

| | | | | |
|--|---------|------------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  | Eni spa | Campo di ANNALISA novembre 2023 | Documento GEODCS_REL2023_ALS | Page - 1 - of 56 |
|--|---------|------------------------------------|---------------------------------|------------------|

Campo di ANNALISA

Aggiornamento al 31/12/2022



| | | | |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 2 - of 56</p> |
|---|--|---|-------------------------|

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 | Impatto emergenza COVID-19 sulle attività operative nel campo | - 6 - |
| 6 | Modellistica previsionale di subsidenza | - 6 - |
| 7 | Monitoraggi altimetrici onshore e offshore | - 8 - |
| 7.1 | Livellazione..... | - 8 - |
| 7.2 | CGPS (Continuous GPS) | - 11 - |
| 8 | Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio CGPS | - 14 - |
| 9 | SAR (cfr. Appendice A)..... | - 14 - |
| 10 | SSU / EPSU (cfr. Appendice B)..... | - 15 - |
| 11 | Conclusioni | - 15 - |
| 12 | Appendice A: Analisi dei dati satellitari (2012-2022) lungo la fascia costiera compresa tra Porto Tolle (RO) e Ortona (PE)..... | - 26 - |
| 13 | Appendice B: Monitoraggio della compattazione superficiale (agg. 2022) lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona e antistante i giacimenti di Annamaria, Naide, Anemone, Annalisa, Regina, Barbara NW, Fauzia, Clara Nord, Calpurnia, Calipso, Clara Est-Clara NW, Elettra, Bonaccia-Bonaccia NW. | - 32 - |

| | | | |
|--|------------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni spa | Campo di ANNALISA novembre 2023 | Documento GEODCS_REL2023_ALS | Page - 3 - of 56 |
|--|------------------------------------|---------------------------------|------------------|

1 Introduzione

Il campo di Annalisa è situato nell'offshore Adriatico circa 34 km a NE di Pesaro (Figura 1) a una profondità d'acqua di circa 55 m, nella concessione A.C32.AG.

| CONCESSIONE | SCADENZA | OPERATORE | TITOLARI | QUOTA | REGIONE |
|-------------|----------|-----------|----------|-------|---------|
| A.C32.AG | 30/11/24 | Eni | Eni | 100% | Marche |

2 Assetto geologico - minerario

Il giacimento è costituito da una blanda anticlinale con asse in direzione NW-SE e si estende per una superficie di circa 4.2 km².

La serie mineralizzata è compresa tra i 2300 e 3400 m slm e interessa 52 livelli della serie PL3 della Formazione P.to Garibaldi (Figura 2).

3 Iter autorizzativo e sviluppo del giacimento

Il campo è stato scoperto nel 1984 con il pozzo Annalisa 1; in seguito nel 1985 è stato perforato il pozzo di *appraisal* Annalisa 2 per meglio definire l'assetto della struttura. Nel novembre 1997 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente la realizzazione della piattaforma Annalisa e la posa del relativo *sea-line* di collegamento. Nel documento SIA si riportava un profilo di produzione, ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello *Eclipse*) del marzo 1997 che stimava riserve a vita intera pari a 1659 MSm³ producibili in 8 anni con un picco di produzione giornaliera di 1000 kSm³/g.

La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello geomeccanico del tipo Geertsma cilindrico, è stata stimata in 3.2 cm (in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 10 anni dall'inizio produzione; alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) è risultato estendersi per circa 1.6 km verso la costa. In seguito al Decreto VIA n° 3547 del 07/01/99 che approvava il programma lavori presentato, nel periodo maggio-dicembre 1999 si è sviluppato il campo perforando tre nuovi pozzi (Annalisa 3, Annalisa 4 e Annalisa 5) da una piattaforma di tipo BEAF.

La produzione di gas è iniziata nel marzo del 2000 con una portata di circa 900 kSm³/g che, però, è rapidamente declinata mentre i pozzi di sviluppo hanno sostanzialmente confermato le dimensioni della struttura e la loro produttività è stata notevolmente inferiore a

| | | | |
|--|------------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni spa | Campo di ANNALISA novembre 2023 | Documento GEODCS_REL2023_ALS | Page - 4 - of 56 |
|--|------------------------------------|---------------------------------|------------------|

quanto atteso. Nei primi 4 anni d'erogazione, infatti, si è avuto un arrivo prematuro e inizialmente non previsto dell'acqua di formazione ai pozzi; tale comportamento produttivo ha, pertanto, reso necessaria una revisione degli studi statico e dinamico del campo.

