione di tale mineralizzazione e la potenzialità produttiva della scoperta, è stato eseguito il *side-track* Guendalina 1dirA con uno scostamento di 350 m in direzione NE. Tale *side-track*, oltre a confermare l'estensione areale del livello PL3-J3, ha trovato mineralizzato a gas anche il livello PL3-I1 e altri due livelli d'interesse minerario minore (PL3-J e PL3-J1). Su entrambi i pozzi Guendalina 1 e Guendalina 1 dirA sono stati registrati log elettrici e misure di pressione RFT; il livello PL3-J3 è stato provato sul pozzo Guendalina 1. I due pozzi esplorativi sono stati poi chiusi minerariamente.

In data 30 gennaio 2001 è stata presentata da Eni istanza per l'assegnazione di concessione, cui il CTIG ha dato parere favorevole il 20 dicembre 2001. Il 26 ottobre 2006 Eni ha inoltrato


|   |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 4 - of 62</p> |
|---|--|---|-------------------------|

un'istanza di variazione del programma lavori di sviluppo per l'allacciamento della piattaforma Guendalina alla piattaforma Tea.

Nel documento SIA, presentato da Eni il 21/11/2007, è riportato il profilo di produzione ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello *Eclipse* 3D) del luglio 2007.

Tale profilo prevedeva il recupero di 757 MSm<sup>3</sup> in 10 anni con una graduale chiusura dei pozzi per elevata produzione d'acqua. La portata di picco giornaliera di gas era stimata in circa 500 kSm<sup>3</sup>/g. Nell'elaborazione del profilo si era considerata anche la messa in produzione del livello PL3-K che era stato individuato da un'evidente anomalia d'ampiezza presente nei tracciati sismici. Tale livello non era stato, però, raggiunto dai pozzi esplorativi e il suo GOIP, pertanto, era stato classificato solo come possibile. Il pozzo di sviluppo Guendalina 3 lo ha attraversato per circa 11 m; il livello è risultato mineralizzato a gas come previsto, ma con saturazione in acqua così alta da sconsigliarne il completamento e la messa in produzione. I due pozzi di sviluppo del campo, Guendalina 2 dir e Guendalina 3 sono stati perforati e aperti alla produzione nell'ottobre 2011.

La string lunga del pozzo Guendalina 2 dir è stata adibita al monitoraggio in situ della compattazione profonda tramite l'installazione in formazione di *marker*, il cui rilievo base è stato registrato nel giugno 2011. Durante la fase di sviluppo del campo è stata fatta, altresì, una campagna d'acquisizione dati (RFT di pressione, carote di fondo, logs, prove di permeabilità, ecc.) da utilizzarsi per la caratterizzazione petrofisica e geomeccanica della copertura e della roccia serbatoio dei livelli mineralizzati nei futuri aggiornamenti dei modelli (giacimento e geomeccanico). Nel 2013 a seguito di un progressivo peggioramento dei parametri erogativi (portate, pressioni di testa) si è chiusa spontaneamente alla produzione la *string* corta del pozzo Guendalina 2 dir. Le verifiche successive hanno confermato che anche l'accessibilità della *string lunga* adibita al solo monitoraggio della compattazione (FSMT – *Formation Subsidence Monitoring Tool*) era stata compromessa. Sono stati fatti in seguito numerosi tentativi per ripristinare sia la produzione sia l'accessibilità del pozzo Guendalina 2 dir con risultati sempre negativi. Per il ripristino della produzione e la ripresa del monitoraggio *in-situ* della compattazione si è, pertanto, perforato nel corso di un *work-over* (settembre 2015) un nuovo *side-track* (ST Guendalina 2 dirA) in cui si sono installati nuovi *markers*, dei quali si è registrato il rilievo base. Il foro Guendalina 2 dir è stato poi chiuso minerariamente.

|   |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 5 - of 62</p> |
|---|--|---|-------------------------|

Nel 2014 si sono rivisti i modelli statico e dinamico del campo di Guendalina (“*rel n°03-14 GISE del marzo 2014 - Campo di Guendalina – Revisione Studio di Giacimento*”), utilizzando anche le informazioni acquisite durante lo sviluppo del campo.

Obiettivi del lavoro sono stati:

- rivalutare il potenziale minerario dei livelli della serie PL3;
- aggiornare i profili di produzione e le riserve del campo alla luce della storia produttiva sin qui acquisita;
- verificare se il piano di sviluppo in essere fosse tale da ottimizzare il recupero di gas.

Nel corso della revisione dello studio si è considerato l'intervento di *side-track* sul pozzo Guendalina 2 dir che, come detto in precedenza, è stato poi fatto nel 2015 (Guendalina 2 dirA). Con il nuovo profilo di produzione si è stimato un recupero di 721 MSm<sup>3</sup> al 2023 con una diminuzione delle riserve, quindi, di circa il 5% rispetto alla valutazione precedente.


#### 4 Ultimi aggiornamenti modellistici e storia produttiva

Nel corso del 2018 è stato nuovamente aggiornato il modello fluido-dinamico di giacimento del campo di Guendalina (“*rel. IPET-4DC25805-0, Campo di Guendalina - Studio Integrato di giacimento*” – ottobre 2018), aggiornando l'*History Match* (HM) stimando un recupero di 902 MSm<sup>3</sup> al 2022, con un incremento delle riserve, quindi, di circa il 25% rispetto alla valutazione precedente.

Un successivo aggiornamento è stato, prodotto nel corso del 2022 (*rel. IPET-BBBAA1F1-0, Campo di Guendalina - Aggiornamento studio di giacimento per studio geomeccanico - Scheda riassuntiva, Doc. - dicembre 2022*) al fine di riprodurre correttamente sia la storia produttiva che le pressioni statiche dei livelli del reservoir con una rivalutazione complessiva delle riserve del campo a 835 MSm<sup>3</sup> al 2022.

In Figura 3 è riportato l'andamento storico della produzione di gas del campo (kSm<sup>3</sup>/g), e di acqua (m<sup>3</sup>/g). In Figura 4, Figura 5 e Figura 6 è riportato, invece, il confronto tra la produzione reale annuale e cumulativa e quella prevista dal modello Eclipse 2022.

Al 31/12/2022 la produzione cumulativa del campo è pari a 835 MSm<sup>3</sup>, pari al 100% delle riserve stimate del campo.

|   |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 6 - of 62</p> |
|---|--|---|-------------------------|

In Figura 7 è presentato il confronto tra i profili di pressione calcolati (modello *Eclipse 2022*) e le pressioni registrate nei livelli principali del campo (PL3-I1 e PL3-J3) che mostra un buon match tra le previsioni e le misure eseguite.

## 5 Modellistica previsionale di subsidenza

Per valutare quantitativamente l'entità d'eventuali fenomeni di subsidenza connessi allo sviluppo del campo di Guendalina, si sono aggiornate nel tempo le previsioni modellistiche originariamente elaborate nel modello geomeccanico a Elementi Finiti (modello FEM elasto-plastico) del luglio 2007.

Sulla base di nuovi dati di giacimento e di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi, dapprima nel corso del 2018 (rel. *REIT-IPET FF06109A-0 - Campo di Guendalina – Modello Elasto-Plastico di subsidenza – Management Summary*, novembre 2018) e successivamente a dicembre 2022 (rel. *IPET 88058CD5-0 - Campo di Guendalina – Modello Elasto-Plastico di subsidenza – Management Summary*, dicembre 2022) si è aggiornato il modello geomeccanico del campo di Guendalina

Anche nello studio del 2022 alcuni parametri caratteristici della legge costitutiva adottata per descrivere il comportamento del materiale sono stati calibrati in modo da riprodurre le variazioni altimetriche misurate dalla stazione CGPS installata sulla piattaforma di Guendalina.

L'affidabilità del modello geomeccanico è stata poi verificata confrontando i risultati anche con le misure di compattazione in situ rilevate dai markers radioattivi in formazione nel pozzo Guendalina 2 dir. Il parametro chiave nelle simulazioni di subsidenza è la compressibilità uniassiale ( $C_m$ ) del materiale.

I risultati dello studio per lo scenario di riferimento (scenario di compressibilità 2Upper), mostrano come il valore di massima subsidenza sia ottenuto a fine simulazione (2053) e risulti pari a 7.9 cm. Il fenomeno della subsidenza si esaurisce, quindi, a oltre 40 Km dalla costa.

I risultati delle previsioni di subsidenza sono riportati in Tabella 1, dove sono stati indicati sia i valori di massima subsidenza sia l'estensione del fenomeno ad alcune date significative come il fine produzione (2024) e la fine simulazione (2053). Si ricorda, infatti, che le simulazioni sono state protrate a pozzi chiusi dopo la fine della produzione in modo da considerare l'effetto dell'evoluzione della pressione nelle regioni mineralizzate e in acquifero (Figura 8).



**Tabella 1 – Risultati finali: massima subsidenza ed estensione del fenomeno per lo scenario di riferimento (2Upper)**

| Scenario di compressibilità | Fine Produzione (gennaio 2024) |                 | Fine simulazione (gennaio 2053) |                 |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|
|                             | Subsidenza (cm)                | Estensione (km) | Subsidenza (cm)                 | Estensione (km) |
| 2Upper                      | -6.4                           | 3               | -7.9                            | 4               |

L'analisi dei risultati consente di osservare che:

- il valore massimo di subsidenza previsto è circa 8 cm a fine simulazione (Figura 8);
- il fenomeno si esaurisce a circa 45 km dalla linea di costa a fine produzione (Figura 9);
- il fenomeno si esaurisce a circa 44 km dalla linea di costa a fine simulazione (Figura 10);


In generale, per tutti i casi considerati, il fenomeno si esaurisce sempre a oltre 40 km dalla linea di costa a fine simulazione (2053).

## 6 Survey Batimetrici

In ottemperanza alle prescrizioni contenute nel DEC/VIA n.0009995 del 22 aprile 2009 in merito alla “Stima e monitoraggio dei fenomeni geodinamici” è stata, inoltre, acquisita nel gennaio 2011 una batimetria di precisione nell'area del campo di Guendalina per un'estensione totale di circa 52 km<sup>2</sup> (Figura 11 e Figura 12). Il risultato di tale rilievo mostra un fondale con una profondità minima di circa 36.4 m nella parte nord-occidentale (blocco G01) che raggiunge i 42.6 m nella zona sud-orientale (blocco G04) con un picco di 43.4 m in corrispondenza di alcune depressioni. L'area del rilievo si può, quindi, idealmente dividere in due zone, separate grosso modo dalla batimetria dei 41 metri: una zona ovest dal fondale piuttosto regolare con basse pendenze e una zona est più profonda e articolata. Nell'area rilevata sono presenti strutture che sembrano indicare depositi trasgressivi e di paleo-delta.

Infatti, la morfologia dell'area riflette, come tutti i fondali del Mar Adriatico, la dinamica dei cicli trasgressivo - regressivi verificatisi durante l'ultima glaciazione wurmiana.

L'esecuzione della batimetria *multibeam* è stata fatta al fine di ottenere un “termine di confronto” prima dell'avvio della produzione del campo, rilevando il fondale di un'area sufficientemente ampia da includere l'estensione del possibile cono di subsidenza, così come è stato previsto dal modello geomeccanico.

|   |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 8 - of 62</p> |
|---|--|---|-------------------------|

## 7 Monitoraggi altimetrici onshore e offshore

### 7.1 Livellazione

A partire dai primi anni '70, Eni ha realizzato lungo la costa adriatica una rete di livellazione geometrica che, a partire dal 2011, è rilevata con cadenza triennale e secondo specifiche tecniche raccomandate nelle *“Linee Guida per lo Studio dei Fenomeni di Subsidenza nell’Ambito dei Progetti di Sviluppo Sostenibile di Campi ad Olio e Gas”* emesse dal Dip. DMMMSA dell’Università di Padova nel 2007.

Eni, inoltre, ha affidato la certificazione della metodologia utilizzata e dei dati acquisiti all’Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM.

La rete di livellazione rilevata nel 2020 (ultimo rilievo eseguito) è suddivisa nei seguenti tratti:

- da Treviso a Pesaro (dorsale Adriatica), per un totale di circa 1230 km di sviluppo lineare, compreso lo sviluppo degli sbracci sul delta del Po;
- da Pesaro a P.to San Giorgio, per un totale di circa 230 km di sviluppo lineare;
- da P.to San Giorgio a Pescara (Marche-Abruzzo), per un totale di circa 200 km di sviluppo lineare.

Le operazioni di campagna si sono svolte nel periodo compreso tra ottobre e dicembre 2020 sotto la diretta supervisione di tecnici Eni e degli esperti dell’ente certificatore.

Le misurazioni di campagna si sono svolte nel pieno rispetto delle specifiche tecniche, con il controllo periodico dei supervisori e con la verifica di chiusura di tutti i tratti in andata e ritorno, nonché di tutti i poligoni realizzati. I parametri della compensazione rientrano nei canoni previsti, sia per i valori di chiusura sia per i valori legati alla propagazione dell’errore.

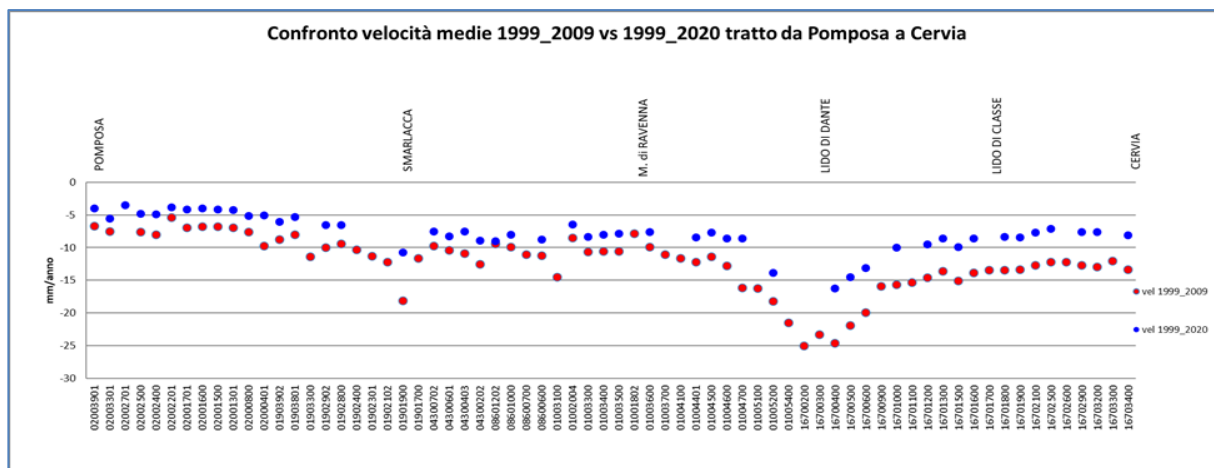
In passato, sebbene vi fossero punti di contatto, non era possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sui singoli tratti di livellazione a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine.


Per ovviare a tale situazione, determinata da fattori ambientali (grandi distanze), su suggerimento dell’ente certificatore è stata predisposta sperimentalmente una rete di 6 stazioni permanenti CGPS nel tratto della Dorsale Adriatica (Treviso, Pomposa, Smarlacca, Spinaroni, Fiumi Uniti, Brisighella e Rubicone).



Tali stazioni costituiscono una serie di capisaldi origine omogenei, che consentono di ottenere misure di quota fra loro consistenti. I positivi risultati della sperimentazione, come è stato verificato nell'elaborazione dei dati della campagna di livellazione del 2020 permetteranno di estendere l'utilizzo delle stazioni CGPS onshore anche al tratto Pesaro-P.to S.Giorgio e Marche-Abruzzi. Per il tratto di costa da Pomposa a Cervia - prospiciente i campi di Naomi-Pandora, Guendalina e Tea-Lavanda-Arnica – sono disponibili, includendo la campagna di misura 2020, 14 serie di misure. Queste sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, in seguito a partire dal 2011, con cadenza triennale. La campagna di misura del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un'origine diversa rispetto a tutte le altre. Le quote disponibili non sono completamente omogenee tra loro, poiché per alcuni capisaldi (zona a sud di Marina di Ravenna), sono state misurate solo a partire dal 2003. Di conseguenza, dove possibile, si sono stimate con regressione lineare solo le velocità medie d'abbassamento del suolo per quei capisaldi che presentano una serie storica ininterrotta di misure a partire dal 1999. Il grafico che segue (Figura A), riporta per confronto le serie storiche 1999-2009 e 1999-2020 e consente di apprezzare graficamente come, nel corso degli anni, si sia registrata una generale diminuzione delle velocità di subsidenza che, mediamente, salvo punte localizzate di maggiore valore, si attesta intorno ai 3 mm/anno nella zona tra Pomposa e Marina di Ravenna e intorno ai 5 mm/anno nella zona tra Lido di Dante e Cervia.

**Figura A – Tratto Pomposa-Cervia: velocità medie di subsidenza nei periodi 1999-2009 e 1999-2020. L'andamento altimetrico rappresentato si riferisce al tratto di costa antistante i campi di Guendalina, Naomi-Pandora, Tea-Lavanda-Arnica e Porto Corsini Mare.**



|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 10 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

L'ente certificatore ha effettuato anche in questa campagna la compensazione utilizzando i valori di velocità desunti dalle stazioni CGPS permanenti della rete Eni.

A questo proposito è necessario segnalare che i valori delle quote dei capisaldi ottenuti con questo procedimento possono differire da quelli che si ottengono con la compensazione classica, che è invece vincolata a un solo caposaldo di riferimento.

I risultati del rilievo 2020 sono compatibili con il quadro generale di una diminuzione della velocità di subsidenza osservata sulla costa anche con il monitoraggio SAR.

Si deve osservare, inoltre, che i dati di livellazione, misurati sul singolo caposaldo, non sono di solito sufficienti per caratterizzare la distribuzione areale della subsidenza.

Tali misure, infatti, possono essere talvolta alterate da “disturbi” accidentali intervenuti nel tempo sui manufatti su cui i capisaldi stessi sono stati materializzati.

Al fine di realizzare un'analisi della velocità media di subsidenza  $V_a^1$  dell'area monitorata è possibile realizzare una suddivisione nelle seguenti classi di valori:


- classe 4: include i capisaldi con  $V_a \geq 10$  mm/a;
- classe 3: include i capisaldi con  $5 \leq V_a < 10$  mm/a;
- classe 2, include i capisaldi con  $3 \leq V_a < 5$  mm/a;
- classe 1: include i capisaldi con  $0 \leq V_a < 3$  mm/a;
- classe 0: include i capisaldi con  $V_a < 0$  (sollevamento del suolo).

L'elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 1999-2009 mostra per l'area in esame un quadro di generale abbassamento di questo tratto di costa: il 31% dei punti ricade nella classe 2, il 54% nella classe 3 e il 15% nella classe 4.

Nel periodo 1999-2020 la distribuzione delle velocità secondo la classificazione proposta, mostra che il 35% dei punti si colloca nella classe 1, il 32% dei punti si colloca nella classe 2, il 30% nella classe 3 e solo il 3% dei punti si colloca nella classe 4, confermando, anche da questo punto di vista la generale tendenza alla diminuzione delle velocità di subsidenza precedentemente descritto. Le campagne future (il prossimo rilievo, originariamente previsto nel 2023, è stato posticipato al 2024 a seguito degli eventi alluvionali verificatisi in Romagna e nella zona nord della Regione Marche nel maggio-giugno 2023), insieme al progressivo

---

<sup>1</sup> Nel presente rapporto di norma le velocità di subsidenza (i.e di abbassamento della superficie) sono riportate con valori negativi. Per comodità d'interpretazione, però, nell'elenco che segue, come pure nei due paragrafi successivi, le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 11 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

miglioramento della nuova metodologia di compensazione dei dati di campagna basata sulle velocità delle stazioni CGPS, potranno eventualmente meglio definire i trend di movimento del tratto analizzato, al netto di eventuali movimenti anomali localizzati sui singoli capisaldi, movimenti che saranno oggetto di verifica durante le prossime campagne di misura.

## 7.2 CGPS (Continuous GPS)

Come già precedentemente accennato, le attività di monitoraggio altimetrico onshore e offshore, sono state progressivamente potenziate mettendo in opera un numero crescente di stazioni CGPS sia sulle piattaforme offshore operate da Eni sia in specifici siti minerari Eni onshore. La postazione CGPS di Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002 mentre le stazioni CGPS di Naide e PCC sono operative dal luglio 2005. Nel 2007 sono stati installati i CGPS sulle piattaforme di Regina e Calpurnia (giugno 2007), di Anemone B (agosto 2007), di Annalisa (ottobre 2007), di Calipso, Tea-Lavanda-Arnica, Clara Est e Clara Nord (novembre 2007), di Barbara NW (gennaio 2008), di Bonaccia (febbraio 2008), di Annamaria A e Annamaria B (gennaio 2010), di Clara W (ottobre 2010) e di Guendalina (agosto 2011). In tempi più recenti sono state installate anche le nuove stazioni CGPS di Elettra (luglio 2014), di Fauzia (settembre 2014), di Barbara E (novembre 2014), di Bonaccia NW (settembre 2015), e, infine di Clara NW (marzo 2016).

A terra, nel tratto di costa compreso tra Comacchio e Ortona sono state installate nel 2002 alcune stazioni CGPS quali Smarlacca (Valli di Comacchio), Spinaroni (Lidi Nord di Ravenna) e Fiumi Uniti (Lidi Sud di Ravenna). Successivamente nel corso del 2007 si è completata la stazione di Rubicone e quindi nel corso del 2009 si sono installate 4 stazioni CGPS in Ortona, Pineto, Grottammare e P.to Sant'Elpidio, quest'ultime tutte equipaggiate con 2 bersagli *radar* e con un caposaldo di livellazione.

Allo stato attuale, tuttavia, la stazione di Ortona non è più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area. Nel novembre 2016 è stata, quindi, messa in opera una nuova postazione CGPS a Miglianico completata con i *corner reflector* nel mese di maggio 2017.

Nel corso del 2018, sono state, infine, installate due ulteriori nuove postazioni CGPS, entrambe nella configurazione S.S.U. (Satellite Survey Unit) di Pomposa (ACPO) a settembre 2018 e di Po di Tolle (POTO) a luglio 2018.

Analogamente a quanto avviene per le livellazioni, anche i dati del monitoraggio CGPS sono validati da un ente esterno. Attualmente questa attività è svolta dall'Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali-DICAM.

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma Guendalina e nel tratto di costa antistante il giacimento (CGPS di Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti), elaborati con il *software* scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS), sono certificati fino al 2021 e in fase di certificazione per gli anni successivi.

Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2022 (Figura 13), sono stati utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato nella seguente Tabella 2.


**Tabella 2 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2021**

| Stazione   | Dati Non Certificati |               |               | Dati Certificati |               |               | Delta (Non Cert.- Cert.) |             |             |
|------------|----------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|--------------------------|-------------|-------------|
|            | Vel-N<br>mm/a        | Vel-E<br>mm/a | Vel-H<br>mm/a | Vel-N<br>mm/a    | Vel-E<br>mm/a | Vel-H<br>mm/a | D-N<br>mm/a              | D-E<br>mm/a | D-H<br>mm/a |
| Guendalina | 16.34                | 21.45         | -5.99         | 17.13            | 21.88         | -6.50         | -0.79                    | -0.43       | 0.51        |

A questo proposito è opportuno precisare che l'analisi e l'interpretazione degli andamenti nel tempo delle misure altimetriche CGPS, da utilizzarsi per una verifica/taratura dei modelli previsionali di subsidenza, non possono essere considerate sufficientemente attendibili per dataset relativi a periodi di osservazione inferiori ai 36 mesi, come indicato dall'Ente che certifica i dati.

L'Ente certificatore, infatti, verifica e valida i dati registrati al fine d'avere un numero sufficiente d'osservazioni per il corretto inquadramento delle componenti periodiche, della loro incidenza sulle misure e poter filtrare il "rumore" che per piccole velocità di subsidenza è dello stesso ordine di grandezza del valore del fenomeno fisico osservato.

Serie storiche di durata inferiore ai 36 mesi possono, quindi, essere utilizzate solo per confrontare il trend degli andamenti temporali delle misure altimetriche con quello dei valori calcolati da modello previsionale, qualora si abbia una subsidenza caratterizzata da valori sufficientemente elevati. In questi casi sarà possibile monitorare solo eventuali anomalie di trend, ma non procedere a un confronto diretto dei valori attesi da modello vs. i valori misurati.

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 13 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

In generale:

- dataset < 12mesi: solo *follow up* per monitoraggio dei dati acquisiti
- dataset di 12÷36 mesi e
  - piccoli valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno e monitoraggio delle anomalie verso il trend previsionale;
  - grandi valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno per calibrazione del modello previsionale;
- dataset > 36 mesi: analisi di *trend* e calibrazione dei modelli geomeccanici confrontando il dato di velocità di subsidenza misurato (depurato dalla velocità di subsidenza naturale) e i valori dei modelli previsionali.