Con tale revisione (aprile 2005) non solo si è aggiornato il valore del GOIP che è risultato in diminuzione (*GOIP studio statico del marzo 1998 pari a 3091 MSm³, GOIP revisione studio statico dell'aprile 2005 pari a 2440 MSm³*), ma, soprattutto, si è potuto meglio calibrare il meccanismo di produzione, evidenziando una spinta dell'acquifero con conseguente sostegno della pressione nei singoli livelli messi in produzione. Ciò ha comportato una riduzione pari a circa il 46% delle riserve producibili a vita intera dal campo. Il nuovo profilo di produzione ha previsto, infatti, il recupero in 15 anni di 890 MSm³ con una graduale chiusura dei pozzi dovuta all'alta percentuale di acqua prodotta.

Nel maggio 2008 si sono di nuovo aggiornati i modelli statico e dinamico del campo di Annalisa (*Studio di giacimento - Nota Tecnica "Proposta pozzi di infilling" del maggio 2008 - rel. Eni-INPE n° 52-08*) allo scopo d'ottimizzarne la coltivazione e valutarne le residue potenzialità minerarie. Il nuovo valore del GOIP è stato di 2637 MSm³, con un incremento di circa il 10% rispetto alla stima dell'aprile 2005. Le riserve producibili in 21 anni sono a loro volta aumentate di circa 84% rispetto alla valutazione precedente, risultando pari a 1636 MSm³. Tale aumento è riconducibile sia ad una rivalutazione delle riserve associate ai completamenti esistenti, sia al progetto di porre in produzione livelli mineralizzati non ancora sviluppati. Tale progetto è stato realizzato nel 2009 con la perforazione del nuovo pozzo Annalisa 6dir e l'esecuzione di due *side-track* dai pozzi Annalisa 3dir e Annalisa 5dir. Nel maggio 2014 si sono rivisti gli studi statico e dinamico sia del campo di Annalisa, sia di quello di Annabella (*"Campi di Annalisa e Annabella - Studio di giacimento - rel. GISE n°13-14 - ottobre 2014"*). I due campi sono stati studiati congiuntamente al fine di tener conto di eventuali fenomeni d'interferenza idraulica e meccanica fra gli stessi.

Nei nuovi modelli di giacimento di Annabella e di Annalisa si è tenuto conto dei dati storici di produzione sino ad aprile 2014, onde valutare ancora le residue potenzialità minerarie di detti campi e, inoltre, individuare interventi mirati ad aumentarne il fattore di recupero finale.

| | | | |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 5 - of 56</p> |
|---|--|---|-------------------------|

In base ai risultati di questa revisione è stato perforato un *side-track* (Annalisa 4dirA) sul pozzo Annalisa 4dir, che ha dato risultati superiori alle attese quanto a performance produttiva.

Nel corso del 2015, infatti, tale *side-track* ha inizialmente erogato 280 KSm³/g di gas contro i 160 KSm³/g previsti da modello *Eclipse*.

Il nuovo valore del GOIP per il campo di Annalisa è stato valutato in 3966 MSm³, con un incremento di circa il 50% rispetto alla precedente stima del maggio 2008. Sempre per il campo di Annalisa, le riserve a vita intera sono a loro volta aumentate di circa 23%, risultando pari a un volume di 2012 MSm³ di gas producibile al 2023.

In seguito all'aggiornamento del modello dinamico di giacimento del 2018 sono emerse ulteriori potenzialità di sviluppo del campo che si sono concretizzate successivamente nel corso del 2021 con la perforazione di Annalisa 4dirB, sidetrack del pozzo Annalisa 4dirA non più produttivo dal 2017. Il pozzo è entrato in produzione nel settembre 2021 con portata di picco di circa 270 KSm³/g di gas.