Le elaborazioni sono state fatte con software scientifico Bernese vers.5.2, strategia OBS-MAX, utilizzando i prodotti finali (effemeridi precise e file del polo) messi a disposizione dall'IGS (International GNSS Service) e il sistema di riferimento ITRF2014.

Per le nostre elaborazioni il sistema di riferimento è materializzato dalle stazioni appartenenti alla rete EUREF disponibili tra: Bucarest, Genova, Graz, Matera, Medicina, Padova, Penc, Sofia, Torino, Zimmervald. L'eliminazione degli outlier delle serie storiche è effettuata mediante test a 3 SIGMA iterativo.


Per il campo di Guendalina, sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi e nell'ipotesi di linearità del fenomeno deformativo, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale<sup>2</sup>, a novembre 2022, pari a -5.55mm/a (Figura 13 - Figura 15) sostanzialmente invariata rispetto al valore del 2021 (-5.99mm/a).

La serie storica della stazione CGPS di Guendalina risulta interrotta al mese di maggio 2021 a causa della saturazione della memoria interna del ricevitore. La normale funzionalità della stazione stessa è stata, poi, ripristinata ad inizio 2022.

Utilizzando un software realizzato dall'Università di Roma La Sapienza (software FEED – Fast Elbow Effect Detector), creato per migliorare le analisi dei dati delle serie storiche

---

<sup>2</sup>La “subsidenza totale CGPS” rappresenta in questo caso l'abbassamento altimetrico che il fondale marino subisce in corrispondenza della piattaforma su cui è installato il CGPS. A determinare tale “subsidenza totale” concorrono vari fenomeni: la compattazione di strati profondi per estrazione di gas (subsidenza antropica), movimenti tettonici e costipazione naturale dei sedimenti (subsidenza naturale), compattazione dei sedimenti più superficiali a fondo mare per effetto del peso della piattaforma. Quest'ultimo fenomeno è evidente soprattutto nel periodo immediatamente successivo all'installazione della piattaforma stessa.

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 14 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

GNSS, per rilevare variazioni di velocità nella distribuzione temporale di misure CGPS, si può osservare una variazione di velocità, correlabile con la storia produttiva del campo (Figura 14).

In particolare:

- una velocità media di subsidenza totale di -7.44 mm/a nel periodo settembre 2011 - settembre 2014;
- una velocità media di subsidenza totale di -4.91 mm/a nel periodo settembre 2014 - settembre 2016;
- una velocità media di subsidenza totale di -6.58 mm/a nel periodo settembre 2016 - settembre 2019;
- una velocità media di subsidenza totale di -1.94 mm/a nel periodo settembre 2019 - novembre 2022;


L'evoluzione temporale del dato CGPS nell'ultimo periodo analizzato, può essere posta in relazione con l'attuale fase di declino della produzione.

Si segnala, inoltre, che eventuali piccole differenze nelle stime delle velocità, che si possono verificare rielaborando in epoche successive i dati CGPS, dipendono anche dal fatto che l'aggiornamento delle serie storiche comporta sia l'elaborazione di un modello periodico più attendibile, sia la ridefinizione degli outliers, che sono determinati mediante il test a tre sigma su tutta la serie storica esistente.

## 8 SAR (cfr. Appendice A)

Il monitoraggio altimetrico del tratto di costa viene integrato con un'analisi della serie storica dei dati InSAR. In Figura 16 è rappresentata la velocità media calcolata come regressione lineare degli spostamenti misurati nel periodo 2012-2022. Inoltre, considerando i punti ricadenti all'interno del poligono rosso (Figura 16), è rappresentato il grafico dello spostamento medio nel periodo analizzato. Il tasso annuale di velocità verticale media del suolo calcolato come regressione lineare è di  $-6.16 \pm 1.6$  mm/a. Il campo ricade nella maschera Ravenna, per cui è stato utilizzato il dato InSAR calibrato con il dato CGPS (vedi Appendice A).



|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 15 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

## 9 SSU / EPSU (cfr. Appendice B)

Il sistema di monitoraggio geodinamico a mare è stato potenziato con la realizzazione di 3 nuove stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit), nei siti onshore di Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti posti lungo la costa ravennate (tratto Comacchio-Cervia) e antistanti i campi di Naomi-Pandora, Tea-Lavanda-Arnica, Guendalina e PCM.


Le stazioni SSU sono state equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli radar solidalmente connessi tra loro tramite una platea di cemento armato, integrando le preesistenti stazioni assestometrico-piezometriche (EPSU- *Extensometric Piezometric Survey Unit*) installate per il monitoraggio della compattazione superficiale del terreno.

## 10 Misura della compattazione profonda - survey log con tool FSMT (Formation Subsidence Monitoring Tool)

Al fine di monitorare la compattazione profonda e il comportamento meccanico della roccia serbatoio, sono stati installati nel giugno 2011 alcuni *marker* di controllo nel pozzo Guendalina 2dir, registrando in tale data anche il rilievo base. Nel luglio del 2012 si è eseguito un primo *survey* di monitoraggio su un tratto di formazione compreso tra 3096.75 m e 3175.5 m ottenendo per il periodo 2011-2012 una compattazione totale media (Figura 18) di circa 13 mm in sostanziale accordo con le previsioni modellistiche.

I *survey* annuali del 2013 e 2014 non sono stati eseguiti a causa di problemi meccanici che hanno impedito la discesa in pozzo della strumentazione di misura (insabbiamento del fondo pozzo e rottura della string corta); i vari tentativi di ripristino dell'accessibilità del pozzo stesso non hanno, purtroppo, dato esito positivo.

Nel corso di un intervento di *work-over* eseguito nel 2015 sono stati reinstallati nuovi *marker* di controllo nel pozzo Guendalina 2dirA, perforato in *side-track* da Guendalina 2dir che è poi stato chiuso minerariamente. Si segnala che per ovviare alla mancata infissione di alcuni di tali *markers* in formazione, si sono anche inserite apposite fascette radioattive (*pipe tag*) sui collari del *casing*. Nel nuovo pozzo si è ripreso a monitorare la compattazione *in-situ* della roccia serbatoio, registrando il rilievo base il 27 ottobre 2015. Nel dicembre 2016, 2017 e novembre 2018 sono stati eseguiti, successivamente, i *survey* annuali di controllo nel tratto

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 16 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

compreso tra 3050 m e 3200 m. Il survey del 2019 non è stato acquisito a seguito dell'accoglimento da parte del MATTM (rif. parere MATTM-CTVA n.3088 del 19.07.2019) della richiesta di Eni di variare la periodicità di acquisizione del log di compattazione (FSMT) in giacimento tramite marker da annuale a triennale. Un nuovo survey dei markers in pozzo è stato, quindi, acquisito nuovamente nel corso del 2021 (Figura 19).

## 11 Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio (CGPS e FSMT)

- Modello geomeccanico vs. dati altimetrici da CGPS

I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico 2022 sono stati confrontati con quelli acquisiti dal CGPS (aggiornati al 31/12/2022), senza che questi ultimi siano stati depurati della componente di subsidenza naturale.


Come si vede dalla Figura 17, le misure CGPS si collocano sullo scenario di riferimento GPS confermando l'attendibilità dell'attuale modello di subsidenza.

- Modello geomeccanico vs. dati di compattazione da FSMT

Nell'ambito della sensibilità strumentale della sonda FSMT usata e limitatamente alla breve serie storica di misure fin qui acquisita, si è stimata da tali registrazioni una compattazione complessiva di circa 17 mm (periodo 2016-2017), 13 mm (periodo 2017-2018) e 21 mm (periodo 2018-2021) con riferimento al marker posizionato a quota 3111.13 m e fino a quota 3151.61 m. Nella valutazione della compattazione non sono stati considerati gli intervalli affetti da ridotta qualità della misura. Tali stime sono compatibili con il modesto valore di velocità di subsidenza misurata dal CGPS in piattaforma (-5.55 mm/a a novembre 2022).

D'altra parte, si segnala che, in generale, questi rilievi sono caratterizzati da un'elevata deviazione standard (Figura 19) e pertanto si ritiene prudentiale non considerarli sufficientemente attendibili per un confronto con i risultati dei modelli geomeccanici.

Infatti, in questo caso, l'errore nella misura è dello stesso ordine di grandezza del fenomeno di compattazione misurato.

|  |                                      |                                 |                   |
|--|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di GUENDALINA<br>novembre 2023 | Documento<br>GEODCS_REL2023_GUE | Page - 17 - of 62 |
|--|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

## 12 Conclusioni

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza e i monitoraggi fatti da Eni hanno confermato come eventuali fenomeni di subsidenza connessi alla produzione di gas dal campo di Guendalina siano di piccola entità e, soprattutto, non abbiano alcun impatto sull'andamento altimetrico del tratto di costa antistante.

Si segnala infine che:

- a) in Figura 20 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 21 è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

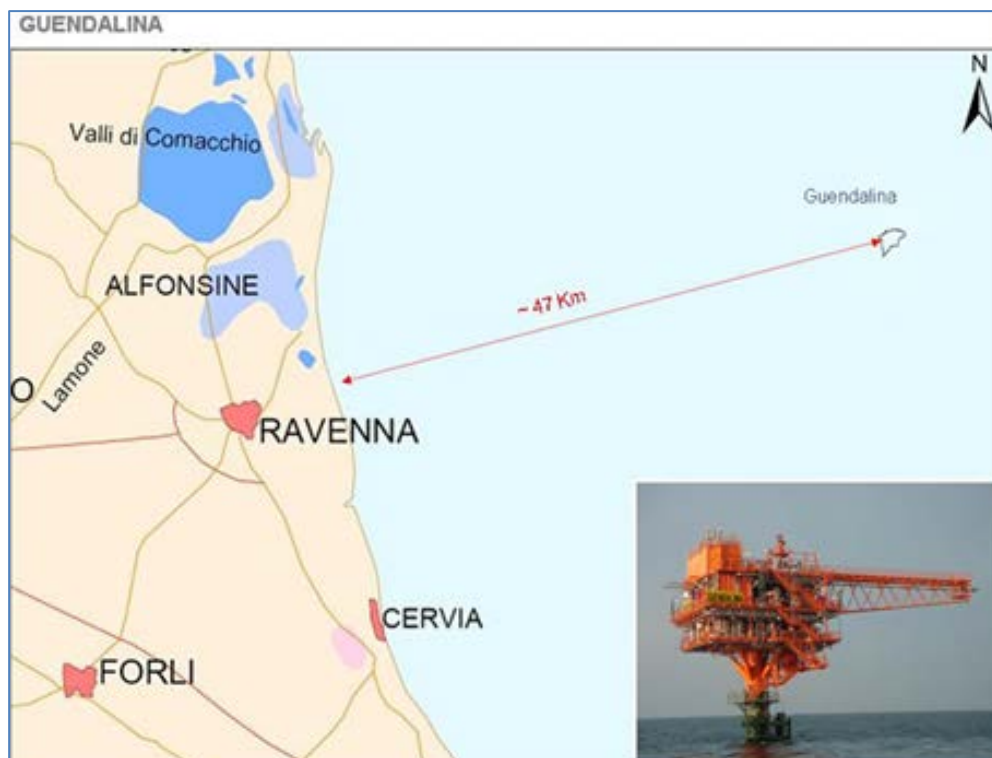


Figura 1 - Ubicazione del campo di Guendalina

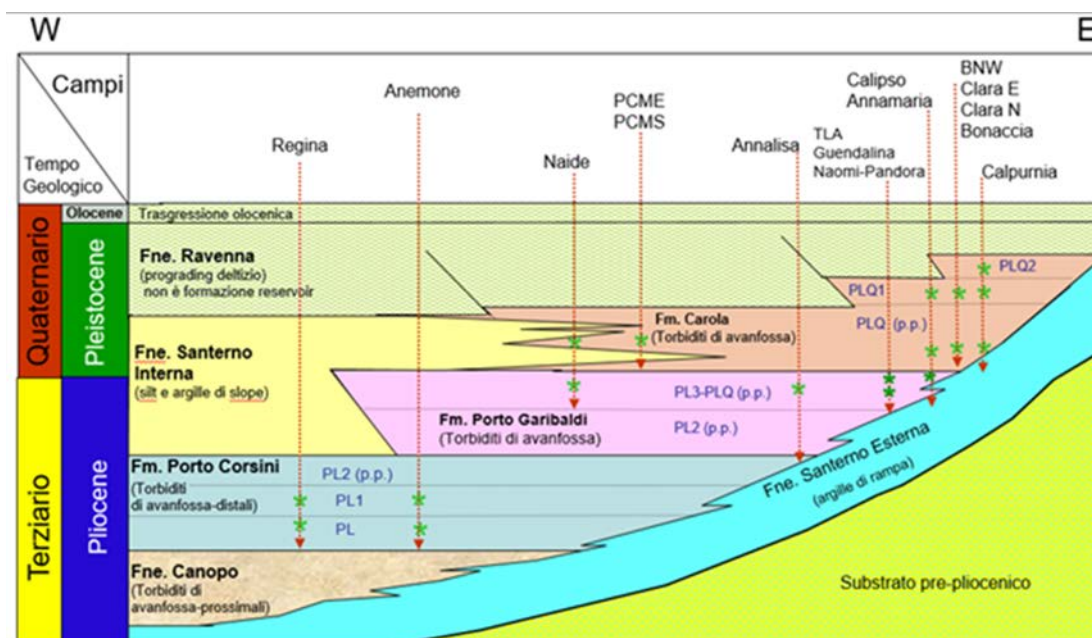


Figura 2 - Bacino Adriatico settentrionale: esempio di schema dei rapporti stratigrafici e dei principali reservoir (\*) sviluppati dai campi

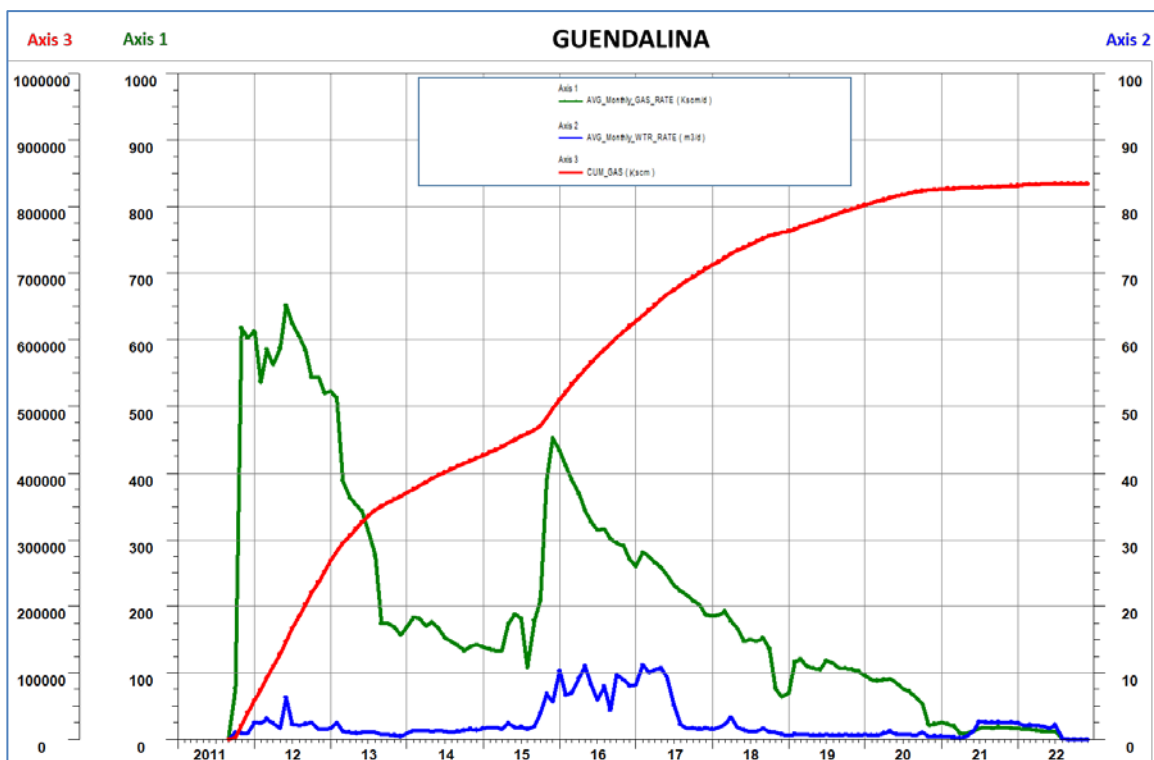


Figura 3 - Campo di Guendalina: produzione storica

| CAMPO DI GUENDALINA |  |                    |   |                    |  |
|---------------------|--|--------------------|---|--------------------|--|
| ANNO                | Produzione annuale (MSm <sup>3</sup> ) |                    | Produzione cumulativa (MSm <sup>3</sup> ) |                    | Rapporto<br>Produzione reale vs<br>Riserve modello 3D<br>ECLIPSE |
|                     | Reale                                  | Modello 3D ECLIPSE | Reale                                     | Modello 3D ECLIPSE |  |
| 2011                | 40                                     | 40                 | 40  | 40                 | 5%   |
| 2012                | 212                                    | 212                | 252                                       | 252                | 30%  |
| 2013                | 113                                    | 113                | 365                                       | 365                | 44%  |
| 2014                | 58                                     | 58                 | 423                                       | 423                | 51%  |
| 2015                | 74                                     | 74                 | 497                                       | 497                | 59%  |
| 2016                | 124                                    | 124                | 620                                       | 621                | 74%  |
| 2017                | 87                                     | 87                 | 707                                       | 708                | 85%  |
| 2018                | 54                                     | 54                 | 761                                       | 762                | 91%  |
| 2019                | 39                                     | 39                 | 800                                       | 800                | 96%  |
| 2020                | 26                                     | 26                 | 826                                       | 826                | 99%  |
| 2021                | 6                                      | 6                  | 832                                       | 832                | 100%   |
| 2022                | 3                                      | 3                  | 835                                       | 835                | 100%   |
| 2023                |  |                    |   |                    |  |
| 2024                |  |                    |   |                    |  |
| 2025                |  |                    |   |                    |  |

Figura 4 - Campo di Guendalina: produzioni reali e da modello Eclipse 2022

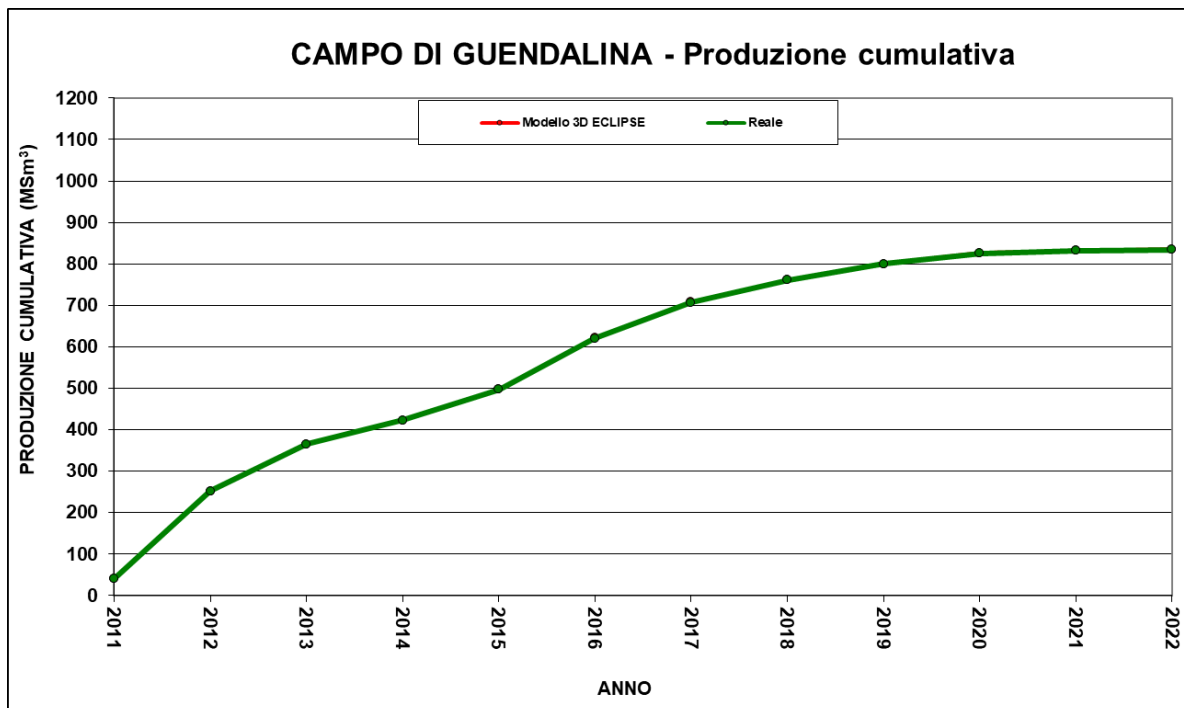


Figura 5 - Campo di Guendalina: produzione reale e da modello Eclipse 2022

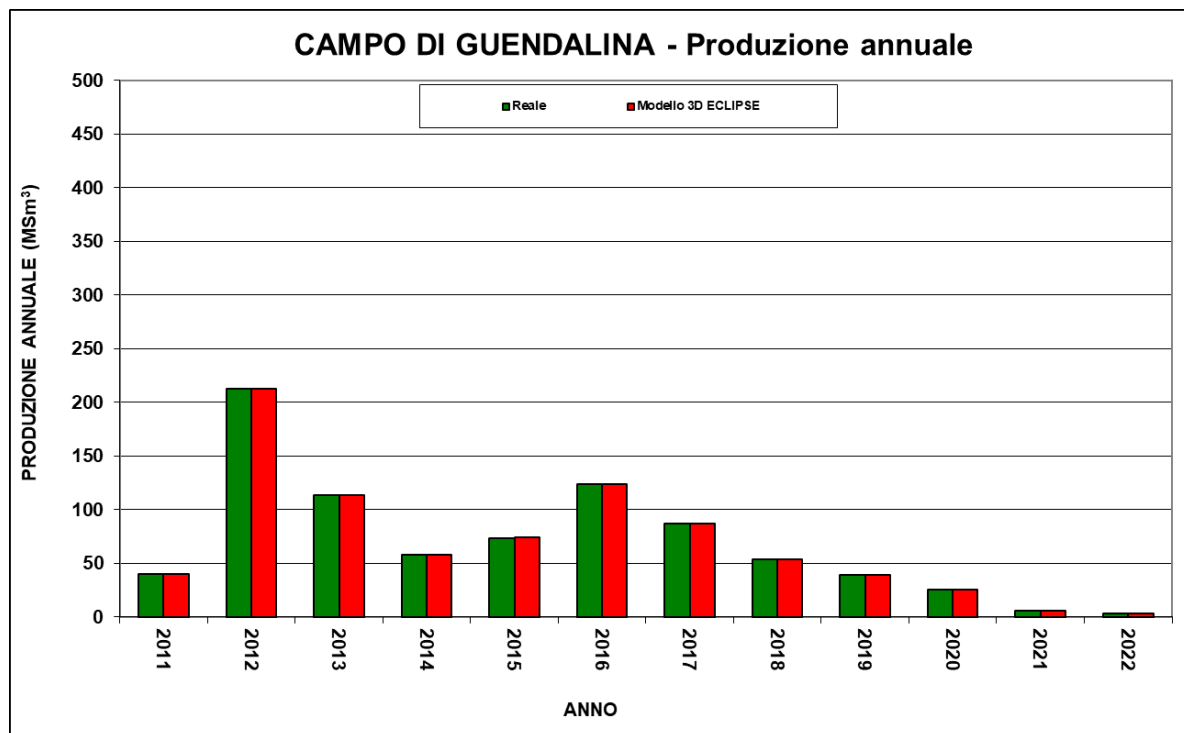


Figura 6 - Campo di Guendalina: produzione (annuale) reale e da modello Eclipse 2022



| CAMPO DI GUENDALINA |                  |              |                   |                  |              |                   |
|---------------------|------------------|--------------|-------------------|------------------|--------------|-------------------|
| Data                | Livello PL3-J3   |              |                   | Livello PL3-I1   |              |                   |
|                     | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string |
| 15/05/1998          | 339              | 1 Dir A      |                   | 331              | 1 Dir A      |                   |
| 30/08/2013          | 190              |              | 3 L               | 269              |              | 3 C               |
| 20/10/2013          |                  |              |                   | 248              |              | 3 C               |
| 19/10/2014          |                  |              |                   | 278              |              | 3 C               |
| 15/09/2015          |                  |              |                   | 259              | 2 Dir A      |                   |
| 17/12/2016          | 121              |              | 3 L               | 237              |              | 3 C               |
| 30/12/2017          | 101              |              | 3 L               | 215              |              | 3 C               |
| 24/06/2018          | 94               |              | 3 L               | 228              |              | 3 C               |
| 05/01/2020          | 75               |              | 3 L               | *                |              | 3 C               |
| 02/06/2021          | 75               |              | 3 L               |                  |              |                   |
| 01/12/2021          |                  |              |                   | 221              |              | 3 C               |

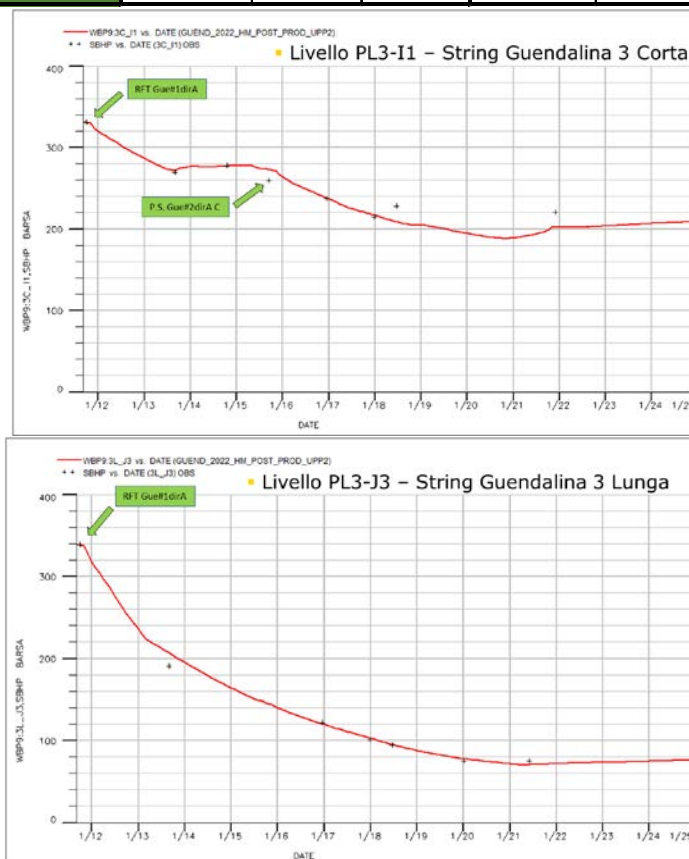
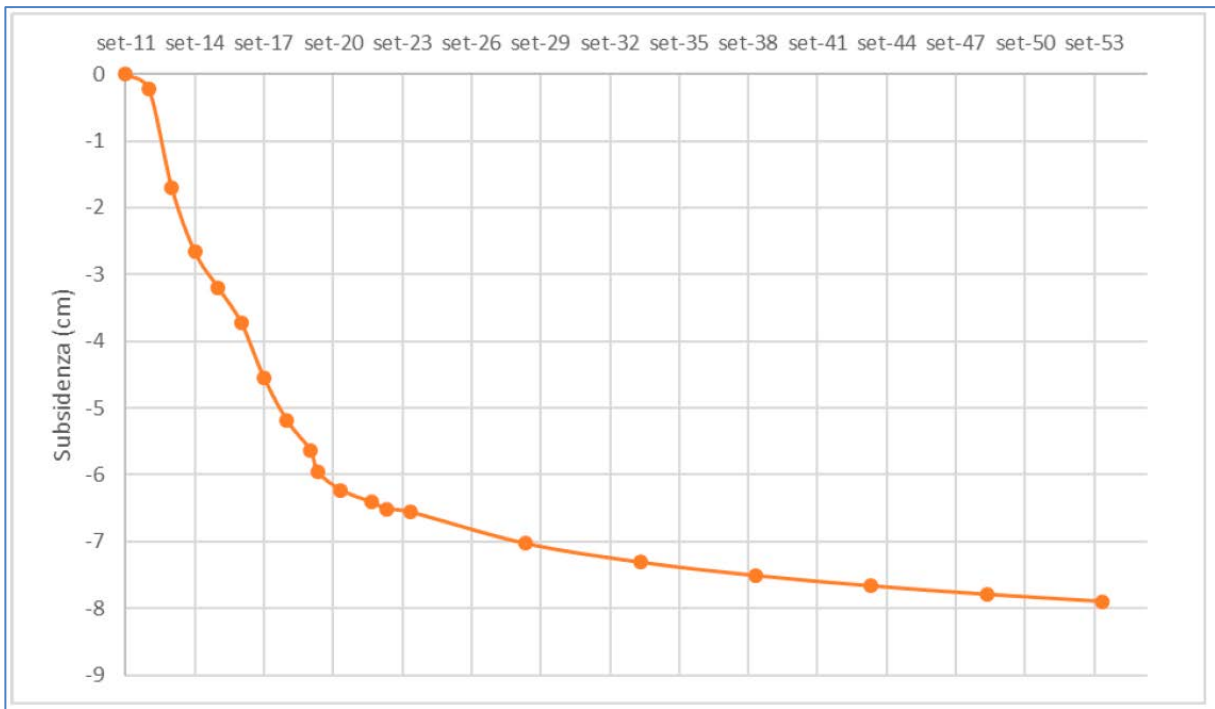
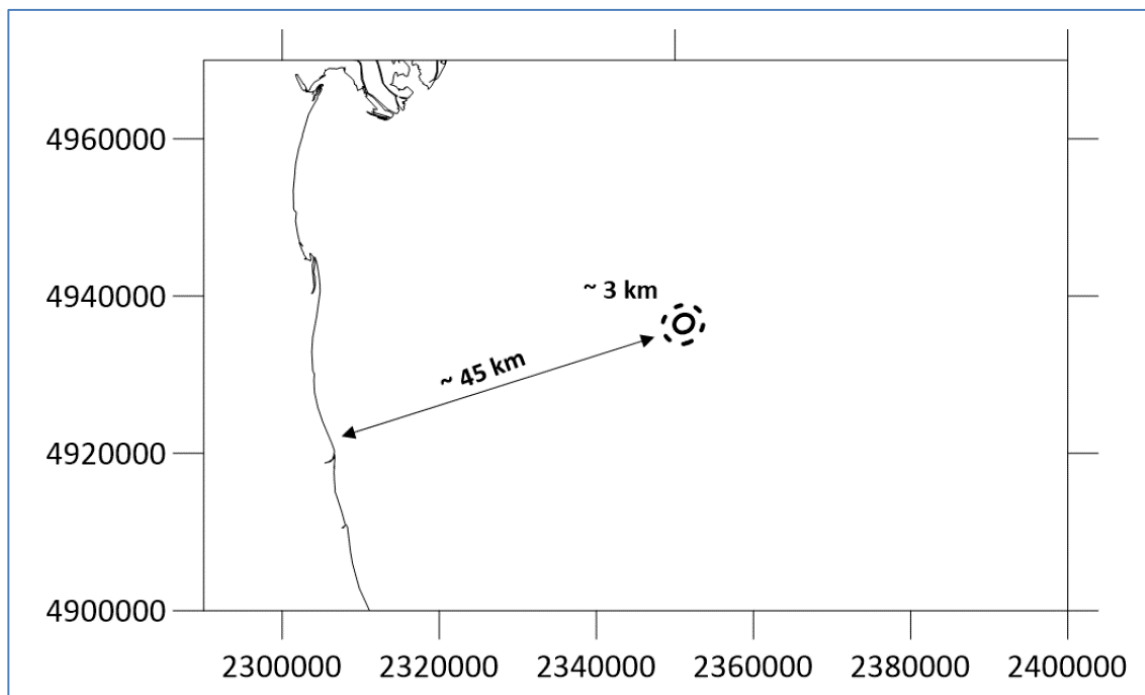


Figura 7 - Campo di Guendalina: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2022 (liv. PL3-I1 e PL3-J3)



**Figura 8 - Campo di Guendalina: evoluzione della subsidenza nel punto di massimo**



**Figura 9 - Campo di Guendalina: Curve di iso-subsidenza a fine produzione (2024). Sono riportate le iso-linee dei 5 cm e dei 2 cm (linea tratteggiata). L'estensione della linea di iso-subsidenza dei 2cm dal punto di massimo in direzione della costa è pari a circa 3Km**

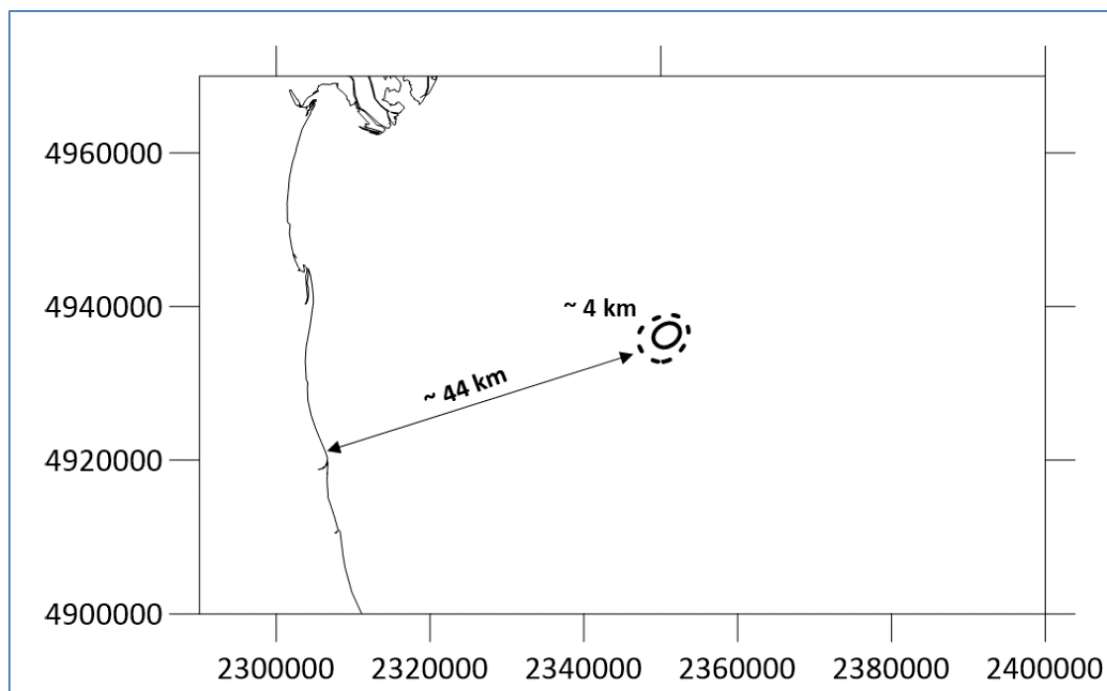


Figura 10 - Campo di Guendalina: curve d'iso-subsidenza a fine simulazione (2053). Sono riportate le iso-linee dei 5 cm e dei 2 cm (linea tratteggiata). L'estensione della linea di iso-subsidenza dei 2cm dal punto di massimo in direzione della costa è pari a circa 4Km

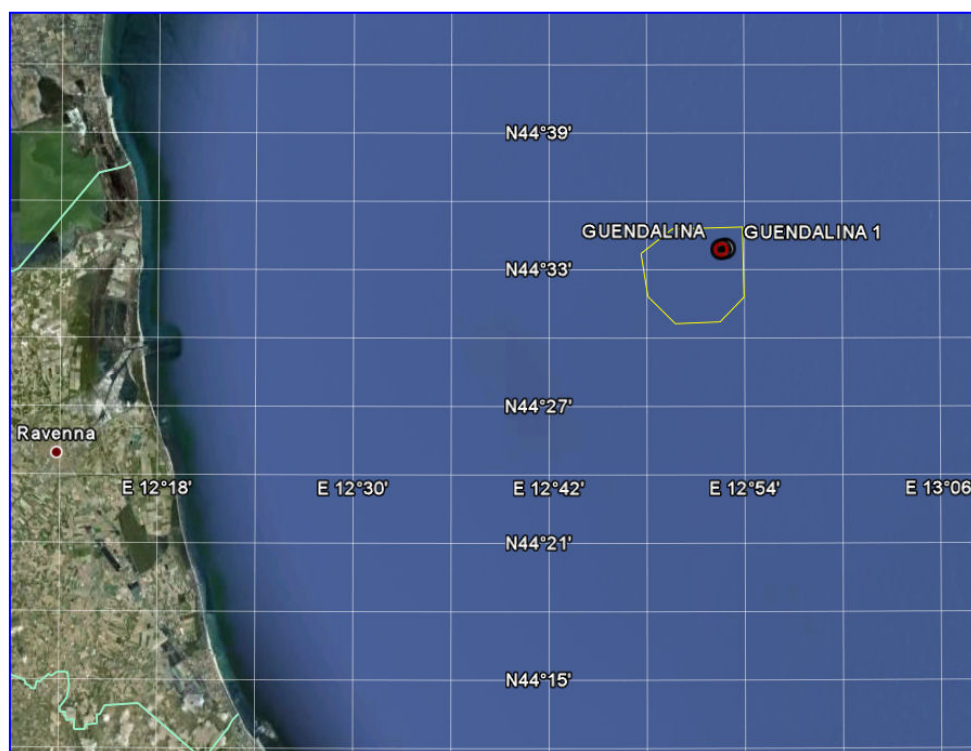


Figura 11 - Batimetria di Guendalina: perimetro dell'area rilevata mappa delle isobate e superficie 3D

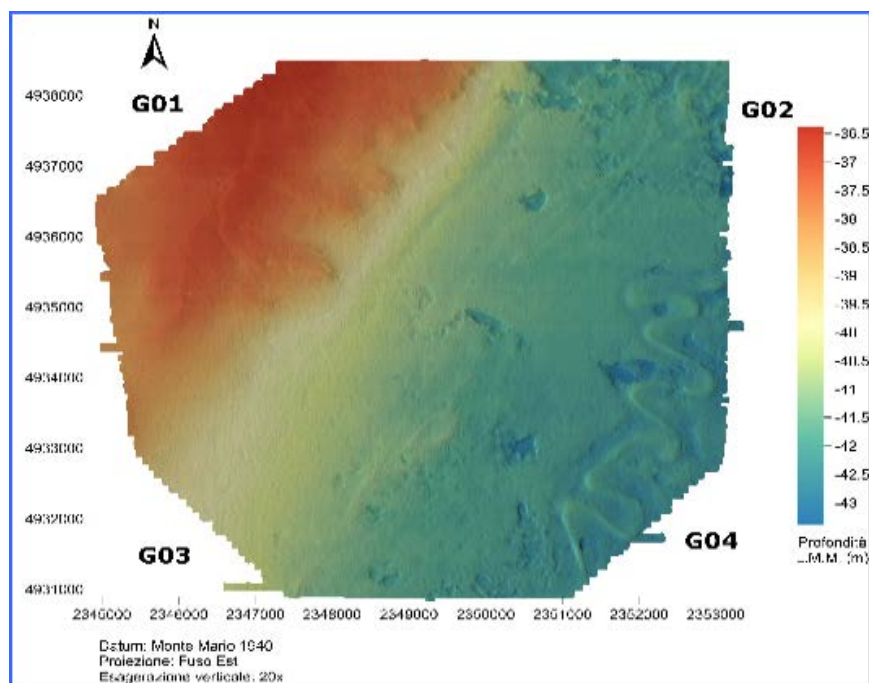
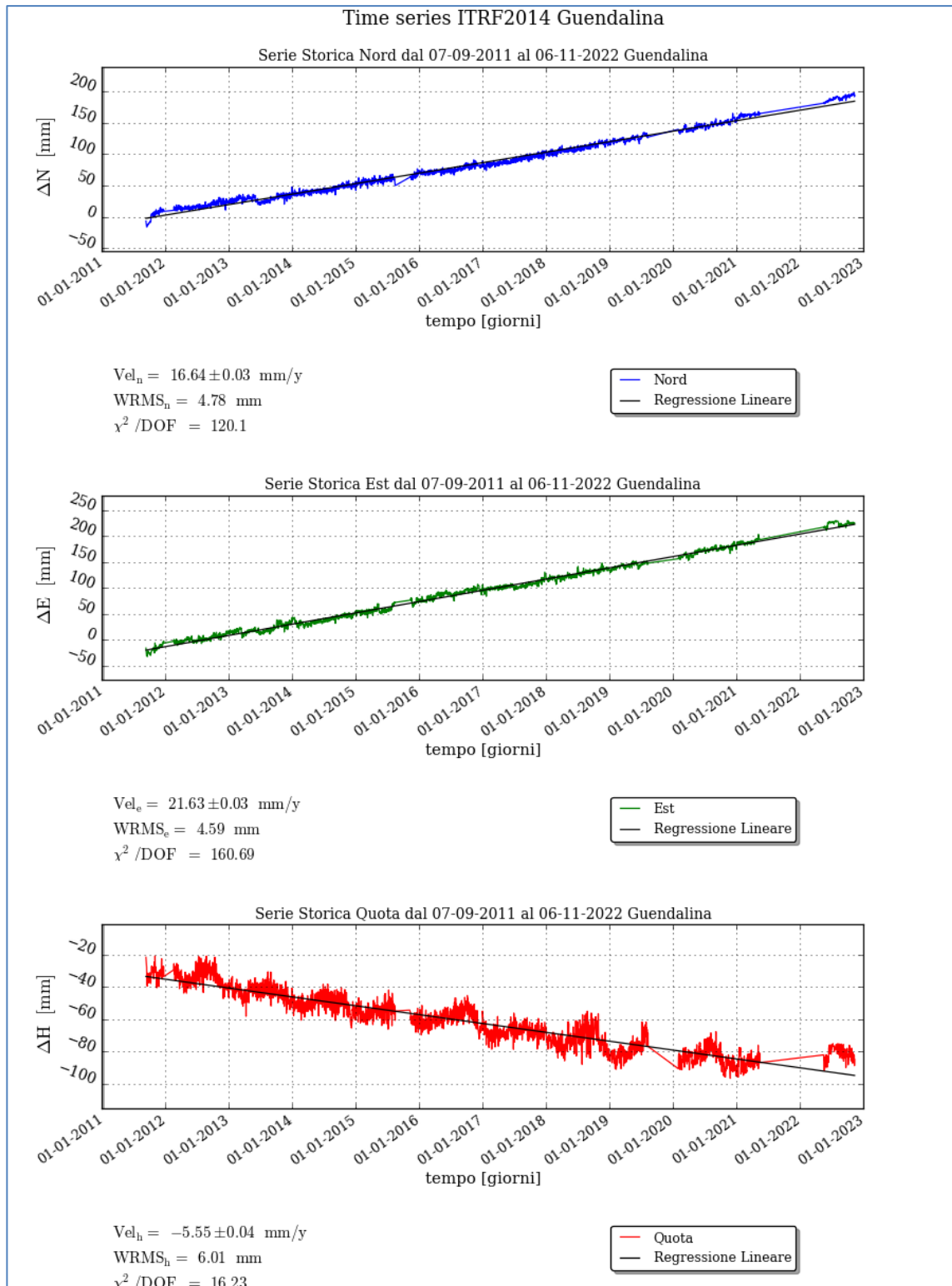
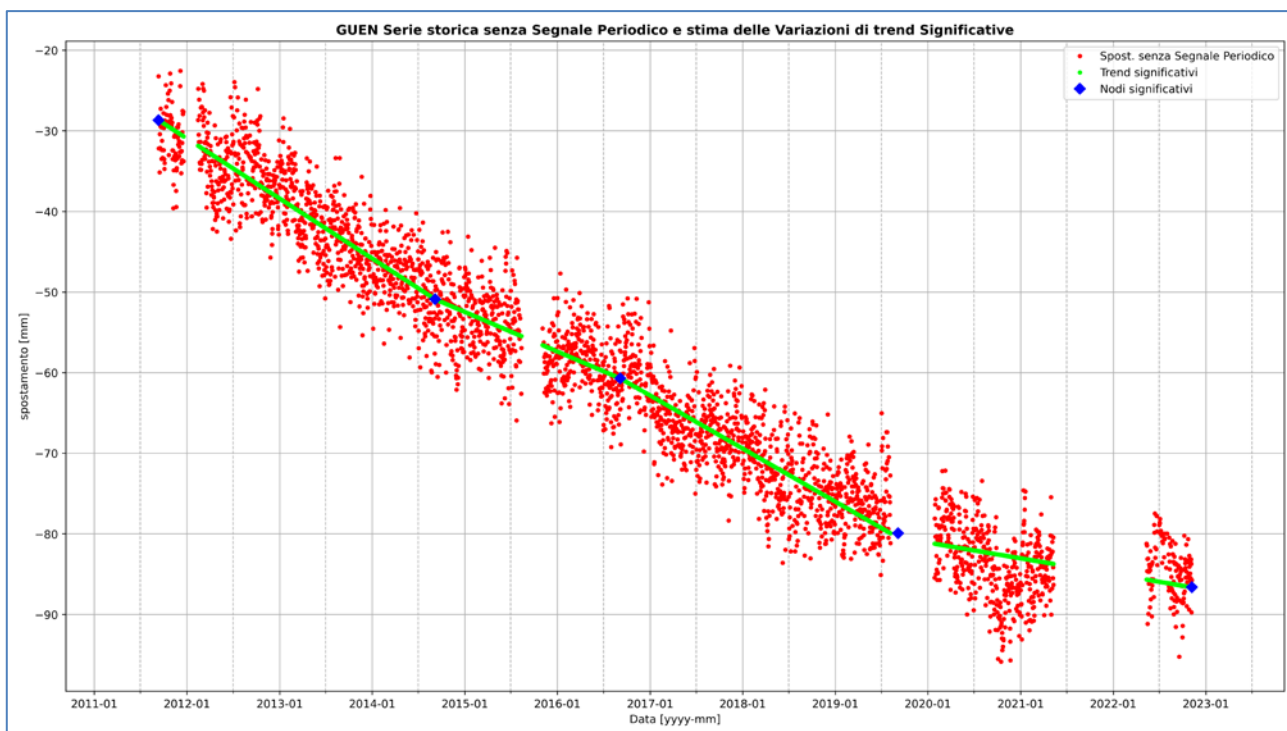


Figura 12 - Batimetria di Guendalina: mappa delle isobate e superficie 3D



**Figura 13 - Campo di Guendalina: serie storiche di misure CGPS**



|   | Inizio     | Fine       | Velocità [mm/anno] | Sigma [mm/anno] |
|---|------------|------------|--------------------|-----------------|
| 1 | 2011-09-11 | 2014-09-06 | -7.44              | 0.39            |
| 2 | 2014-09-06 | 2016-09-05 | -4.91              | 0.46            |
| 3 | 2016-09-05 | 2019-09-05 | -6.58              | 0.33            |
| 4 | 2019-09-05 | 2022-11-06 | -1.94              | 0.41            |