4 Ultimi aggiornamenti modellistici e storia produttiva

Nel novembre 2018 si è nuovamente aggiornato il modello dinamico del campo di Annalisa - Annabella (*"Campi di Annalisa e Annabella – Aggiornamento modello dinamico 2016 – Scheda riassuntiva - rel. REIT/EORG n°RDR IPET – E5149F94-0 - novembre 2018"*). Anche in questo caso i due campi sono stati studiati congiuntamente al fine di tener conto di eventuali fenomeni d'interferenza idraulica e meccanica fra gli stessi. Scopo del nuovo aggiornamento è stato quello di aggiornare il modello con i nuovi dati produttivi e di presione fino a febbraio 2018, di valutare il potenziale produttivo residuo e di fornire un modello di giacimento aggiornato da utilizzare per l'aggiornamento del modello geomeccanico FEM del 2018. Al fine di considerare la produzione del side-track Annalisa 4 dirB e nel campo di Annabella, dei sidetrack, Annabella 6dirA e Annabella 9dirB, è stato aggiornato nel 2022 lo studio di giacimento del 2018 che ha rivisto le riserve del campo a 2211 MSm³ nel 2029 (rel. *Campi Annabella e Annalisa - Agg. studio giacimento per studio geomeccanico-Doc. N° REVAL-69EEE8CA-0_dicembre 2022*). Nella Figura 3 è riportato l'andamento storico della portata di gas (KSm³/g), d'acqua (m³/g). Nella Figura 4, Figura 5 e

| | | | |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 6 - of 56</p> |
|---|--|---|-------------------------|

Figura 6 è riportato, invece, il confronto tra la produzione reale (annuale e cumulativa) e quella prevista dal modello Eclipse dicembre 2022.

Al 31/12/2022 la produzione cumulativa del campo è di 2059 MSm³, pari al 93% delle riserve producibili. In Figura 7 sono riportati per il campo di Annalisa sia i profili di pressione statica di giacimento calcolati con il modello *Eclipse* aggiornato al 2022 sia le pressioni statiche misurate nei livelli più rappresentativi (PL3-B10+B11, PL3-G+H, PL3-D4a+D4b, PL3-D4a+D4b+D5a+D5b). Tale confronto mostra come, in generale, i valori calcolati dal modello siano in buon accordo con i dati misurati.

5 Impatto emergenza COVID-19 sulle attività operative nel campo

Nel corso del 2020 l'emergenza sanitaria COVID-19 ha determinato pesanti ripercussioni sulle attività operative che sono state necessariamente ridotte e limitate a seguito delle opportune misure precauzionali adottate. Si è così determinata l'impossibilità di acquisizione, per il 2020, delle misure di pressione in pozzo, così come comunicato via PEC con nota Eni prot. n.529 del 26.06.2020, poichè tali operazioni avrebbero comportato movimentazione di mezzi navali a tempo pieno, attrezzature per lavori in off-shore e personale contrattista dedicato, incompatibili con la fase emergenziale e con le disposizioni in vigore in termini di salute e sicurezza.

6 Modellistica previsionale di subsidenza

Per quanto riguarda la modellistica previsionale di subsidenza già nel marzo 2009 era stata rivista la previsione iniziale di subsidenza, seguendo l'approccio modellistico e le metodologie di lavoro descritte nel Provvedimento direttoriale del Ministero dello Sviluppo Economico del 20/03/08. Per tale nuova previsione, si erano considerati i possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra il campo di Annalisa e il campo di Annabella data la loro vicinanza (7 km circa). La descrizione tecnica dello studio e i risultati ottenuti sono riportati in dettaglio nella "*rel. Eni-TERA n° 02-09 del marzo 2009*".

Nell'ottobre 2014 il modello previsionale di subsidenza per i campi di Annalisa-Annabella è stato nuovamente aggiornato (*rel. Eni-TERA n° 07-2014 del dicembre 2014*), a seguito della revisione degli studi statico e dinamico di giacimento considerando i possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra i due campi.

Un ulteriore aggiornamento del modello previsionale di subsidenza è stato finalizzato, infine, nel dicembre 2018 e successivamente nel 2022 conseguentemente all'aggiornamento del modello dinamico di giacimento dei campi di Annalisa e Annabella. La descrizione tecnica dello studio e i risultati ottenuti sono riportati in dettaglio nella "rel. Campi di Annabella e Annalisa-Modello Elasto-Plastico di Subsidenza-Management Summary_REVAL-90730AEB-0 del dicembre 2022".

Una sintesi dei risultati ottenuti è presentata nella seguente Tabella 1.

Tabella 1 - Risultati finali: massima subsidenza ed estensione del fenomeno (aggiornamento modello 2022).

| 30-set-2022 | | 1-gen-2034 | | 1-gen-2064 | |
|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|
| Max sub (cm) | Max estensione (km) | Max sub (cm) | Max estensione (km) | Max sub (cm) | Max estensione (km) |
| 10 | 13 | 11 | 14 | 11 | 14 |

In particolare, la successiva Tabella 2 riporta la subsidenza calcolata in corrispondenza delle piattaforme di Annalisa e Annabella ad alcune date significative:

| Data | Subsidenza (cm) | |
|------------|-----------------|----------|
| | Annabella | Annalisa |
| 30/09/2022 | 10 | 7 |
| 01/01/2034 | 11 | 8 |
| 01/01/2064 | 10 | 8 |

Tabella 2 – Risultati del modello geomeccanico in corrispondenza delle p.me di Annalisa e Annabella.