Figura 14 - Campo di GUENDALINA: analisi della serie storica di misure CGPS



| CAMPO                  | Inizio produzione | Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione Mod. Eclipse) | Riserve prodotte @ 31/12/2022 | Max subsidenza prevista (scenario di riferimento) | Ultimo aggiornamento studio geomeccanico | CGPS                 |                             |                             |   |
|------------------------|-------------------|--|-------------------------------|---|--|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
|                        |                   |  |                               |   |  | inizio registrazione | vel.media (mm/a) @ dic.2021 | vel.media (mm/a) @ dic.2022 | Variazione velocità di subsidenza 2022 vs. 2021 |
| ANEMONE                | 1978              | 2019   | 100%                          | -48cm al 2051                                     | 2022                                     | 2007                 | -4,45                       | -4,22                       | -0,23   |
| ANNALISA               | 2000              | 2029   | 93%                           | -8cm al 2034                                      | 2022                                     | 2007                 | -3,08                       | -2,75                       | -0,33   |
| ANNAMARIA B            | 2009              | 2038   | 88%                           | -138cm al 2051                                    | 2021                                     | 2010                 | -87,78                      | -80,81                      | -6,97   |
| BARBARA NW             | 1999              | 2026   | 98%                           | -66cm al 2023                                     | 2021                                     | 2008                 | -25,05                      | -24,2                       | -0,85   |
| BONACCIA               | 1999              | 2029   | 96%                           | -144cm al 2040                                    | 2022                                     | 2008                 | -63,09                      | -61,7                       | -1,39   |
| BONACCIA NW            | 2015              |  |                               |   |  | 2015                 | -35,18                      | -32,25                      | -2,93   |
| CALIPSO                | 2002              | 2031   | 84%                           | -113cm al 2041                                    | 2021                                     | 2007                 | -13,51                      | -13,49                      | -0,02   |
| CALPURNIA              | 2000              | 2021   | 100%                          | -17cm al 2021                                     | 2021                                     | 2008                 | -0,44                       | -0,44                       | 0   |
| CLARA EST              | 2000              | 2042   | 76%                           | -104cm al 2050                                    | 2021                                     | 2007                 | -14,39                      | -14,17                      | -0,22   |
| CLARA NW               | 2016              |  |                               |   |  | 2016                 | -23,01                      | -23,01                      | 0   |
| CLARA NORD             | 2000              | 2018   | 100%                          | -48cm al 2021                                     | 2021                                     | 2007                 | -15,42                      | -15,42                      | 0   |
| ELETTRA                | 2014              | 2027   | 90%                           | -27cm al 2041                                     | 2021                                     | 2014                 | -13,18                      | -10,96                      | -2,22   |
| FAUZIA                 | 2014              | 2024   | 85%                           | -6cm al 2062                                      | 2021                                     | 2014                 | -3,21                       | -2,4                        | -0,81   |
| GUENDALINA             | 2011              | 2022   | 100%                          | -7,9cm al 2053                                    | 2022                                     | 2011                 | -5,99                       | -5,55                       | -0,44   |
| NAIDE                  | 2005              | 2027   | 95%                           | -12cm al 2030                                     | 2021                                     | 2005                 | -3,56                       | -3,47                       | -0,09   |
| NAOMI - PANDORA        | 2001              | 2040   | 71%                           | -4cm al 2042                                      | 2021                                     | 2002                 | -2,06                       | -2,17                       | 0,11  |
| PCME (PCMS)            | 2001              | 2014   | 100%                          | -4cm al 2025                                      | 2020                                     | 2005                 | -3,7                        | -3,52                       | -0,18   |
| REGINA                 | 1997              | 2022   | 100%                          | -131cm al 2053                                    | 2021                                     | 2007                 | -20,67                      | -19,5                       | -1,17   |
| TEA - LAVANDA - ARNICA | 2007              | 2023   | 98%                           | -5cm al 2023                                      | 2019                                     | 2007                 | -3,39                       | -3,39                       | 0   |

Figura 15 - Velocità medie di “subsidenza totale” calcolate su tutta la serie storica CGPS (agg. dic.2022). Dal confronto con i dati 2021 si nota come nel corso del 2022 tutte le velocità di subsidenza siano stabili o in diminuzione

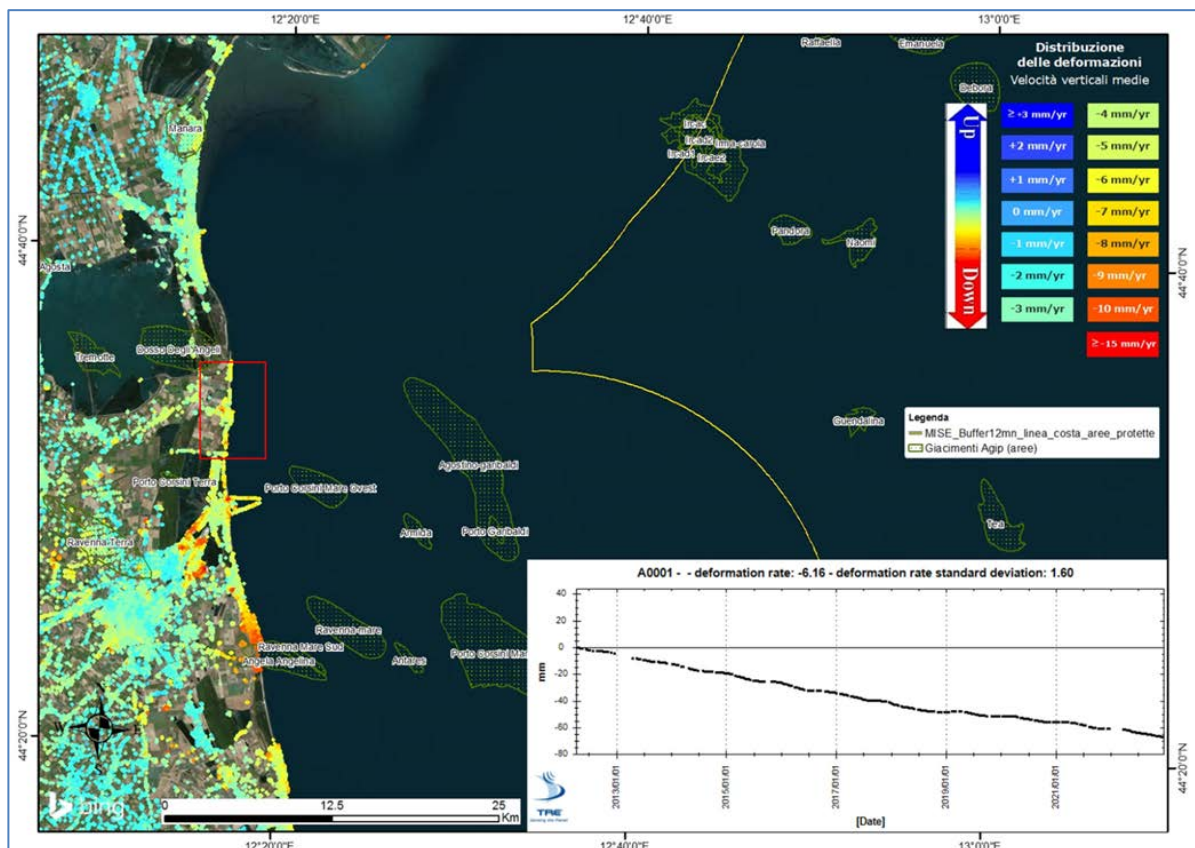


Figura 16 - Campo di Guendalina: Analisi dati InSAR dal 2012 al 2022 nel tratto di costa antistante il campo di Guendalina. Serie storica media (dal 2012 al 2022) dello spostamento medio ricavata dai dati InSAR all'interno del poligono rosso.

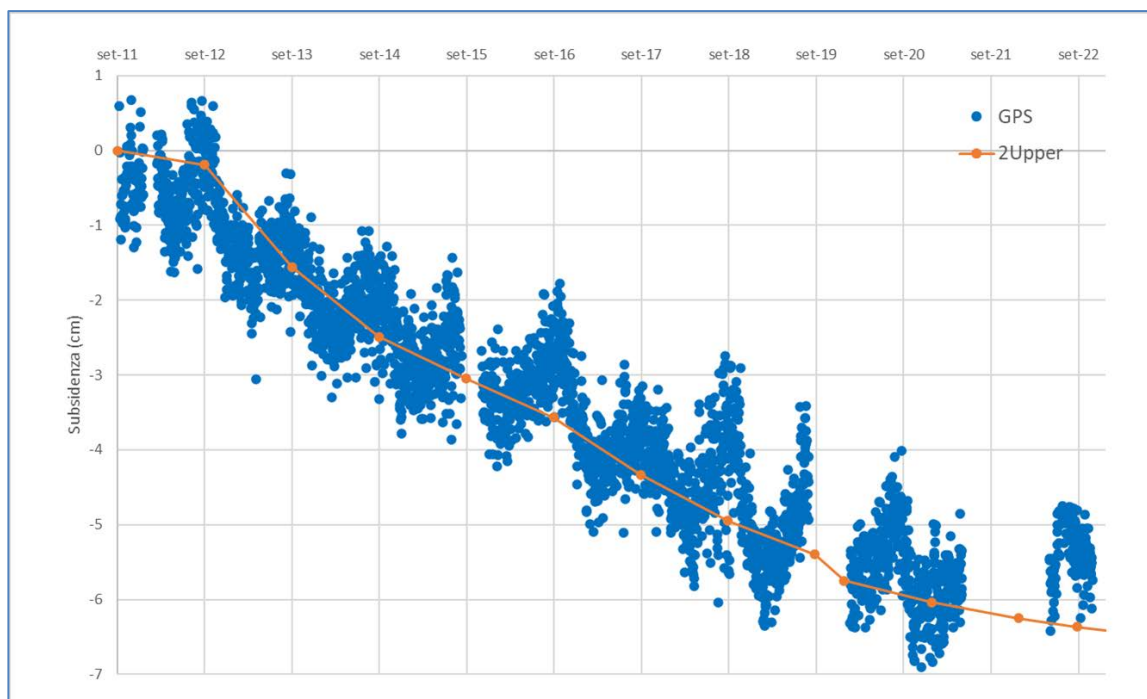


Figura 17 – Campo di Guendalina: misure CGPS vs. modello di subsidenza (mod. geomeccanico 2022).

| Guendalina 2 Dir |         |              |                    |                |              |                    |               |                            |
|------------------|---------|--------------|--------------------|----------------|--------------|--------------------|---------------|----------------------------|
|                  |         | 2011 Survey  |                    |                | 2012 Survey  |                    |               | Results                    |
|                  |         | Mean Spacing | Standard Deviation | Passes Prcesse | Mean Spacing | Standard Deviation | Passes Prcess | Difference 2011 - 2012 mm. |
| 3070m - 3200m    | 3096.75 | 10.5104      | 0.0009             | 4              | 10.51678     | 0.00112            | 3             | 6.38                       |
|                  | 3102.00 | 10.5364      | 0.0014             | 4              | 10.53691     | 0.00233            | 3             | 0.51                       |
|                  | 3107.25 | 10.4824      | 0.0005             | 4              | 10.4778      | 0.0009             | 3             | -4.60                      |
|                  | 3112.50 | 10.5472      | 0.0011             | 4              | 10.54531     | 0.00057            | 3             | -1.89                      |
|                  | 3117.75 | 10.7529      | 0.0007             | 4              | 10.75488     | 0.0026             | 3             | 1.98                       |
|                  | 3123.00 | 10.6776      | 0.0007             | 4              | 10.68061     | 0.00101            | 3             | 3.01                       |
|                  | 3128.25 | 10.4892      | 0.0004             | 4              | 10.48965     | 0.0013             | 3             | 0.45                       |
|                  | 3133.50 | 10.5159      | 0.0003             | 4              | 10.51411     | 0.00039            | 3             | -1.79                      |
|                  | 3138.75 | 10.4989      | 0.0006             | 4              | 10.50583     | 0.00092            | 3             | 6.93                       |
|                  | 3144.00 | NO DATA      | NO DATA            | 4              |              |                    | 3             |                            |
|                  | 3149.25 | 10.5099      | 0.0005             | 4              | 10.49323     | 0.0009             | 3             | -16.67                     |
|                  | 3159.75 | 10.4741      | 0.0011             | 4              | 10.47074     | 0.0006             | 3             | -3.36                      |
|                  | 3165.00 | 10.5022      | 0.0003             | 4              | 10.4989      | 0.0009             | 3             | -3.30                      |
|                  | 3170.25 | 10.7382      | 0.0014             | 4              |              |                    | 3             |                            |
|                  | 3175.5  | 10.7106      | 0.0008             | 4              |              |                    | 3             |                            |
|                  | 3180.75 | NO DATA      | NO DATA            | 4              |              |                    | 3             |                            |
| 3186             | NO DATA | NO DATA      | 4                  |                |              | 3                  |               |                            |

Figura 18 - Pozzo Guendalina 2dir: misure di compattazione in-situ (da FSMT) e deviazione standard

| GUENDALINA 2 DIR A |                    |                 |                    |                  |                 |                    |                  |                              |              |                    |                  |                              |              |                    |                  |                              |                 |                    |                  |                              |              |                    |                  |                              |         |         |  |  |                    |
|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|------------------|-----------------|--------------------|------------------|------------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------------------|-----------------|--------------------|------------------|------------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------------------|---------|---------|--|--|--------------------|
| Bullet NO.         | Original Depth (M) | OTT-2015 Survey |                    |                  | DEC-2016 Survey |                    |                  | Results                      |              |                    | DEC-2017 Survey  |                              |              | Results            |                  |                              | NOV-2018 Survey |                    |                  | Results                      |              |                    | NOV-2021 Survey  |                              |         | Results |  |  | Original Depth (M) |
|                    |                    | Mean Spacing    | Standard Deviation | Passes Processed | Mean Spacing    | Standard Deviation | Passes Processed | Difference 2015 - 2016 in mm | Mean Spacing | Standard Deviation | Passes Processed | Difference 2016 - 2017 in mm | Mean Spacing | Standard Deviation | Passes Processed | Difference 2017 - 2018 in mm | Mean Spacing    | Standard Deviation | Passes Processed | Difference 2018 - 2021 in mm | Mean Spacing | Standard Deviation | Passes Processed | Difference 2018 - 2021 in mm |         |         |  |  |                    |
| 15                 | 3060.17            | 38.81560        | 5.92514            | 4                | 38.87262        | 24.02648           | 4                | 57.02                        | 38.89429     | 1.97               | 3                | 21.67                        | 38.89497     | 3.72366            | 3                | 0.68                         | 38.82519        | 7.07463            | 3                | -69.78                       | 3060.17      |                    |                  |                              |         |         |  |  |                    |
| 14                 | 3099.06            | 5.21748         | 2.81366            | 4                | 5.23001         | 2.52929            | 2                | 12.53                        | 5.23493      | 1.53               | 3                | 4.92                         | 5.24124      | 7.73003            | 3                | 6.31                         | 5.26242         | 10.18641           | 3                | 21.18                        | 3099.06      |                    |                  |                              |         |         |  |  |                    |
| 13                 | 3104.33            | 6.78565         | 3.31920            | 4                | 6.79444         | 6.44623            | 2                | 8.79                         | 6.79575      | 1.32               | 3                | 1.31                         | 6.80094      | 3.54291            | 3                | 5.19                         | 6.80967         | 12.51003           | 3                | 8.73                         | 3104.33      |                    |                  |                              |         |         |  |  |                    |
| 12                 | 3111.13            | 3.67371         | 8.94249            | 4                | 3.66331         | 7.11417            | 2                | -10.4                        | 3.67385      | 1.76               | 3                | 10.54                        | 3.67212      | 6.67184            | 3                | -1.73                        | 3.63776         | 7.66117            | 3                | -34.36                       | 3111.13      |                    |                  |                              |         |         |  |  |                    |
| 11                 | 3114.82            | 5.26261         | 11.07752           | 4                | 5.25946         | 6.13099            | 3                | -3.15                        | 5.2620       | 7.11               | 3                | 2.53                         | 5.26717      | 2.23118            | 3                | 5.18                         | 5.33361         | 5.98669            | 3                | 66.44                        | 3114.82      |                    |                  |                              |         |         |  |  |                    |
| 10                 | 3120.08            | 10.47937        | 9.62796            | 4                | 10.47754        | 8.56489            | 3                | -1.83                        | 10.4903      | 3.34               | 3                | 12.75                        | 10.49268     | 1.4417             | 3                | 2.39                         | 10.52034        | 8.48489            | 3                | 27.66                        | 3120.08      |                    |                  |                              |         |         |  |  |                    |
| 9                  | 3130.59            | 10.48064        | 15.89615           | 4                | 10.48583        | 13.69815           | 3                | 5.19                         | 10.4931      | 3.16               | 3                | -2.73                        | 10.49213     | 6.17748            | 3                | -0.97                        | 10.46836        | 19.10785           | 3                | -23.77                       | 3130.59      |                    |                  |                              |         |         |  |  |                    |
| 8                  | 3141.08            | 10.50475        | 2.29887            | 4                | 10.52647        | 19.85244           | 2                | 21.72                        | 10.50103     | 1.74               | 3                | -25.44                       | 10.49482     | 2.41209            | 3                | -6.21                        | 10.48722        | 5.15512            | 3                | -7.6                         | 3141.08      |                    |                  |                              |         |         |  |  |                    |
| 7                  | 3151.61            | 10.47247        | 4.86123            | 4                | 10.47580        | 18.60585           | 3                | 3.33                         | 10.46095     | 6.33               | 3                | -14.85                       | 10.44934     | 2.59752            | 3                | -11.61                       | 10.39943        | 10.47898           | 3                | -49.91                       | 3151.61      |                    |                  |                              |         |         |  |  |                    |
| 6                  | 3162.09            | 10.51721        | 7.63065            | 4                | 10.49389        | 20.70322           | 2                | -23.32                       | 10.52118     | 8.68               | 3                | 27.29                        | NO DATA      | NO DATA            | NO DATA          |                              | NO DATA         | NO DATA            | NO DATA          |                              | NO DATA      | NO DATA            | NO DATA          |                              | 3162.09 |         |  |  |                    |
| 5                  | 3172.63            | 10.48537        | 4.23660            | 4                | 10.44706        | 0.00000            | 2                | -38.31                       | NO DATA      | NO DATA            | NO DATA          |                              | NO DATA      | NO DATA            | NO DATA          |                              | NO DATA         | NO DATA            | NO DATA          |                              | NO DATA      | NO DATA            | NO DATA          |                              | 3172.63 |         |  |  |                    |
| 4                  | 3183.14            | 10.46809        | 6.36086            | 4                | NO DATA         | NO DATA            | NO DATA          |                              |              |                    | 3                |                              |              |                    | 3                |                              |                 |                    | 3                |                              |              |                    | 3                |                              | 3183.14 |         |  |  |                    |
| 3                  | 3193.64            | 6.73798         | 2.26349            | 4                | NO DATA         | NO DATA            | NO DATA          |                              |              |                    | 3                |                              |              |                    | 3                |                              |                 |                    | 3                |                              |              |                    | 3                |                              | 3193.64 |         |  |  |                    |
| 2                  | 3200.4             | 3.74791         | 3.95022            | 4                | NO DATA         | NO DATA            | NO DATA          |                              |              |                    | 3                |                              |              |                    | 3                |                              |                 |                    | 3                |                              |              |                    | 3                |                              | 3200.4  |         |  |  |                    |
| 1                  | 3204.17            | 5.49076         | 3.44812            | 4                | NO DATA         | NO DATA            | NO DATA          |                              |              |                    | 3                |                              |              |                    | 3                |                              |                 |                    | 3                |                              |              |                    | 3                |                              | 3204.17 |         |  |  |                    |
| 0                  | 3209.69            | no data         |                    | 4                | NO DATA         | NO DATA            | NO DATA          |                              |              |                    | 3                |                              |              |                    | 3                |                              |                 |                    | 3                |                              |              |                    | 3                |                              | 3209.69 |         |  |  |                    |

Figura 19 - Pozzo Guendalina 2dirA: misure di compattazione in-situ (da FSMT) e deviazione standard

| DATI DI CAMPO                                      |  |  |  | campo GUENDALINA (J.V. Eni 80% - Rockhopper 20%)  |  |
|--|--|--|--|---|--|
| UBICAZIONE PROFONDITA' FONDALE                     |  | offshore - 47 km E. costa romagnola 42 m |  | DEC. VIA n. 0009995 del 22 aprile 2009  |  |
| LITOLOGIA  |  | terreni pliocenici sabbiosargillosi      |  | AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (GUENDALINA)   |  |
| FORMAZIONE RESERVOIR                               |  | Polo Garibaldi                           |  | SIA   |  |
| ZONA MINERARIA                                     |  | P13 e P1                                 |  | MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "giu-luglio 07"  |  |
| PROFONDITA' RESERVOIR                              |  | 3000 - 3080 (TVSS)                       |  | ULTIMO AGGIORNAMENTO  |  |
| TIPO DI PIATTAFORMA                                |  | fissa monotubolare - BEAF                |  | Agg. studio giac. per studio geomecc. - Scheda riassuntiva, Doc. N° IPET-BBBA1F1-0 (dicembre 2022)  |  |
| CARATTERISTICHE GEOLOGICHE                         |  | torbiditi sottili                        |  | RISERVE (MSm <sup>3</sup> )   |  |
|  |  |  |  | 757   |  |
|  |  |  |  | ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ agosto 2007  |  |
|  |  |  |  | 835   |  |
|  |  |  |  | ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ dicembre 2022  |  |
|  |  |  |  | 8 (nei 2053)  |  |
|  |  |  |  | MAX SUBS AL CENTRO (cm)   |  |
|  |  |  |  | 1.5 (dopo 10 anni) - caso "Most Likely"   |  |
|  |  |  |  | MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)  |  |
|  |  |  |  | #   |  |
|  |  |  |  | > 40 Km @ 2053 (fine simulazione)   |  |
| CONCESSIONE  |  |  |  | STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI  |  |
| A.C35.AG   |  | D.M @ aprile '09 @ 31 dic 2022           |  | LIVELLAZIONI  |  |
| DATA SCADENZA CONCESSIONE                          |  | 29/11/2027                               |  | ACQUISITI DATI DI LIVELLAZIONE NEL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1968-2009, 2011, 2014, 2017 e 2020.  |  |
| N. POZZI (produttori)                              |  | 2  |  | LA CAMPAGNA DEL 2020 E' STATA CERTIFICATA DAL DICAM UNIVERSITA' DI BOLOGNA  |  |
| RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm <sup>3</sup> ) |  | 757                                      |  | LA PROSSIMA CAMPAGNA DI LIVELLAZIONE, LUNGO LA DORSALE ADRIATICA, SARA' EFFETTUATA NEL CORSO DEL 2024   |  |
| START UP PRODUZIONE                                |  | 08-11                                    |  | MARKERS   |  |
| FINE PRODUZIONE PREVISTA                           |  | 2021                                     |  | MARKERS SU GUENDALINA 2dirA. ULTIMO SURVEY @ novembre 2021.   |  |
| GAS PRODOTTO (MSm <sup>3</sup> )                   |  | 835                                      |  | SURVEY ESEGUITI: ottobre 2015, dicembre 2016, dicembre 2017, novembre 2018  |  |
| % RISERVE PRODOTTE                                 |  | 100%                                     |  | CGPS  |  |
|  |  |  |  | OPERATIVO DA AGOSTO 2011  |  |
|  |  |  |  | SAR   |  |
|  |  |  |  | ACQUISTO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DIC. 2022 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER INSERIMENTO DEL CAMPO NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA. ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO |  |

Figura 20 - Campo di Guendalina: scheda di sintesi

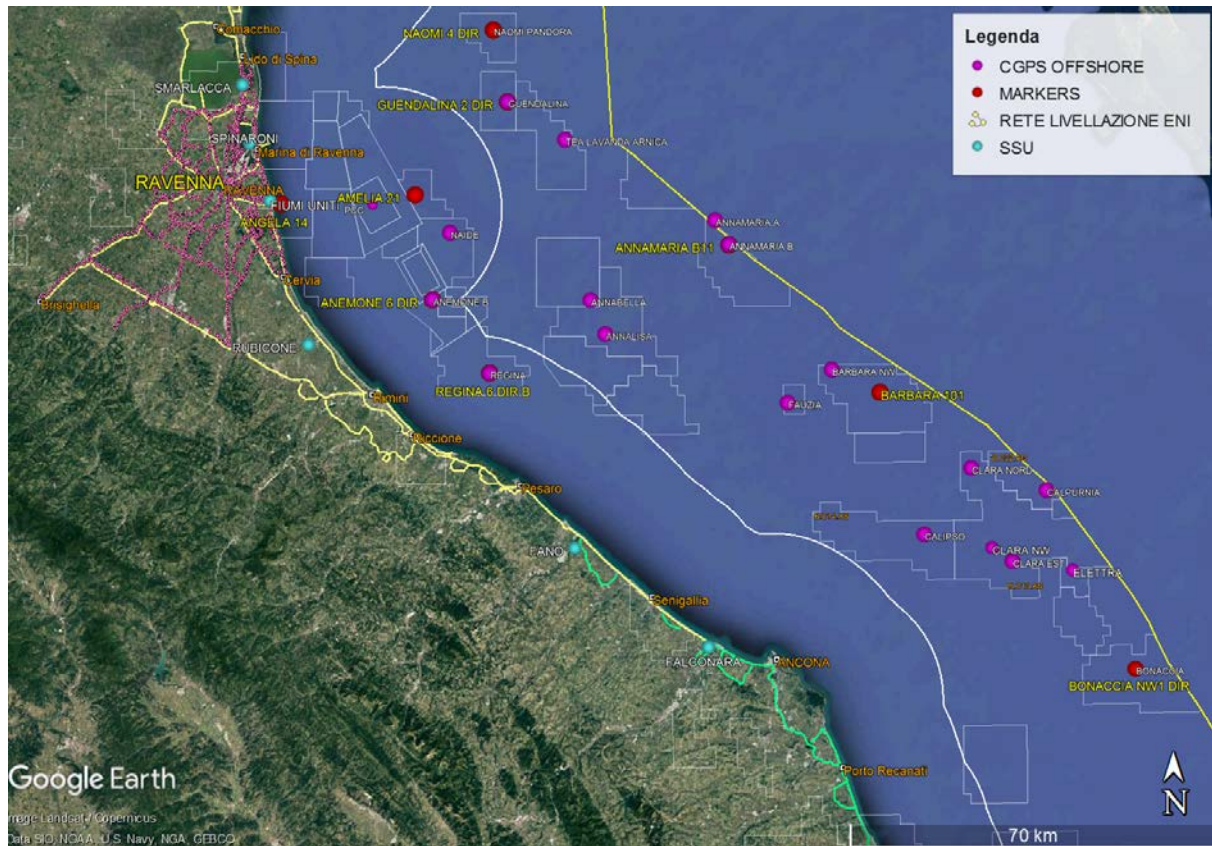


Figura 21 - Particolare della rete di monitoraggio Eni



### 13 Appendice A: Analisi dei dati satellitari (2012-2022) lungo la fascia costiera compresa tra Porto Tolle (RO) e Ortona (PE).

Le elaborazioni dei dati InSAR per il periodo 2012 – 2022 sono state effettuate con la tecnica PSP-DIFSAR. In seguito, verrà descritto con maggior dettaglio l’algoritmo utilizzato (vedi nota a fondo paragrafo “Tecnica PSP-DIFSAR”), cercando di mettere in luce le differenze dei principali algoritmi utilizzati in interferometria radar.

#### Analisi dati InSAR 2012 – 2022

L’analisi dei dati SAR ha interessato una serie di data-set, elaborati in fase di processamento in modo tale da garantire continuità spaziale dei dati.

Da un’analisi delle differenze tra le velocità medie annuali misurate dai CGPS (2012-2022) presenti nell’area di interesse e quelle dei PS (Permanent Scatterer), nello stesso intervallo temporale, presenti in un intorno di circa 300 m di raggio centrato nel corrispondente CGPS (Tabella 1), si è scelto di accorpate i data-set in due macro - aree, in modo tale che la taratura del dato InSAR minimizzi le differenze tra quest’ultimo e le misure CGPS.

In Tabella 1 vengono presentate: le velocità verticali dei CGPS,  $V_{vert\_CGPS}$ , e il corrispondente scarto quadratico medio  $sqm\_CGPS$  (colonna 3 e 4); la media delle velocità verticali dei permanent scatterers nell’intorno avente come centro il CGPS corrispondente  $Media\_V\_SAR$ , e il corrispondente scarto quadratico medio  $sqm\_SAR$  (colonna 5 e 6); la differenza tra le velocità CGPS e SAR e il relativo scarto quadratico medio (colonne 7 e 8). Tutte le misure sono in millimetri/anno.

Tabella 3 . Taratura dato InSAR con le misure CGPS.

|                 | CGPS        | V_vert_CGPS<br>[mm/yr] | sqm_CGPS<br>[mm/yr] | Media_V_SAR<br>[mm/yr] | sqm_SAR<br>[mm/yr] | Diff_VEL<br>CGPS-SAR<br>[mm/yr] | sqm_diff<br>[mm/yr] |
|-----------------|-------------|------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------|
| RAVENNA         | SMARLACCA   | -4,87                  | 0,02                | -2,03                  | 0,26               | -2,840                          | 0,28                |
|                 | SPINARONI   | -6,11                  | 0,02                | -2,37                  | 0,30               | -3,740                          | 0,32                |
|                 | FIUMI UNITI | -9,88                  | 0,03                | -7,59                  | 0,70               | -2,290                          | 0,73                |
| FANO-<br>ANCONA | RUBICONE    | -3,08                  | 0,03                | -2,55                  | 0,21               | -0,530                          | 0,24                |
|                 | FANO        | -0,35                  | 0,02                | 0,07                   | 0,11               | -0,420                          | 0,13                |
|                 | FALCONARA   | -0,65                  | 0,03                | -0,12                  | 0,15               | -0,530                          | 0,18                |
|                 | ITALGAS     | 0,01                   | 0,02                | 0,32                   | 0,11               | -0,310                          | 0,13                |

Come si può vedere in Tabella 1 , le differenze di velocità tra dati CGPS e le velocità medie dei dati InSAR rappresentati nella penultima colonna hanno andamenti diversi nell’intera area con differenze

che si aggirano intorno a 2.95 mm/anno di media, nell'area di Ravenna, e -0,44 mm/anno nell'area di Fano-Ancona.

Di conseguenza si è scelto di raggruppare i diversi data-set in due macro-aree (Figura 1):

1. Area di Ravenna
2. Area di Fano-Ancona

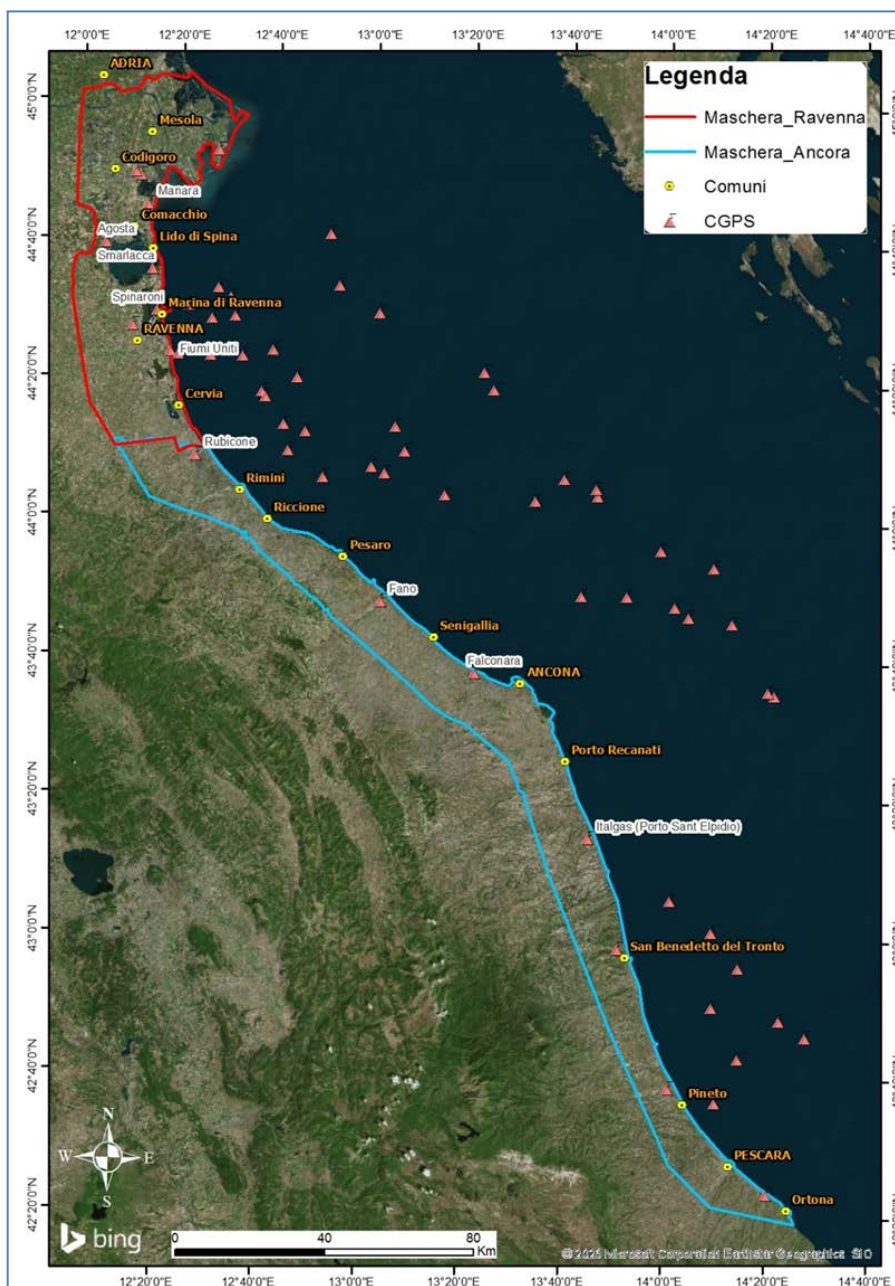



Figura 22. Mappa delle macro aree in cui sono stati raggruppati i dati SAR.

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 33 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Complessivamente risultano presenti le seguenti stazioni CGPS afferenti alla rete Eni:

1. Area Ravenna: Smarlacca, Spinaroni, Fiumi Uniti
2. Area Fano-Ancona: Rubicone, Fano, Falconara, Italgas

Il processo di calibrazione è stato realizzato utilizzando le informazioni derivanti dalle stazioni di monitoraggio CGPS esistenti all'interno delle aree analizzate, partendo dalle stazioni che presentano una serie storica più consistente (Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti).

Si è realizzata, quindi, la calibrazione dei dati SAR partendo dall'area più a nord (area Ravennate), utilizzando i dati di velocità della stazione di Smarlacca; i dati delle stazioni di Fiumi Uniti e di Spinaroni sono stati utilizzati esclusivamente come valore di verifica dei risultati ottenuti con la calibrazione. La determinazione delle velocità verticali con dati CGPS è stata calcolata sulla serie storica totale del dato, che per quanto riguarda le postazioni di Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti ha un inizio di acquisizione leggermente anteriore rispetto a quello dei dati SAR. Queste velocità così calcolate hanno una differenza sotto il decimo di millimetro/anno, rispetto a quelle calcolate sullo stesso periodo di acquisizione, da considerarsi pertanto trascurabile ai fini di questo studio.

L'analisi dei dati SAR non calibrati, relativi all'area Ravennate nell'intorno della stazione CGPS di Smarlacca per un raggio di 300 metri, ha evidenziato una velocità media pari a  $-2,03 \pm 0,26$  mm/anno. Considerando la velocità determinata con il CGPS di  $-4,87 \pm 0,02$  mm/anno, si rileva una differenza di  $-2,84 \pm 0,28$  mm/anno. Per questo motivo ai valori di velocità media della componente verticale determinata con il monitoraggio SAR, è stato aggiunto il valore di  $-2,84 \pm 0,28$  mm/anno. Successivamente sono stati confrontati i punti SAR, che ricadevano in un intorno di raggio pari a 300 m, rispetto ai CGPS di Fiumi Uniti e Spinaroni. Il confronto mostra delle differenze, tra i singoli CGPS e i dati SAR calibrati, sotto il millimetro: ciò conferma la validità della calibrazione effettuata.

In Figura 2 si possono visualizzare i PS (Permanent Scatterer) dei dati SAR ottenuti a valle del processo di calibrazione per l'area di Ravenna nel tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.



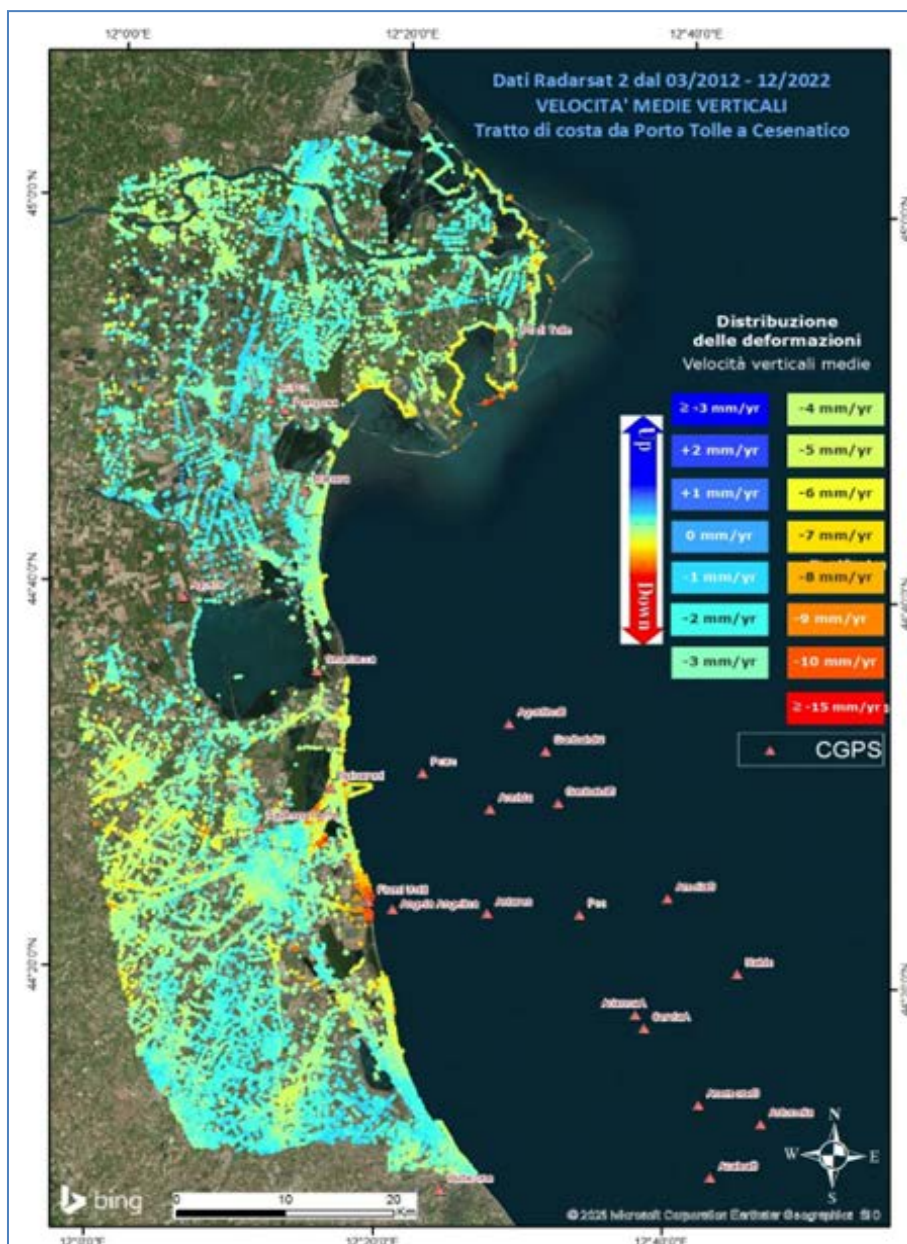


Figura 23. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

Come già effettuato precedentemente, il data set dell'area di Fano-Ancona (vedi Figura 3) verrà analizzato separatamente dall'area Ravennate in quanto è stata rilevata una coerenza delle misure SAR con le misure delle stazioni CGPS interne a ciascun'area.

Analizzando l'area SAR di Fano-Ancona, si evidenzia come le velocità dei CGPS di Rubicone, Fano, Falconara e Italgas siano allineate con le velocità misurate dal SAR, con uno scarto inferiore ai 2 mm (Tabella 1). Si fa presente che per il confronto viene considerato un intorno di circa 300 m di raggio, e la velocità dei dati SAR è una media delle velocità verticali dei Permanent Scatterer (PS) che ricadono

all'interno di questo intorno. Considerata la minima differenza tra il valore misurato dal CGPS di FANO e quella del dato SAR ( $-0,42 \pm 0,13$  mm/anno), non si è ritenuto necessario eseguire una calibrazione. Come è possibile notare in Tabella 1 per i vari CGPS presenti nell'area, il confronto mostra delle differenze rispetto ai dati SAR puri di circa 0,44 mm/anno in media.

In Figura 3 si possono visualizzare i PS (Permanent Scatterer) dei dati SAR ottenuti a valle del processo di calibrazione per l'area Fano-Ancona nel tratto di costa da Rimini ad Ortona.

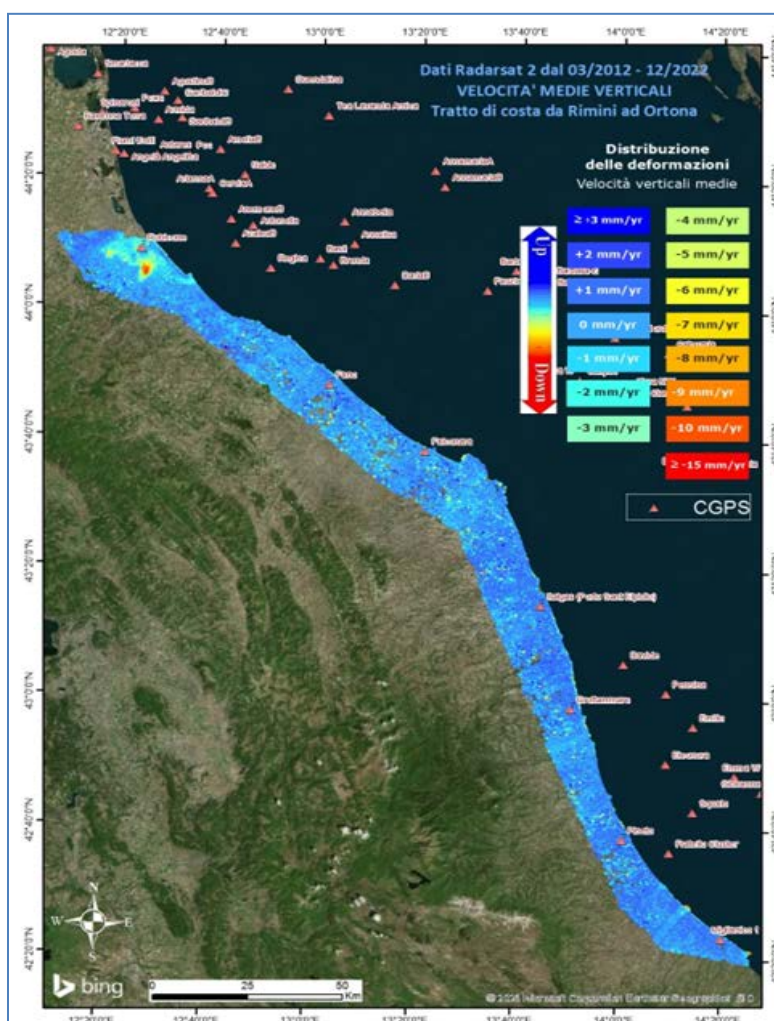



Figura 24. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.

### Tecnica PSP-DIFSAR (Estratto dalle Linee guida MATTM 2009)

La tecnologia interferometrica PSP-DIFSAR sviluppata da Telespazio/e-GEOS (<http://www.telespazio.it> / <http://www.e-geos.it>) è una tecnica d'interferometria differenziale SAR di tipo Persistent Scatterer Interferometry (PSI) che utilizza una procedura algoritmica proprietaria per l'individuazione e l'analisi dei Persistent Scatterers (PS) su lunghe serie di immagini SAR (radar ad apertura sintetica),

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 36 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

allo scopo di misurare movimenti lenti del terreno dovuti a frane, subsidenza, fenomeni vulcanici e sismici (Costantini et al., 2005). I PS corrispondono generalmente ad elementi al suolo, come manufatti (ad esempio, parti di edifici, antenne, tralicci, elementi metallici in genere) oppure corpi naturali (ad esempio, rocce esposte) che si distinguono dagli altri, presenti nell'area esaminata, per il fatto di possedere un'elevata stabilità nel tempo della cosiddetta "firma radar". Questi punti presentano caratteristiche tali da permettere misure estremamente accurate della distanza sensore-bersaglio così da poter evidenziare spostamenti relativi dei PS nel tempo anche solo di pochi millimetri. L'interferometria differenziale si basa su un sensore SAR a bordo di un satellite che invia un impulso elettromagnetico verso la superficie terrestre e riceve il segnale retrodiffuso. Misurando il ritardo di fase tra il segnale inviato e quello retrodiffuso si può determinare con estrema precisione la distanza tra il sensore ed il bersaglio. Se l'oggetto si trova in un'area soggetta a fenomeni di deformazione superficiale, il sensore, passando in istanti successivi sulla stessa area di interesse, rileva tra un'acquisizione e l'altra, una variazione di distanza. Questo dato, dopo una complessa elaborazione per l'identificazione dei punti di misura e la rimozione dei contributi spuri (ritardi atmosferici, imprecisione nella conoscenza delle orbite, ecc.), rende possibili misure estremamente accurate di eventuali spostamenti superficiali lenti dell'area di interesse. Una delle peculiarità del metodo PSP è quella di sfruttare solo le proprietà del segnale relative a coppie di punti vicini, sia per identificare sia per analizzare i Persistent Scatterers. Infatti, due punti vicini sono affetti allo stesso modo da artefatti atmosferici ed orbitali, ed in generale da tutti i contributi correlati spazialmente (anche i movimenti non lineari nel tempo). Il metodo PSP presenta le seguenti differenze rispetto alle tecniche PSI standard:

- non richiede calibrazione dei dati o interpolazioni basate su modelli (in particolare per la rimozione degli artefatti atmosferici ed orbitali);
- è meno sensibile alla densità dei PS;
- permette una migliore identificazione di PS in terreni naturali e di PS caratterizzati da movimenti non lineari nel tempo;
- in aggiunta è computazionalmente efficiente ed altamente parallelizzabile.

La densità dei PS individuati è solitamente molto elevata in corrispondenza dei centri urbani e di aree rocciose mentre è praticamente nulla nelle zone vegetate o perennemente innevate. L'insieme dei PS sul territorio costituisce una rete naturale di "capisaldi radar", concettualmente analoga ad una rete di stazioni GPS (Global Positioning System) permanente. La loro densità su scala regionale è però ordini di grandezza superiore a quanto ottenibile con reti geodetiche convenzionali, fornendo un quadro d'insieme a costi decisamente più bassi rispetto a queste, dato che il sensore rileva punti di misura che non richiedono alcun intervento di installazione e manutenzione trovandosi già sul terreno.



## 14 Appendice B: Monitoraggio della compattazione superficiale (agg. 2022) lungo la fascia costiera compresa tra Comacchio e Cervia - giacimenti di Naomi-Pandora, Tea-Lavanda-Arnica, Guendalina, PCM.

Il monitoraggio della compattazione superficiale, lungo la fascia costiera adriatica compresa tra Comacchio e Cervia, è effettuato tramite 3 stazioni *EPSU* (*Extensometric Piezometric Survey Unit*) denominate: Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti. L'ubicazione di tali stazioni, installate tra il 1994 e il 1997, è riportata in Figura 1B.

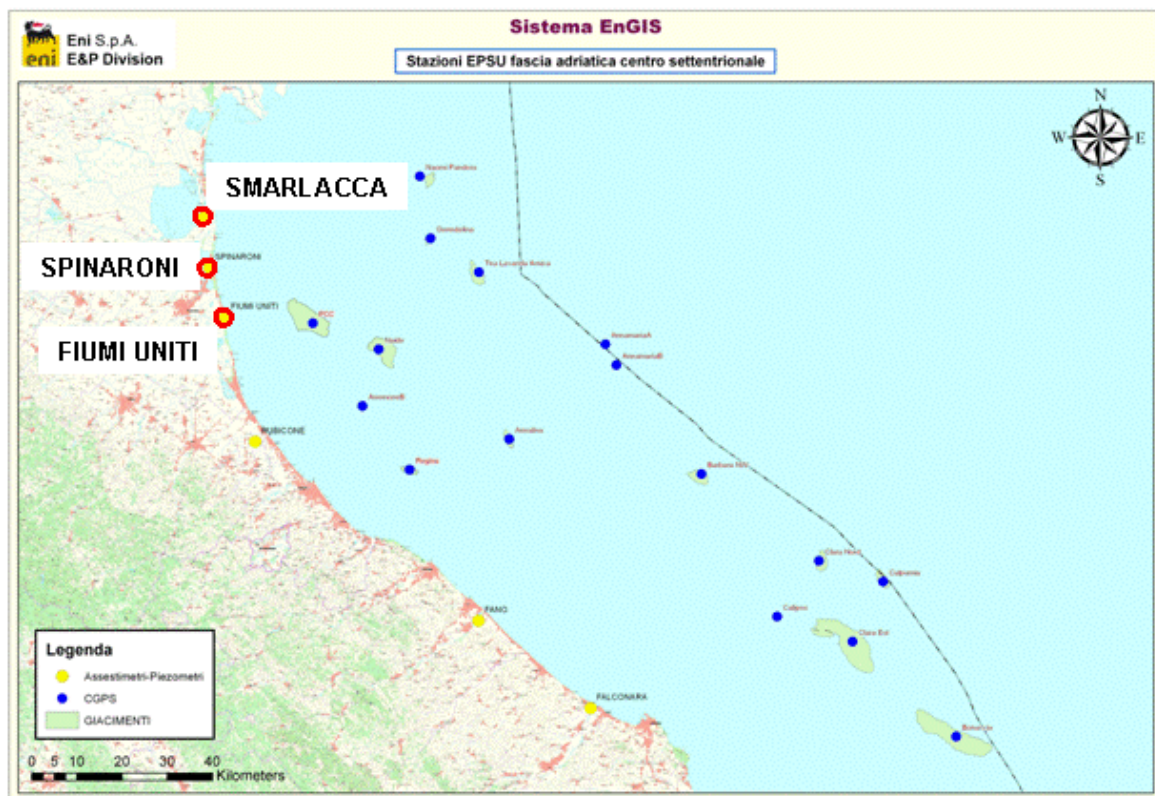


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

In generale una stazione *EPSU* è costituita da un assestmetro, associato a uno o più piezometri, con il corredo di strumentazione meteorologica per la misura della temperatura e della pressione atmosferica (termometri sia in foro che in superficie, e un barometro in modo da compensare le misure assestimetriche e piezometriche per le variazioni di temperatura e pressione atmosferica) come schematicamente rappresentato in Figura 2B.