L'analisi dei risultati consente di osservare che il valore massimo di subsidenza pari a 11 cm è previsto che venga raggiunto a fine produzione (01/01/2034) e che alla stessa data la massima estensione della linea di iso-subsidenza dei 2 cm risulti pari a circa 14 Km, costante fino a fine simulazione (01/01/2064). Il fenomeno subsidenziale si esaurisce a circa 27 Km dalla linea di costa (Figura 8 e Figura 9).

| | | | |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 8 - of 56</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.

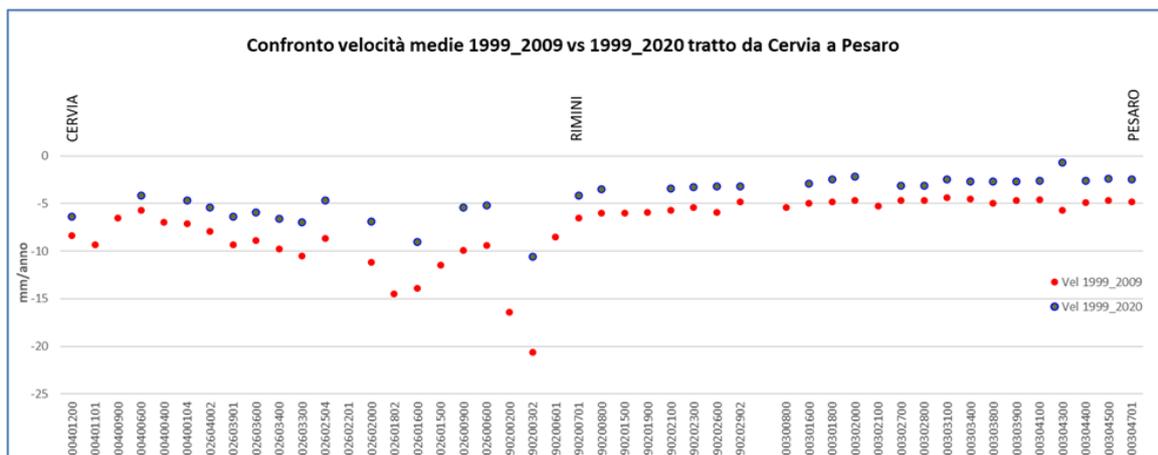
Per ovviare a tale situazione, determinata da fattori ambientali (grandi distanze), su suggerimento dell’ente certificatore è stata predisposta sperimentalmente una rete di 6 stazioni permanenti CGPS nel tratto della Dorsale Adriatica (Treviso, Pomposa, Smarlacca,

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 Cervia a Pesaro sono disponibili, includendo la campagna del 2020, 14 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e a partire dal 2011, con cadenza triennale.

La campagna del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un'origine diversa rispetto a tutte le altre. 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 2 mm/anno.

Figura A – Tratto Cervia-Pesaro: 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 Anemone, Annalisa, Annamaria, Naide e Regina.



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.

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 10 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

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 descritta.

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 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.

¹ 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 ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 11 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

7.2 CGPS (Continuous GPS)

Le attività di monitoraggio sono state progressivamente potenziate mettendo in opera un numero crescente di stazioni CGPS sulle piattaforme offshore operate da Eni. Dal 2007, infatti, ne sono state installate 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). Le stazioni CGPS di Naide e PCC sono, invece, operative dal luglio 2005, mentre la postazione Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002. 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).

Il sistema di monitoraggio è stato poi ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 nuove stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit) equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli *radar* solidalmente connessi tra loro tramite un basamento di cemento armato. Le 3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007 (Appendice B); negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche tre pozzi assestometrici per il monitoraggio della compattazione superficiale del terreno. Tali stazioni si sono aggiunte a quelle preesistenti, installate più a Nord lungo la costa ravennate, nelle località di Fiumi Uniti, di Smaracca e di Spinaroni.

Inoltre, come detto in precedenza, sono state monumentate altre 4 stazioni CGPS in Ortona, Pineto, Grottammare e P.to Sant'Elpidio, il cui completamento è avvenuto nel dicembre 2009, tutte equipaggiate con 2 bersagli radar e con un caposaldo di livellazione.