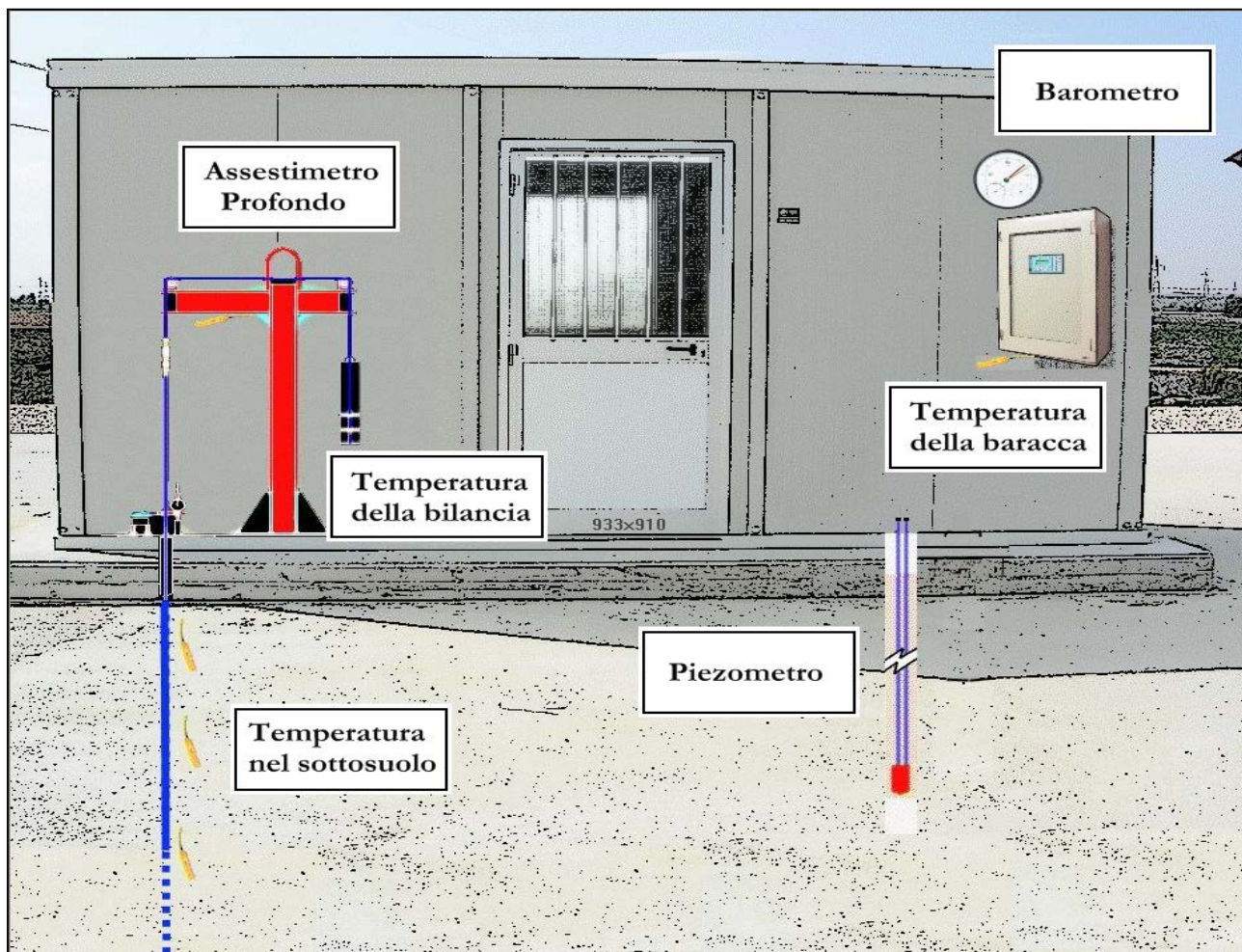


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

Più in dettaglio, in ciascuna delle 3 stazioni *EPSU* sono stati installati i seguenti dispositivi di misura:

| Località'          | Pozzo | Strumentazione            | Profondità' (da P.C.) | Data d'installazione |
|--------------------|-------|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>Smarlacca</b>   |       | Assestometro profondo     | 336 m                 | Nov.1997             |
|                    |       | Assestometro superficiale | 30 m                  | Nov.1997             |
|                    |       | Piezometro profondo       | 150.8 m               | Nov.1997             |
| <b>Spinaroni</b>   |       | Assestometro profondo     | 336 m                 | Nov.1997             |
|                    |       | Piezometro profondo       | 150.8 m               | Nov.1997             |
| <b>Fiumi Uniti</b> |       | Assestometro profondo     | 372.85 m              | Set. 1994            |
|                    |       | Assestometro superficiale | 224.2 m               | Set. 1994            |
|                    |       | Piezometro profondo       | 360 m (disattivato)   | Set. 1994            |
|                    |       | Piezometro intermedio     | 243 m (disattivato)   | Set. 1994            |
|                    |       | Piezometro superficiale   | 148 m (disattivato)   | Set. 1994            |
|                    | PS-1  | Piezometro tubo aperto    | 10.5 m                | Dic. 2011            |
|                    | PS-2  | Piezometro tubo aperto    | 30.5 m                | Dic. 2011            |
|                    | PP-1  | Piezometro tubo aperto    | 373.5 m               | Dic. 2011            |
|                    | PP-2  | Piezometro tubo aperto    | 257 m                 | Dic. 2011            |
|                    | PP-3  | Piezometro tubo aperto    | 163 m                 | Dic. 2011            |

Per ciascuna stazione *EPSU* vengono di seguito presentati:

1. caratteristiche principali;
2. i grafici con tutti i dati registrati.

**N.B.:** Nella lettura dei dati riportati sui grafici relativi agli assestimetri, i valori positivi costituiscono la componente della compattazione (riduzione dello spessore dello strato di sottosuolo attraversato dall'assestometro); al contrario i valori negativi costituiscono la componente dell'espansione (aumento dello spessore dello strato di sottosuolo attraversato dall'assestometro).

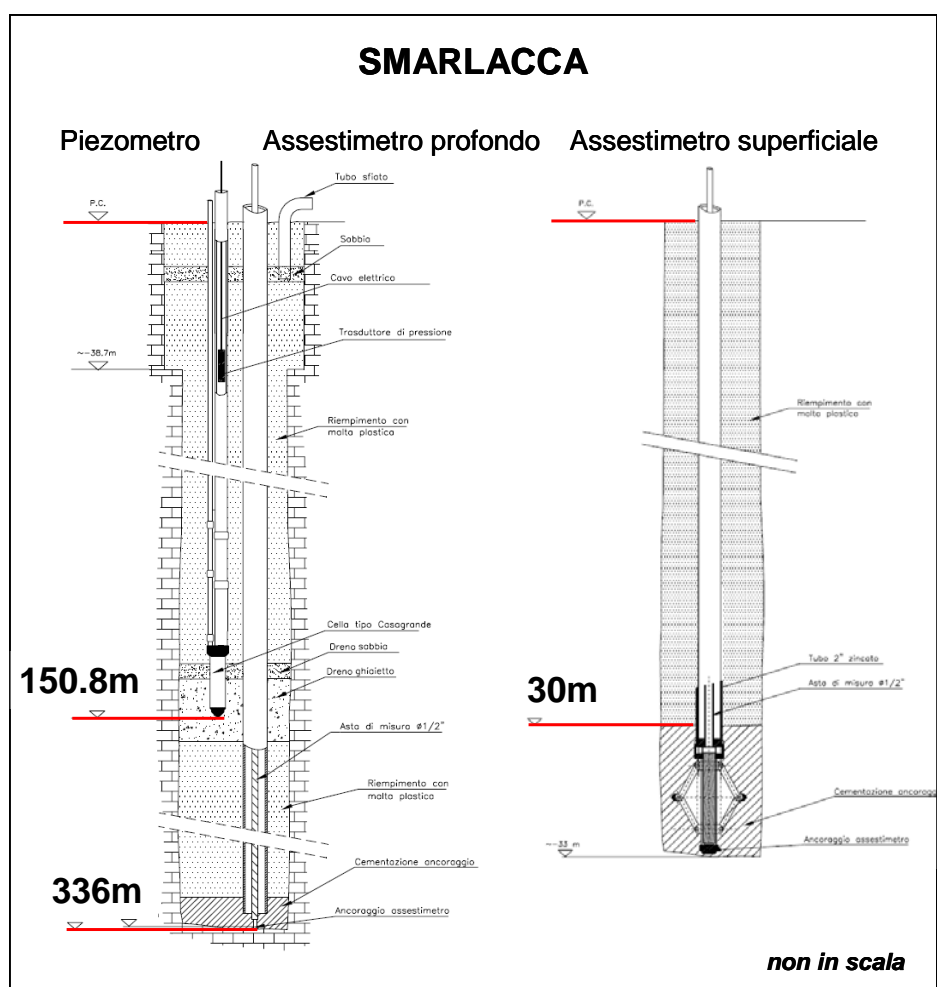
## **Stazione EPSU di Smarlacca** (installata novembre 1997)

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 44°35'40.00"N e 12°14'49.44"E.

La stazione è ubicata presso la località Valli di Comacchio in provincia di Ravenna, a circa 2 Km a sud della foce del fiume Reno ed all'interno dell'area pozzo Eni denominata "Dosso Angeli Sud", ad una quota di 1 ms.l.m.


La strumentazione è costituita da (Figura 3B):

- assestometro profondo - quota bottom 336 m da p.c.
- assestometro superficiale – quota bottom 30 m da p.c.
- piezometro- quota cella 150.8 m da p.c.



**Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Smarlacca**



|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 41 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Le attrezzature installate sono costituite da una doppia verticale assestometrica, ovvero un assestometro profondo (asta di misura di lunghezza pari a 334.15 metri) e uno superficiale (asta di misura di lunghezza pari a 29,5 metri).

La loro messa in opera è stata fatta nel periodo 15 luglio 1997 - 20 ottobre 1997; il sistema è poi stato completato nel novembre 1997 e collaudato in data 8 aprile 1998 con la calibratura di tutti i sensori di misura (“misura di zero”).

All’interno del pozzetto assestometrico è stato installato anche un piezometro Casagrande con la cella porosa posta alla profondità di 150.80 m dal piano campagna (p.c.).


L’unità d’acquisizione dati è stata impostata con la frequenza di una misura ogni due ore.

In seguito, dal 17 aprile 1999, tale frequenza è stata ridotta a una misura ogni 6 ore. Nel periodo settembre 2003 – ottobre 2003 si sono persi dei dati per un guasto all’apparecchiatura di misura. A fine agosto del 2008 si è spurgato il piezometro che dopo l’intervento è stato ritenuto funzionante. Nell’ottobre del 2012, perdurando le registrazioni di valori anomali nei due tubi della cella Casagrande, si è fatto un nuovo intervento di pulizia al termine del quale lo strumento è stato giudicato non più in grado di fornire misure attendibili e, pertanto, non più funzionante.

Da inizio agosto 2017 e fino a inizio luglio 2018 l’acquisizione dati si è interrotta a causa di infiltrazioni nella copertura della struttura di ricovero delle apparecchiature di registrazione e raccolta dati, che sono state danneggiate. L’apparecchiatura è stata sostituita e la registrazione dei dati è ripresa il 10 luglio 2018.

Nel corso degli anni 2020 e 2021, a causa della situazione pandemica, dovuta all’infezione da virus COVID19, è stato possibile effettuare solo controlli ridotti della strumentazione.

Durante il 2022 si sono nuovamente eseguite le normali manutenzioni periodiche semestrali, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la taratura di tutti i sensori, nei mesi di luglio e novembre. Per tutto il 2022 la strumentazione assestometrica ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune, nelle serie dei dati registrati, tali da non permettere l’individuazione di una tendenza nel dato stesso.

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 42 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

## Analisi dei dati assestimetrici

L'assestometro più profondo misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 334.15 m (lunghezza asta di misura) e il piano di campagna (p.c.); quello più superficiale a sua volta, misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 29.5 m (lunghezza asta di misura) e il piano di campagna.

Nei grafici allegati i dati relativi all'assestometro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella dell'8 aprile 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestometro indicano una compattazione e, viceversa, quelli negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Nel periodo luglio - settembre 2003 (Figura 4B) si osserva nell'andamento del grafico dell'assestometro profondo un salto (corrispondente a una compattazione) di 2.7 mm in un intervallo di 72 giorni; tale evento compare, pur in misura minore, nel grafico dell'assestometro superficiale anche se per tale periodo mancano i dati registrati per un guasto al sistema d'acquisizione. Tale salto è confermato anche dalle misure effettuate con il comparatore meccanico durante i sopralluoghi per le manutenzioni ordinarie. Si tratta di un comportamento anomalo se rapportato con gli andamenti precedenti e successivi a detto periodo di osservazione.

Il grafico storico mostra, infatti, una compattazione a velocità più o meno costante in tutti i periodi dell'anno, tranne che nel luglio-settembre 2003 in cui il fenomeno ha avuto un'accelerazione. L'estate del 2003 è stata caratterizzata da temperature atmosferiche molto elevate e assenza di precipitazioni piovose, condizioni che potrebbero aver favorito una compattazione superficiale maggiore. Dopo questo periodo gli assestimetri sono tornati a registrare la solita tendenza a velocità costante. Le registrazioni di entrambi gli assestimetri (superficiale e profondo) mostrano la stessa tendenza di compattazione ed espansione del terreno con una correlazione molto elevata fra i rispettivi andamenti anche se, le velocità medie di compattazione (Figura 4B) sono risultate rispettivamente di circa 0.21 mm/a (foro superficiale) e circa 0.80 mm/a (foro profondo).

In particolare, per quanto riguarda la curva di compattazione registrata dall'assestometro profondo, si può osservare che, anche se la relativa velocità media, calcolata su tutta la serie temporale è di 0.8 mm/a, essa presenta un andamento più articolato nel tempo. Infatti, (Figura 5B), verso l'inizio del 2012 tale velocità di compattazione si riduce, portandosi a circa 0.5

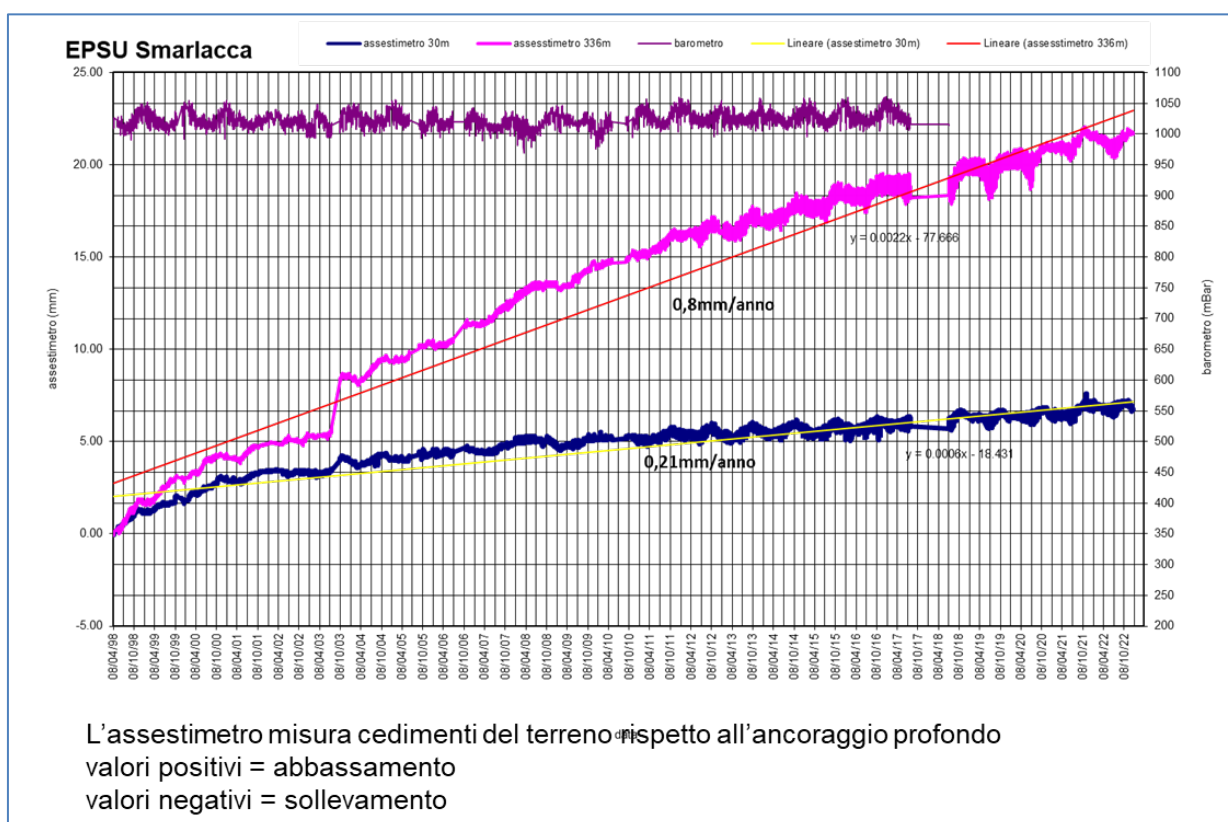
mm/a, forse per effetto di un minor emungimento delle falde più profonde.

Quest'ultima ipotesi è supportata dalla constatazione che la maggior parte della compattazione misurata si verifica in una porzione di terreno compresa tra la base dell'assestometro superficiale e la base di quello profondo, per uno spessore complessivo di circa 300 m.

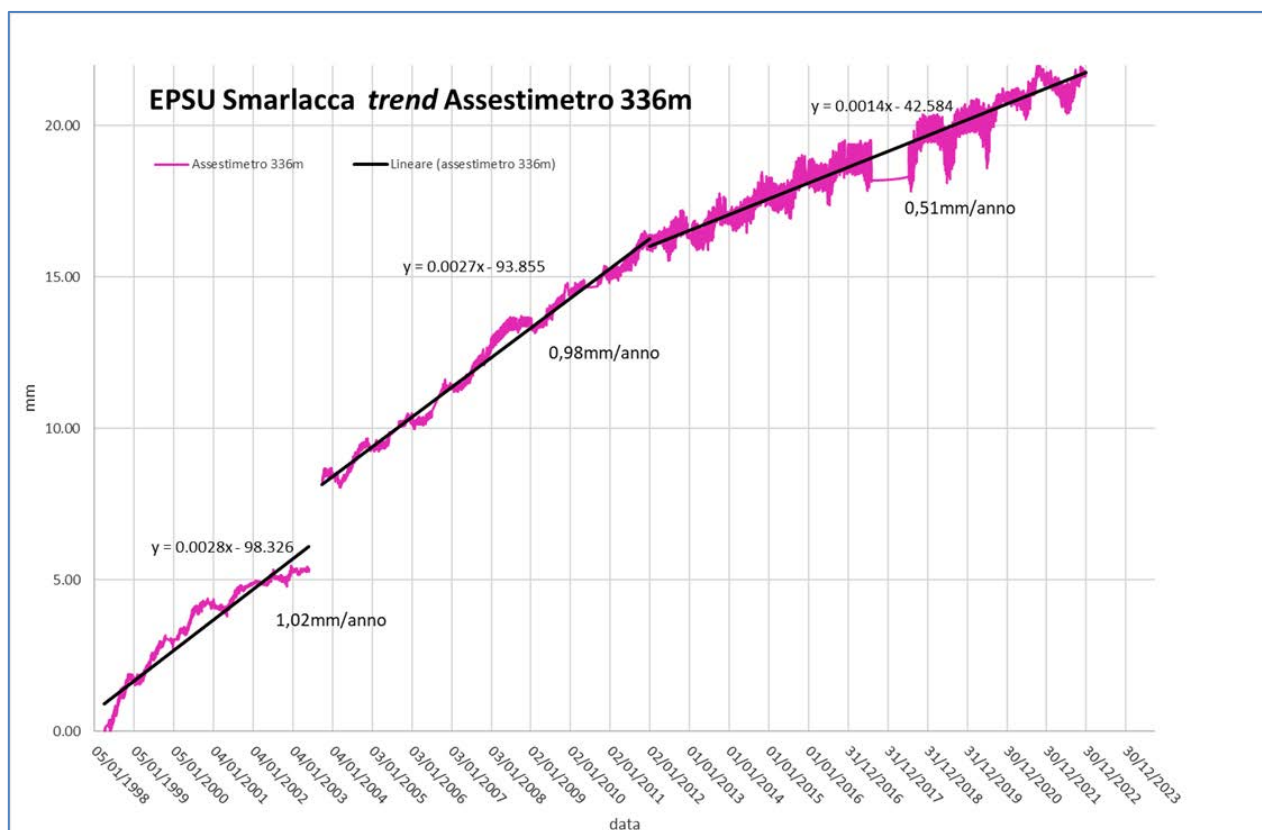
L'assestometro superficiale registra una compattazione minima, pari a poco meno di 7 mm totali (6.7mm) in oltre 24 anni (24.74) pari a circa 0,3mm/a (0,27mm/a).

### Analisi dei dati piezometrici

Degli interventi fatti sul piezometro e della sua affidabilità si è detto in precedenza. L'estrema variabilità, anche giornaliera, dei dati registrati dalla strumentazione piezometrica, ha fatto ritenere tale informazione non attendibile e pertanto di scarsa utilità. Si è pertanto scelto di non mostrare la traccia dell'andamento del dato piezometrico nei grafici di confronto con l'assestometro, sino al nuovo rifacimento della strumentazione.



**Figura 4B - Serie storica delle misure assestimetriche e barometriche nella stazione EPSU di Smarlacca**



**Figura 5B – Trend curva di compattazione dell’assestimetro profondo della stazione EPSU di Smarlacca**

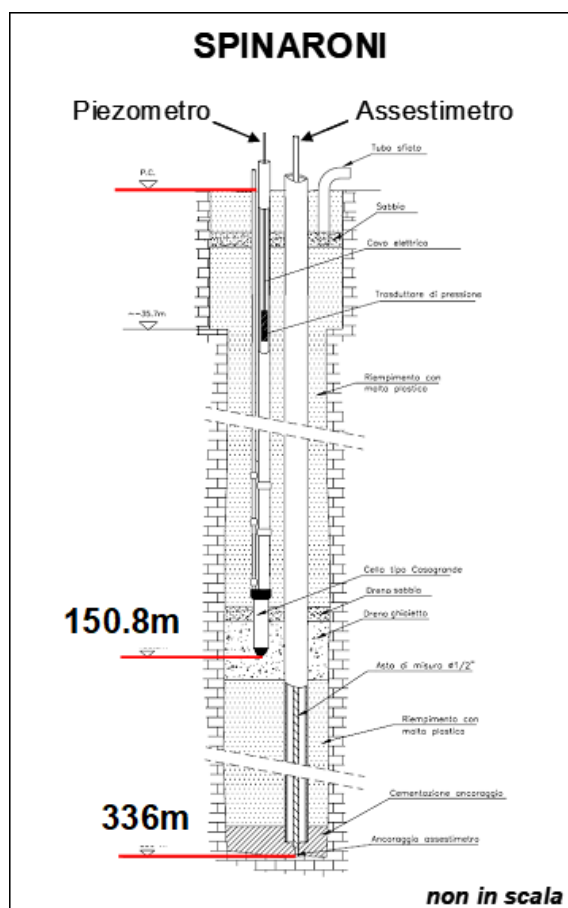
## Stazione *EPSU* di Spinaroni - (installata novembre 1997)

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 44°29'41.27"N e 12°16'01.27"E.

La stazione è ubicata in un'area, di proprietà del comune di Ravenna, adiacente all'impianto di depurazione HERA (ex AREA), a meno di un chilometro ad ovest dell'abitato di Porto Corsini e ad una quota di 1,5 ms.l.m..


La strumentazione è costituita da:

- assestimetro - quota bottom 336 m da p.c.
- piezometro a cella singola - quota cella 150.8 m da p.c.



**Figura 6B - Schema della stazione *EPSU* di Spinaroni**

Le attrezzature installate (Figura 6B) sono costituite principalmente da una verticale assestimetrica e da un piezometro, che sono stati messi in opera nel periodo 15 luglio 1997 - 20 settembre 1997. Il relativo sistema di misura è stato poi completato nel novembre 1997 e

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 46 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

collaudato in data 8 aprile 1998 con la calibratura di tutti i sensori (“misura di zero”).

L’unità d’acquisizione dati è stata impostata con una frequenza di registrazione di una misura ogni due ore. In seguito, dal 17 aprile 1999, tale frequenza è stata ridotta a una misura ogni 6 ore. Di questa stazione si sono persi alcuni mesi di dati (da settembre 2001 ad aprile 2002) a causa del furto del pannello solare installato per l’alimentazione del sistema. Il ripristino è stato fatto nel mese di aprile 2002. Nel periodo gennaio 2003 – marzo 2003 si è avuto un blackout per un guasto all’apparecchiatura d’acquisizione dati. Nell’agosto 2007 si è di nuovo verificato il furto del pannello solare con la conseguente perdita delle misure nel periodo 14 agosto - 5 ottobre 2007.

Dall’inizio di dicembre 2005 il sensore di pressione del piezometro ha iniziato a fornire valori anomali per cui si è deciso d’eseguire misure dirette del livello della falda. A tale scopo si è impiegato un freatometro con il quale si è accertato che la quota raggiunta dall’acqua all’interno del tubo piezometrico era pari a -5.22 m dal piano campagna (p.c.).


In data 31 gennaio 2006 è stato sostituito definitivamente il trasduttore di pressione nel tubo piezometrico, ponendolo alla profondità di 20 metri rispetto al piano campagna.

A fine agosto 2008 si è spurgato il piezometro e al 30 settembre è stata fatta una videoispezione. A seguito di tale controllo lo strumento è stato considerato non attendibile per una probabile rottura del tubo di diametro più piccolo ( $\varnothing \frac{1}{2}$ ). Gli interventi sul piezometro hanno causato la perdita di 14 giorni di misure assestometriche (dal 30 settembre al 14 ottobre 2008). Il giorno 14 ottobre si è ritarato il trasduttore di spostamento, posizionandolo a 1.8 mm rispetto alla misura del 30 settembre. Di questo riposizionamento si è tenuto conto nell’elaborazione dei dati.

A fine 2014 e nel periodo marzo - maggio 2015 si sono verificate diverse mancate registrazioni di dati per guasti dell’unità d’acquisizione, che è stata definitivamente sostituita nel maggio 2015. Si è, però, accertato che questa perdita di dati non ha avuto influenza sulla significatività della serie storica registrata.

Nel corso degli anni 2020 e 2021, a causa della situazione pandemica, dovuta all’infezione da virus COVID19, è stato possibile effettuare solo controlli ridotti della strumentazione.

Durante il 2022 si è potuti ritornare ad eseguire i normali controlli periodici semestrali, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la relativa taratura di tutti i sensori, nei mesi di luglio e novembre.

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 47 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Per tutto il 2022 la strumentazione assestimetrica ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune, nelle serie dei dati registrati, tali da non permettere l'individuazione di una tendenza nel dato stesso.

## **Analisi dei dati assestimetrici**

L'assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 336 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna.

Nei grafici allegati i dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella dell'8 aprile 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, quelli negativi un incremento dello spessore (espansione) degli strati di terreno monitorati.


In data 28 luglio 2004 è stata ripresa di 25 mm la corsa del trasduttore di spostamento, poiché il sensore era troppo vicino al fondo scala. Nell'elaborazione delle misure è stato tenuto conto di tale variazione aggiungendo un off-set della stessa entità alle misure.

Un analogo intervento è stato rifatto in data 14 ottobre 2008.

Nel grafico allegato (Figura 7B) è mostrato una tendenza di compattazione fino ad ottobre 2003, quando l'assestimetro ha registrato un repentino sollevamento del piano campagna rispetto al punto profondo (4 mm in 5 giorni). Successivamente è ripresa la compattazione del terreno, inizialmente con un trend più veloce rispetto al periodo precedente l'anomalia sopracitata. Dopo la metà del 2004 il trend di compattazione è tornato ad avere lo stesso andamento registrato nel periodo antecedente al mese di ottobre 2003. Non sono evidenti le ragioni di tale comportamento.

Per questa stazione si hanno a disposizione poco più di 25 anni di osservazioni (25.13 anni). Durante questo periodo si è registrata una compattazione totale di circa 50 mm (50.66mm - lettura strumento al 31/12/2022) corrispondente a una velocità di media annua di 2 mm (valore ottenuto con regressione lineare su tutta la serie temporale di registrazioni - Figura 7B). Anche in questo caso però, come per la stazione di Smarlacca, la curva dell'assestimetro mostra un andamento più articolato nel tempo di quanto sia semplicemente espresso dal sopracitato valore medio. Nella Figura 8B si può osservare infatti che, da inizio monitoraggio sino a circa "fine 2006 - inizio 2007", si passa da una velocità di compattazione di circa 4.2



|  |                                      |                                 |                   |
|--|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di GUENDALINA<br>novembre 2023 | Documento<br>GEODCS_REL2023_GUE | Page - 48 - of 62 |
|--|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

mm/a ad una riduzione notevole di tale valore, che passa prima a circa 1.4 mm/anno tra il 2007 e fine 2014, poi praticamente quasi a zero dal 2015 ad oggi. Infatti, il *trend* della compattazione superficiale misurato negli ultimi 6 anni è pressoché nullo (0.14 mm/anno).

La strumentazione reagisce solamente alle pulsazioni stagionali del terreno, mostrando espansioni durante i periodi autunno-invernali e contrazioni durante quelli estivo-primaverili.

La retta di regressione calcolata sui dati degli ultimi 6 anni è quasi orizzontale (Figura 8B).

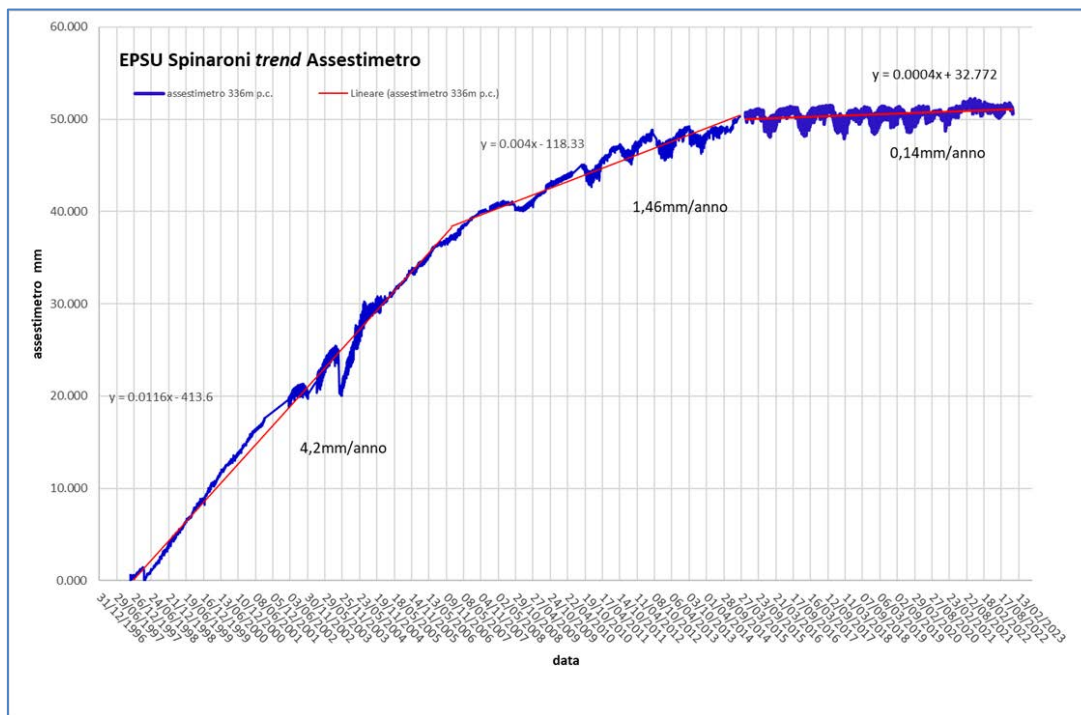
Analogamente al caso di Smarlacca, tale diminuzione potrebbe essere correlata ad un minor, o nullo, emungimento delle falde acquifere entro i primi 300m di profondità.

### **Analisi dei dati piezometrici**

Degli interventi fatti sul piezometro e della sua affidabilità si è detto in precedenza. L'estrema variabilità, anche giornaliera, dei dati registrati dalla strumentazione piezometrica, ha fatto ritenere tale informazione non attendibile e pertanto di scarsa utilità. Anche per questa stazione, analogamente a quella di Smarlacca, si è pertanto scelto di non mostrare la traccia dell'andamento del dato piezometrico nei grafici di confronto con l'assestometro, sino al nuovo rifacimento della strumentazione.



**Figura 7B - Serie storica delle misure assestimetriche nella stazione EPSU di Spinaroni**



**Figura 8B – Trend curva di compattazione dell'assestometro della stazione EPSU di Spinaroni**

## **Stazione *EPSU* di Fiumi Uniti (installata settembre 1994)**

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 44°23'50.09"N e 12°18'57.44"E.

La stazione è ubicata tra le località di Lido Adriano a nord e quella di Lido di Dante a sud, immediatamente a nord dell'argine sinistro della foce del fiume Fiumi Uniti a circa 60m dal mare Adriatico (linea di riva), all'interno dell'area pozzo Eni denominata "Angelina1", ad una quota di 0 m s.l.m..

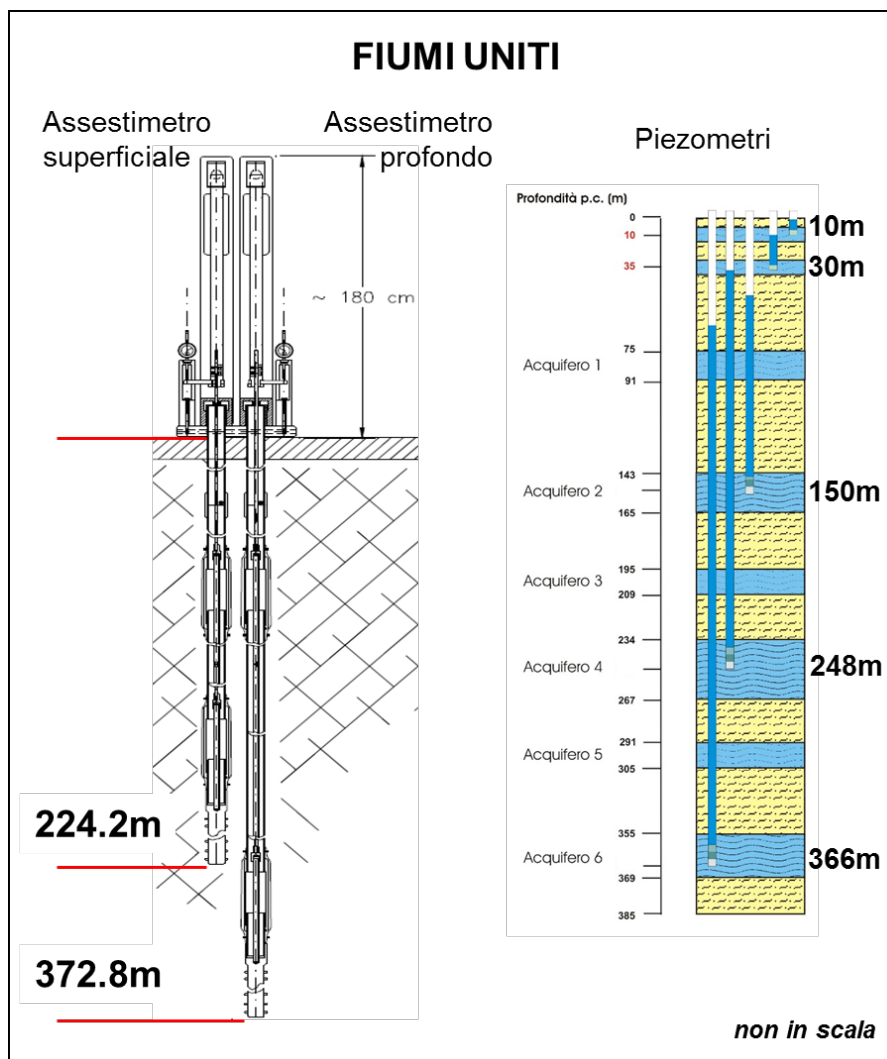
La strumentazione è costituita da:

- assestometro profondo - quota bottom 372.8 m da p.c.
- assestometro superficiale – quota bottom 224.2 m da p.c.
- Piezometro profondo a 360 m p.c. (disattivato da agosto/2011)
- Piezometro intermedio a 243 m p.c. (disattivato da agosto/2011)
- Piezometro superficiale a 148 m p.c. (disattivato da agosto/2011)

I piezometri, sopra elencati, sono stati sostituiti nel 2011 con la nuova strumentazione descritta nella tabella seguente, sono stati rimpiazzati i piezometri originali e ne sono stati aggiunti 2 superficiali a 10 e 30 m da piano campagna.


| <b>Sigla</b> | <b>Profondità fondo foro (da p.c.)</b> | <b>Tipo Piezometro</b> | <b>Tratto Filtrante</b>                                      |
|--------------|--|------------------------|--|
| PS-1         | 10.50                                  | Tubo aperto            | da 6.40 a 9.50 m da p.c.                                     |
| PS-2         | 30.50                                  | Tubo aperto            | da 25.40 a 29.50 m da p.c.                                   |
| PP-1         | 373.50                                 | Tubo aperto            | da 361.00 a 365.00 m da p.c.<br>da 366.50 a 372.50 m da p.c. |
| PP-2         | 257.00                                 | Tubo aperto            | da 241.00 a 245.00 m da p.c.<br>da 250.00 a 256.00 m da p.c. |
| PP-3         | 163.00                                 | Tubo aperto            | da 141.10 a 153.20 m da p.c.<br>da 156.00 a 162.00 m da p.c. |

Le principali caratteristiche della strumentazione attuale sono illustrate in Figura 9B.



**Figura 9B - Schema della stazione EPSU di Fiumi Uniti. Le profondità dei piezometri sono riferite alla quota centrale del tratto filtrante**

L'unità d'acquisizione dati è stata impostata con una frequenza di registrazione di una misura ogni due ore. In seguito, dal 17 aprile 1999, tale frequenza è stata ridotta a una misura ogni 6 ore. Nel luglio 2003 si è avuto il furto dei pannelli solari installati per l'alimentazione del sistema di misura, con conseguente perdita di 2 mesi di registrazioni (7 agosto 2003 - 2 ottobre 2003). Nel giugno 2004 è stata sostituita integralmente la baracca di protezione del sistema; in tale occasione è stato fatto l'allacciamento alla rete elettrica, eliminando, così, il ricorso ai pannelli solari. Nel marzo 2008 sono stati spurgati i 3 piezometri. L'operazione ha consentito d'accertare che il piezometro superficiale e quello intermedio non erano di fatto funzionanti, poiché in comunicazione idraulica tra di loro e con i filtri intasati.


|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 52 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Molto dubbio era anche il funzionamento del piezometro profondo.

Nel periodo 9 agosto 2010 - 8 settembre 2010 si sono perse le misure per un guasto alle apparecchiature. Analogo problema si è verificato nell'ottobre 2010. A seguito dei lavori di ripristino dei pozzi piezometrici, a partire da metà luglio 2011, sono stati definitivamente sigillati i tre vecchi tubi piezometrici (dati in Figura 10B). Nel dicembre 2011 sono entrati in funzione i cinque nuovi pozzi piezometrici descritti nella precedente tabella, tre in sostituzione dei precedenti piezometri e due nuovi.

Da circa fine giugno 2012 sino a fine febbraio 2013 il trasduttore di pressione del piezometro superficiale a 30 m non ha funzionato correttamente registrando valori non attendibili; detto sensore è stato poi correttamente riscaldato dopo il ripristino dell'alimentazione elettrica a ottobre 2013. Si segnala la mancanza di dati di questa stazione dal 28 febbraio 2013 al 17 ottobre 2013 per un guasto alle apparecchiature di alimentazione elettrica del sistema d'acquisizione. Fino a fine luglio 2017 la registrazione dei dati è stata poi regolare. Ad agosto del 2017 si è verificato un nuovo guasto elettrico alle apparecchiature d'acquisizione, per cui sino a dicembre 2017 si sono fatte letture manuali della strumentazione piezometrica ed assestometrica anche se con frequenza ridotta. A dicembre 2017 si sono spurgati/lavati tutti e 5 i piezometri della stazione. A tale scopo si è fatta circolare acqua a pressione e portata costanti attraverso una linea di spurgo dal basso verso l'alto, per favorire il deflusso dei sedimenti depositatisi sia nel tratto cieco che in colonna attraverso le microfessurazioni dei filtri e nei boccafori. Dopo il lavaggio di ogni singolo piezometro, sono state fatte prove di dissipazione d'energia dell'acqua immessa per la verifica del funzionamento dei tratti filtranti, seguite da prove di emungimento della falda. Tutti i piezometri sottoposti a manutenzione sono risultati integri e perfettamente funzionanti. L'avaria alle apparecchiature di acquisizione è perdurata anche nei primi tre mesi del 2018, dal mese di aprile l'acquisizione dei dati è stata, invece regolare. Nel novembre 2019 sono stati sostituiti i trasduttori di pressione dei piezometri PP3 e PS1. Nel periodo giugno 2019 – dicembre 2019 si sono verificati dei "buchi" nelle acquisizioni relative ai piezometri PP1, PP3 e PS1 dovuti a malfunzionamento della sensoristica. Nel 2020 e 2021 la registrazione dei dati è stata generalmente continua e regolare, ma a causa della situazione pandemica, dovuta all'infezione da virus COVID19, è stato possibile effettuare solo controlli ridotti della strumentazione.

Verso la fine del 2021 nelle giornate 26-27-28 ottobre è stata effettuata una attività di lavaggio

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 53 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

e spurgo dei 5 piezometri del sito, con un controllo generale della strumentazione.

Dopo il lavaggio di ogni singolo piezometro sono state eseguite le prove di dissipazione dell'acqua immessa (carico idraulico) nei piezometri, durante l'attività di spurgo e lavaggio. Con queste prove si è potuto verificare il corretto funzionamento dei tratti filtranti, attraverso una serie di misure manuali (con freatimetro, durante la fase di deflusso dell'acqua), rilevando il tempo necessario al ristabilirsi del livello di falda, misurato prima e dopo l'attività di pulizia dei piezometri. Si segnala che, a causa di un intervento tecnico al pozzo piezometrico a 163m (PP3), si ha una mancanza di dato tra la fine di giugno e fine ottobre 2021; la situazione di normale acquisizione è stata ristabilita alla fine di ottobre, in occasione dell'intervento per la pulizia dei piezometri.

Durante il 2022 sono state eseguite le normali manutenzioni periodiche semestrali, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la relativa taratura di tutti i sensori, nei mesi di luglio e novembre. Per tutto il 2022 la strumentazione assestimetrica ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune, nelle serie dei dati registrati, tali da non permettere l'individuazione di una tendenza nel dato stesso.


### **Analisi dei dati assestimetrici**

L'assestimetro più profondo misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 372.85 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna (p.c.); quello più superficiale a sua volta misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 224.2 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna (Figura 9B).

Nei grafici allegati (Figura 11B e Figura 12B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici sia quelli assestimetrici. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella dell'8 aprile 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, quelli negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

L'assenza delle misure nel periodo compreso fra settembre 1997 e aprile 1998 è da collegare al fatto che inizialmente non era ancora in funzione il sistema di teletrasmissione dei dati. Le misure sono state fatte con continuità a partire dall'8 aprile 1998.

In data 17/10/2006 è stata ripresa la corsa dei trasduttori di spostamento, precisamente di


|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 54 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

16.3 mm per l'assestometro profondo e di 14.4 mm per quello più superficiale. Nell'elaborazione dei dati si è tenuto in conto di queste variazioni, così da non rappresentare il "salto" nelle misure per effetto di un cambiamento di fondo scala e non di una reale variazione assestometrica.

Per tutti circa i 28 anni (28.28 anni dal 27/09/94) di misure fatte, le due curve assestometriche (Figura 13B) mostrano andamenti molto simili, con minimi scostamenti tra loro e con una tendenza costante di compattazione del terreno. Ciò sembrerebbe indicare una compattazione prevalentemente più superficiale, che interessa grosso modo i primi 220 m di terreno. La velocità di compattazione media è poco meno di 2 mm/anno per entrambi gli assestometri (1.82mm/anno per il più profondo e 1.77mm/anno per l'altro) e per tutto l'intervallo di tempo considerato. I valori che si ottengono con le regressioni lineari sulle due serie intere di dati sono coerenti con i precedenti valori: 1,75mm/a per l'assestometro a 372m e 1,71mm/anno per quello a 224m (Fig. 13B). Da rilevare, rispetto agli anni precedenti una minima diminuzione della velocità media di compattazione per entrambi gli assestometri. Anche in questo caso, come per gli assestometri di Smarlacca e Spinaroni, la curva del dato dello strumento (è riportato solo l'assestometro a 372m), mostra un andamento più articolato nel tempo di quanto sia semplicemente espresso dal sopracitato valore medio della regressione lineare. Nella figura 14B si possono osservare infatti tre cambi, abbastanza chiari, della velocità di compattazione, che diminuisce progressivamente da 3.2mm/anno, di un primo tratto iniziale che arriva circa alla fine del '98, a 1.9mm/anno tra la fine del 98 ed inizio 2014, per poi passare a 1.16mm/anno del periodo attuale.

In Figura 15B è rappresentato l'andamento della strumentazione EPSU nell'ultimo anno (2022); quello che si può notare è che gli assestometri hanno una escursione bassissima e con delle sinusoidi stagionali che hanno un comportamento anomalo rispetto alle usuali pulsazioni del terreno (solitamente espansioni in inverno-primavera e compattazioni in estate-autunno). Infatti, come già evidenziato anche negli anni passati, si osserva un picco di compattazione intorno ad aprile, una successiva espansione intorno luglio-agosto e poi una successiva compattazione che ha il massimo verso la fine dell'anno (novembre). C'è da dire che comunque l'ampiezza di tali escursioni è bassissima (meno di 1mm) per una compattazione totale nell'anno (non recuperata) di circa 1mm. Per quanto riguarda le falde monitorate possiamo dire che il piezometro profondo (PP1) a 360 m di profondità, che dalla sua installazione



|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 55 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

è risultato sempre in pressione, nell'ultimo anno si è mantenuto sempre costantemente intorno a 5 m sopra il p.c. non mostrando quasi nessuna fluttuazione stagionale e nessuna influenza da parte della piovosità locale o di variazioni stagionali (periodi piovosi e secchi), segno che la sua ricarica idrostatica avviene molto lontano dal punto di monitoraggio. Un andamento costante è più o meno visibile anche per l'altro piezometro profondo a 257 metri.

L'ultimo piezometro profondo, a 163 metri da p.c., mostra invece nella seconda metà dell'anno una leggera variazione stagionale, tale fluttuazione sembra essere concorde con l'andamento degli assestimetri mostrando diminuzioni della quota piezometrica in corrispondenza delle compattazioni, anche se tale variazione si verifica in periodi "meteorologicamente" anomali dell'anno (diminuzione del livello piezometrico in autunno). L'andamento di tutte le curve piezometriche profonde (ad eccezione del piezometro a 163m nella seconda metà dell'anno), porta perciò ad ipotizzare che la loro dinamica non influenzi l'andamento degli assestimetri e non sembra pertanto essere responsabile della compattazione della porzione di terreno indagata e misurata da tali strumenti.

Anche i due piezometri superficiali (a 10 e 30 metri da p.c.) nell'ultimo anno, hanno mostrato un andamento abbastanza costante con debolissime fluttuazioni del livello piezometrico. Tali variazioni del livello di falda hanno mostrato una bassissima coerenza con l'andamento degli assestimetri, la correlazione con l'andamento della compattazione aumenta debolmente verso la fine dell'anno (Figura 15B).

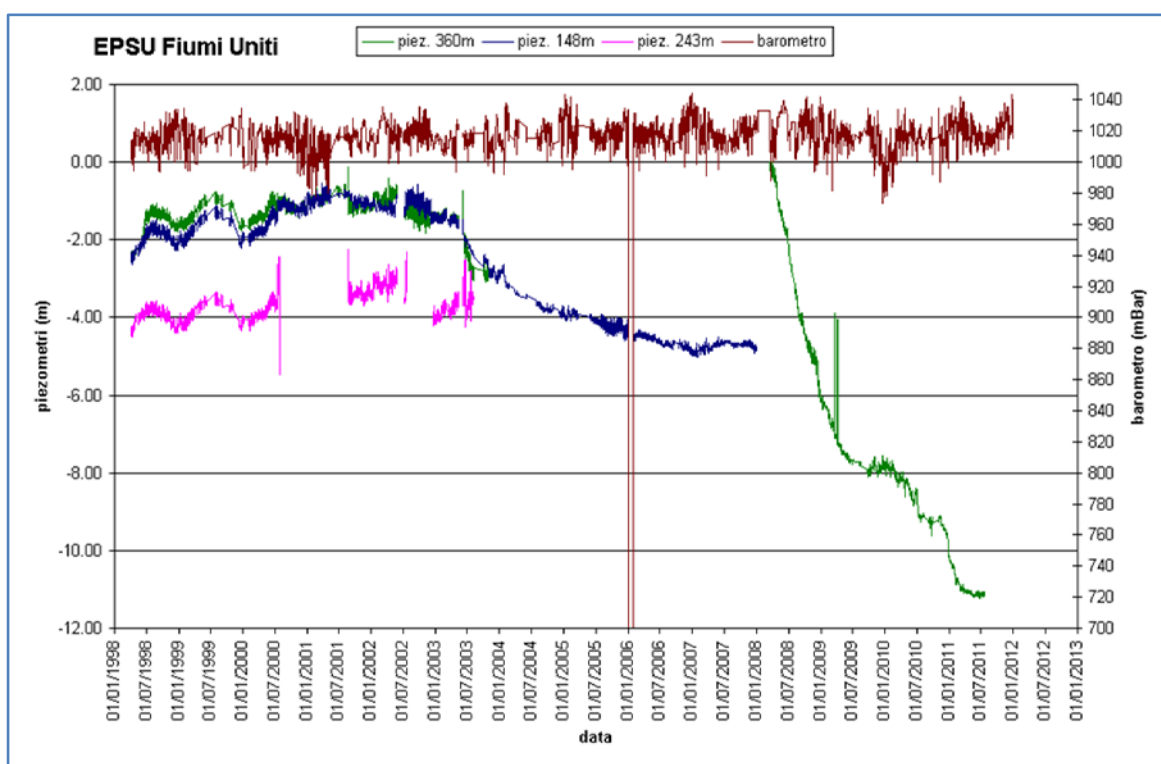
## **Analisi dei dati piezometrici**

Come spiegato in precedenza, nella stazione sono stati posti inizialmente in opera tre piezometri verticali che, però, nel corso del tempo si sono guastati. Per un lungo periodo di tempo, le misure piezometriche utilizzate sono state solo quelle relative al piezometro più profondo, ritenuto più attendibile.

In Figura 10B è illustrato l'andamento delle curve piezometriche sino al 2011.

Da metà luglio 2011 tutti i vecchi tubi piezometrici sono stati poi definitivamente sigillati e dal 22 dicembre 2011 ad oggi si sono resi disponibili i dati dei nuovi tubi piezometrici (Figura 11B e Figura 15B). A dicembre 2017 tutti e 5 i piezometri della stazione sono stati sottoposti ad una manutenzione straordinaria consistita in spurgo e lavaggio degli stessi. Tutti i piezometri

sottoposti a manutenzione hanno risposto in modo positivo durante l'attività di spurgo/lavaggio, risultando integri e perfettamente funzionanti. Una nuova campagna di pulizia e verifica di funzionamento di tutti e cinque i piezometri è stata effettuata alla fine di ottobre 2021. Da segnalare che, dalla sua installazione, il piezometro profondo (PP1 a 360 m di profondità) è risultato sempre in pressione, con una altezza della falda al di sopra del piano campagna, variabile tra 0.5 e 5 m.



**Figura 10B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: misure della vecchia strumentazione piezometrica attiva sino al 2011**

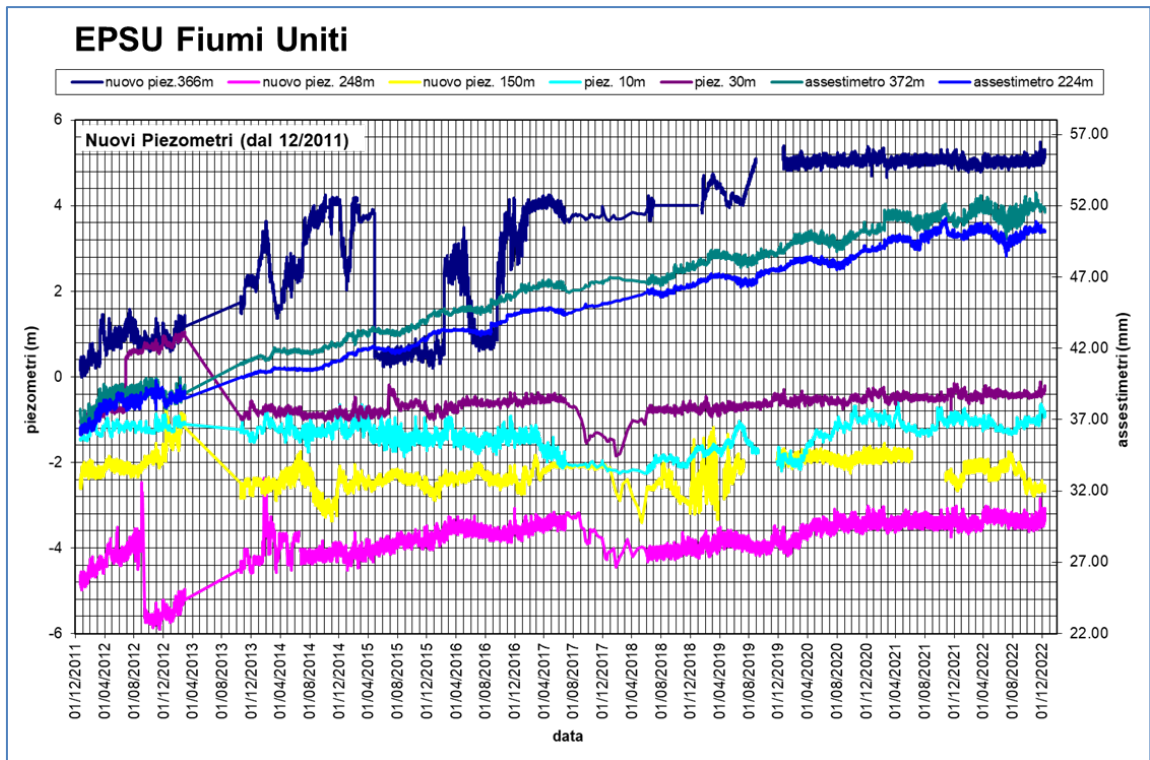


Figura 11B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: misure piezometriche-assestimetriche dal 2011 al 2021

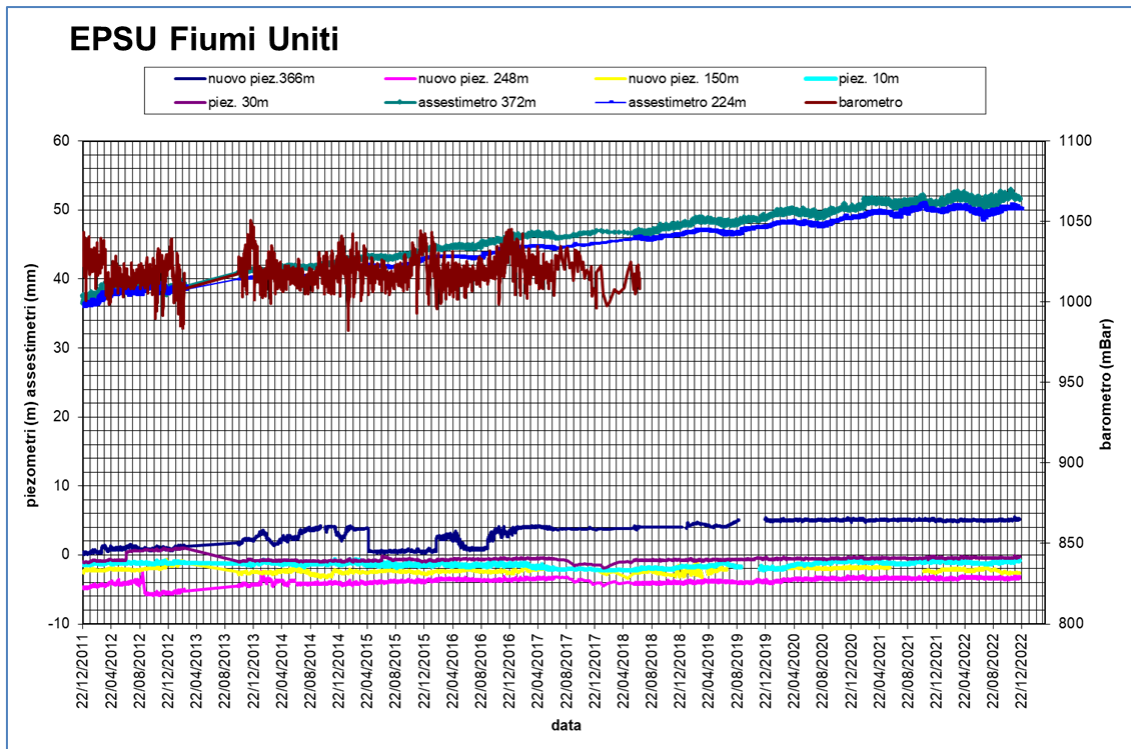


Figura 12B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: misure piezometriche assestimetriche e barometriche dal 2011 al 2021

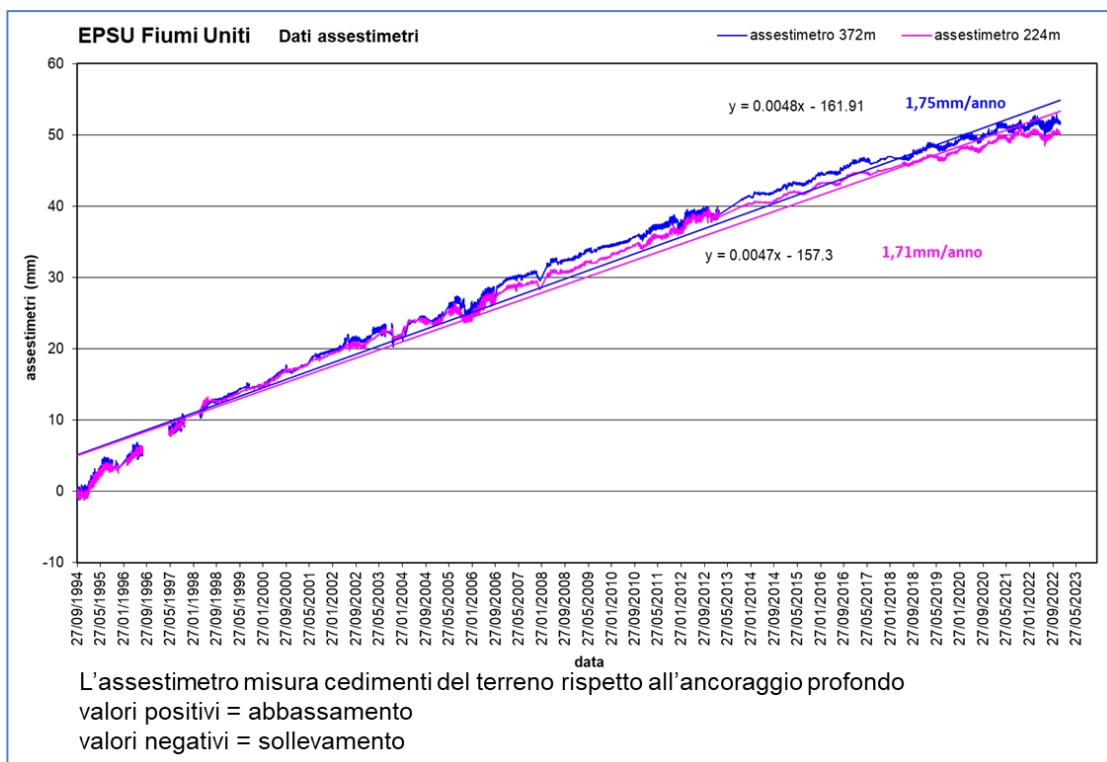


Figura 13B - Curva di compattazione degli assestimetri della stazione EPSU di Fiumi Uniti

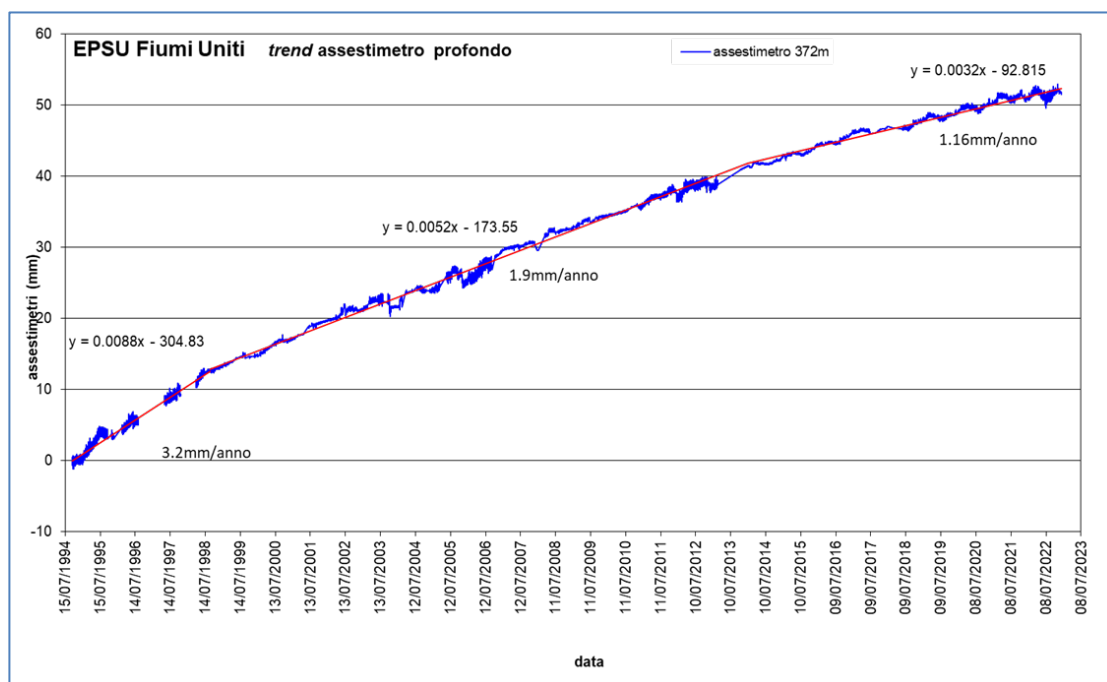
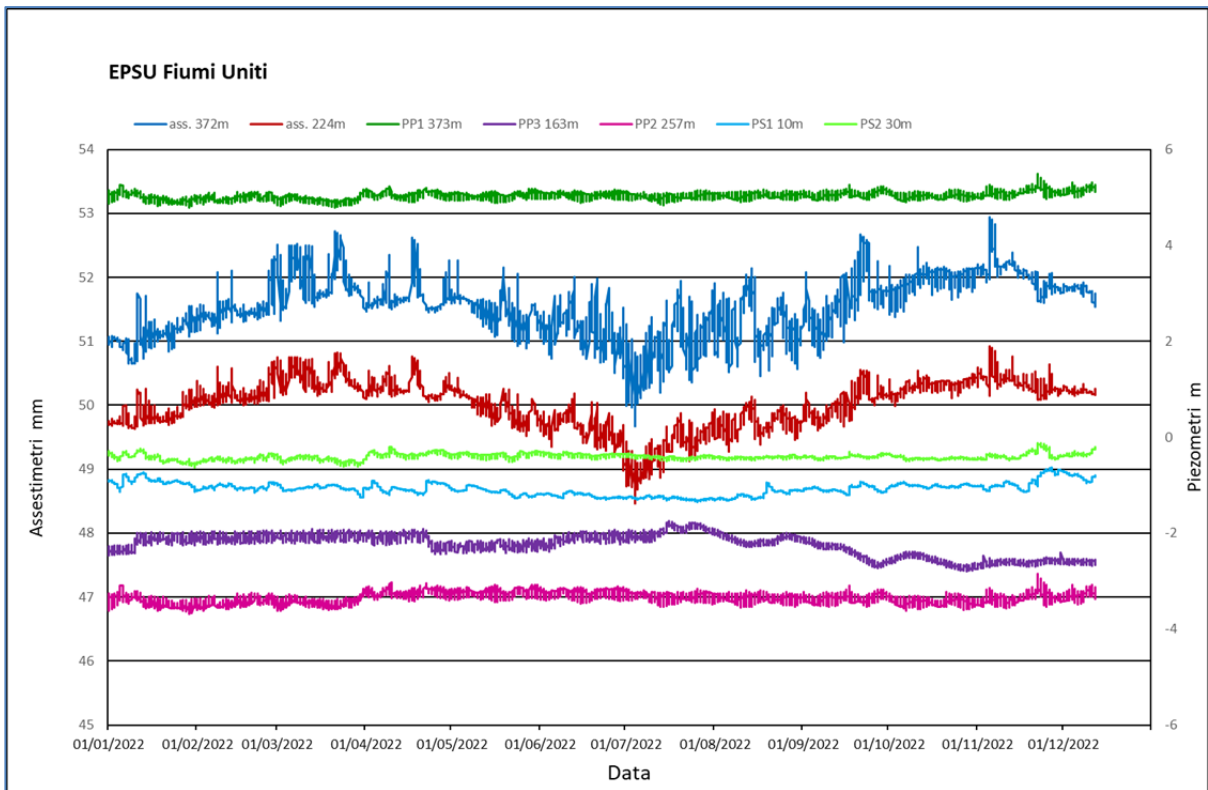



Figura 14B - Trend curva di compattazione dell'assestimetro della stazione EPSU di F. Uniti  
Valori positivi = abbassamento; Valori negativi = sollevamento



**Figura 15B - Stazione EPSU di Fiumi Uniti - ultimo anno di dati**

|  |                                      |                                 |                   |
|--|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di GUENDALINA<br>novembre 2023 | Documento<br>GEODCS_REL2023_GUE | Page - 60 - of 62 |
|--|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

## Conclusioni


In generale, i grafici allegati mostrano come per tutte e tre le stazioni *EPSU* si siano ottenuti dati di buona qualità, pur tenendo conto delle difficoltà operative incontrate in fase d'acquisizione. La lunghezza delle serie storiche registrate, la sensibilità e la qualità dei sensori utilizzati, infatti, sono tali da consentire di valutare con buona precisione l'abbassamento del piano campagna rispetto al punto di ancoraggio degli strumenti (compattazione superficiale). Anche se le misure assestimetriche risentono delle escursioni - giornaliere e stagionali - di temperatura, tale fenomeno si attenua e praticamente scompare per lunghi periodi di osservazione quali quelli disponibili per le 3 *EPSU* considerate. Nell'arco degli anni di osservazione non si nota alcun effetto della variazione stagionale della temperatura. Una considerazione generale valida per le tre stazioni considerate è che la compactazione dei terreni superficiali sembra assumere un andamento costante nel tempo con una chiara tendenza all'attenuazione (o a zero nel caso di Spinaroni). Negli ultimi 5 anni, infatti, si sono registrati valori in leggera diminuzione della velocità media di compactazione per tutti gli assestimetri, sino ad arrivare ai valori del 31/12/2022, riportati nella tabella riassuntiva più avanti.

### Smarlacca

Per la stazione di Smarlacca il periodo di osservazione è di oltre 23 anni (23.74), durante i quali l'assestimetro più profondo ha registrato una compactazione media regolare anche se meno marcata rispetto a quanto misurato nelle stazioni di Spinaroni e di Fiumi Uniti.

L'andamento delle misure è stato, infatti, più o meno costante nel tempo, tranne che per l'abbassamento registrato nel periodo luglio-settembre 2003. La compactazione totale è stata pari a 21.65 mm (Figura 4B) per una velocità media di abbassamento di circa 0.87 mm/a (velocità da regressione lineare 0.80 mm/a). Una analoga tendenza nelle misure si rileva anche per l'assestimetro più superficiale, che, però, ha registrato una compactazione totale nettamente più ridotta: 6.77 mm complessivi, corrispondenti a circa 0.27 mm/a (velocità da regressione lineare 0.21 mm/a). L'andamento della velocità di compactazione dell'assestimetro profondo mostra un andamento più modulato da quanto si potrebbe evincere dalla sola regressione lineare su tutta la serie. Si evidenziano, infatti, due trend di velocità distinti (Figura 5B): uno iniziale di circa 1 mm/anno sino alla fine del 2011 ed uno con un valore di velocità di circa 0.5



|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di GUENDALINA<br/>novembre 2023</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2023_GUE</p> | <p>Page - 61 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

mm/anno negli ultimi 10 anni. I dati piezometrici non sono da considerarsi attendibili.

### **Spinaroni**

Per la stazione di Spinaroni si hanno a disposizione più di 25 anni (25.13) di osservazioni durante i quali si è registrata una compattazione di 50.6 mm (Figura 7B) per una velocità media di compattazione di 2 mm/anno (2.0 mm/a anche con regressione lineare), con un andamento, dopo il primo periodo di assestamento, piuttosto regolare, tranne che per la brusca variazione (sollevamento del piano campagna) dell'ottobre 2003 di cui si è detto in precedenza. Anche in questo caso però, come per la stazione di Smarlacca, la curva dell'assestometro mostra tre andamenti di velocità di compattazione (Figura 8B). Il primo, fino alla fine del 2007, di circa 4.2 mm/anno; il secondo, a partire approssimativamente dal 2008 fino al 2014, caratterizzato da una velocità di 1.4 mm/a e l'ultimo, dal 2015 ad oggi con velocità di compattazione pressoché nulla (0.1mm/a). I dati piezometrici non sono da considerarsi attendibili.

### **Fiumi Uniti**

Per la stazione Fiumi Uniti si hanno a disposizione dati fin dal settembre 1994; è, quindi, possibile seguire l'evolversi della compattazione per un arco di tempo più lungo (28.28 anni) che non nelle due stazioni precedenti. Il valore attuale - dicembre 2022 – della compattazione totale misurata in tutti questi anni dall'assestometro più profondo è di 51 mm (Figura 13B), mentre per quello superficiale detto valore è di 50 mm. Ciò significa che, assumendo un trend di compattazione del terreno costante nell'arco di circa 28 anni d'osservazione, entrambi gli strumenti hanno registrato velocità media di compattazione simile dell'ordine di poco meno di 2 mm/anno (rispettivamente 1.8 e 1.7mm/a). La compattazione però è per la maggior parte localizzata nella porzione di terreno indagata dallo strumento più superficiale (0-220 m circa). Anche in questa stazione la curva dell'assestometro mostra una variazione della velocità di compattazione nel tempo ed il suo andamento è meglio rappresentato da 3 spezzate (Figura 14B) anziché da una regressione lineare su tutta la serie. La prima spezzata, da inizio registrazione sino a verso la fine del 1998, corrispondente ad una velocità di circa 3.2 mm/anno, la seconda, per il periodo fine '98 inizio 2014, equivalente ad una velocità di 1.9 mm/anno e l'ultima corrispondente a 1.16 mm/anno che arriva al periodo attuale.

Le curve restituite dalla strumentazione assestimetrica non mostrano una buona correlazione con i dati dei piezometri. Tutte le falde profonde monitorate (PP1 a 373m, PP2 a 257m e PP3

a 163m) non sembrano essere responsabili delle varie fasi di compattazione ed espansione del terreno registrate dagli assestimetri, anche le falde idriche monitorate dai due piezometri superficiali (a 10m e 30m), nell'ultimo anno hanno mostrato un andamento abbastanza costante, con bassissime fluttuazioni.

Nella tabella che segue sono riportati i dati complessivi delle compattazioni nelle tre stazioni, unitamente ai valori medi annuali delle relative velocità. La compattazione degli assestimetri è stata calcolata considerando il valore restituito dal sensore alla data del 31/12/2022 che è stato poi diviso per gli anni di monitoraggio e non con una regressione sulla curva degli spostamenti. Quest'ultima modalità (regressione lineare), come già visto in precedenza, potrebbe restituire valori molto simili ma non perfettamente uguali.

| Sito               | Anni di osservazione | Assestometro profondo        |                 | Assestometro superficiale    |                 |
|--------------------|----------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
|                    |                      | Spostamento complessivo (mm) | Velocità (mm/a) | Spostamento complessivo (mm) | Velocità (mm/a) |
| <b>Smarlacca</b>   | 24.74                | 21.65                        | 0.87            | 6.77                         | 0.27            |
| <b>Spinaroni</b>   | 25.13                | 50.66                        | 2.0             | n.i.                         | -               |
| <b>Fiumi Uniti</b> | 28.28                | 51.68                        | 1.82            | 50.23                        | 1.77            |

n.i. = non installato