Allo stato attuale la stazione di Ortona non è, però, più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area. Nel novembre 2016, è stata 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 installate due 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 Annalisa e nel tratto di costa antistante il giacimento (CGPS di Rubicone a nord e Fano a sud) elaborati con il *software* scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS, sono certificati fino al 2021 e in fase di certificazione per gli anni successivi. Si segnala che la serie storica di misure CGPS presenta un'interruzione a dicembre 2014 a causa di lavori di work-over in piattaforma e di un guasto della strumentazione di misura, che non hanno permesso l'acquisizione di dati nel 2015 e nella prima parte del 2016. Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2022 (Figura 10), sono stati utilizzati in questa relazione i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato nella seguente Tabella 3.

Tabella 3 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2021

| Stazione | Dati Non Certificati | | | Dati Certificati | | | Delta (Non Cert. - Cert.) | | |
|----------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-------------|-------------|
| | Vel.- N mm/a | Vel.- E mm/a | Vel.- H mm/a | Vel.- N mm/a | Vel.- E mm/a | Vel.- H mm/a | D-N mm/a | D-E mm/a | D-H mm/a |
| Annalisa | 18.08 | 21.45 | -3.08 | 18.11 | 21.34 | -3.26 | -0.03 | 0.11 | 0.18 |

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 tali 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

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 13 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

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.

In generale:

- dataset < 12 mesi: 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 il campo di Annalisa, 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 totale² pari a -2.75 mm/a (Figura 10), sostanzialmente senza variazioni significative rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-3.08 mm/a al 2021).

Utilizzando un software realizzato dall'Università di Roma La Sapienza (software FEED 2.0 – Fast Elbow Effect Detector), creato per migliorare le analisi dei dati delle serie storiche GNSS per rilevare variazioni di velocità, nell'ambito della serie storica dei dati CGPS disponibile è, inoltre, possibile individuare (modello empirico), alcune variazioni di velocità correlabili con la storia produttiva del campo (Figura 11, Figura 12).

In particolare:

² La "subsidenza totale" 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 ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 14 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

- la velocità media di subsidenza totale è di circa -5.42 mm/a nel periodo ottobre 2007 (installazione del CGPS) - settembre 2014;
- la velocità media di subsidenza totale è di circa -0.66 mm/a nel periodo settembre 2014 - dicembre 2022.

Si segnala altresì 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 Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio CGPS

I dati acquisiti dalla stazione CGPS, installata sulla p.ma di Annalisa, aggiornati al 31/12/2022, sono stati confrontati (senza che questi ultimi siano stati depurati della componente di subsidenza naturale²) con i valori di subsidenza previsti dall'ultimo aggiornamento del modello geomeccanico del dicembre 2022.

Come si vede in Figura 13 lo scenario simulato dal modello riproduce con un buon grado di approssimazione l'andamento misurato dal CGPS sulla piattaforma di Annalisa.

In particolare, il modello risulta sovrastimare, leggermente, i dati misurati dal CGPS negli ultimi anni, indicando, tuttavia, il carattere conservativo delle previsioni e confermando l'attendibilità delle stesse.

9 SAR (cfr. Appendice A)

Il monitoraggio altimetrico del tratto di costa viene integrato con un'analisi della serie storica dei dati InSAR. In Figura 14 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 14), 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 -0.25 ± 1.10 mm/a. Il campo ricade nella maschera Fano-Ancona, per cui non è stato necessario calibrare il dato InSAR con il dato CGPS (vedi Appendice A).

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 15 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

10 SSU / EPSU (cfr. Appendice B)

Il sistema di monitoraggio è stato poi ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi di Regina, Anemone, Naide, Annalisa, Annamaria, Barbara NW, Fauzia, Clara Est-Clara NW, Calipso, Calpurnia, Clara Nord, Elettra, Bonaccia-Bonaccia NW di 3 nuove stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit) equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli radar solidalmente connessi tra loro tramite una platea di cemento armato. Le 3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007; negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche tre pozzi assestimetrico-piezometrici per il monitoraggio della compattazione superficiale del terreno. Tali stazioni (EPSU) si sono aggiunte a quelle pre-esistenti, installate più a Nord lungo la costa ravennate, nelle località di Fiumi Uniti, di Smarlacca e di Spinaroni.

11 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 Annalisa 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 15 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 16 è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.



Figura 1 – Ubicazione del campo di Annalisa

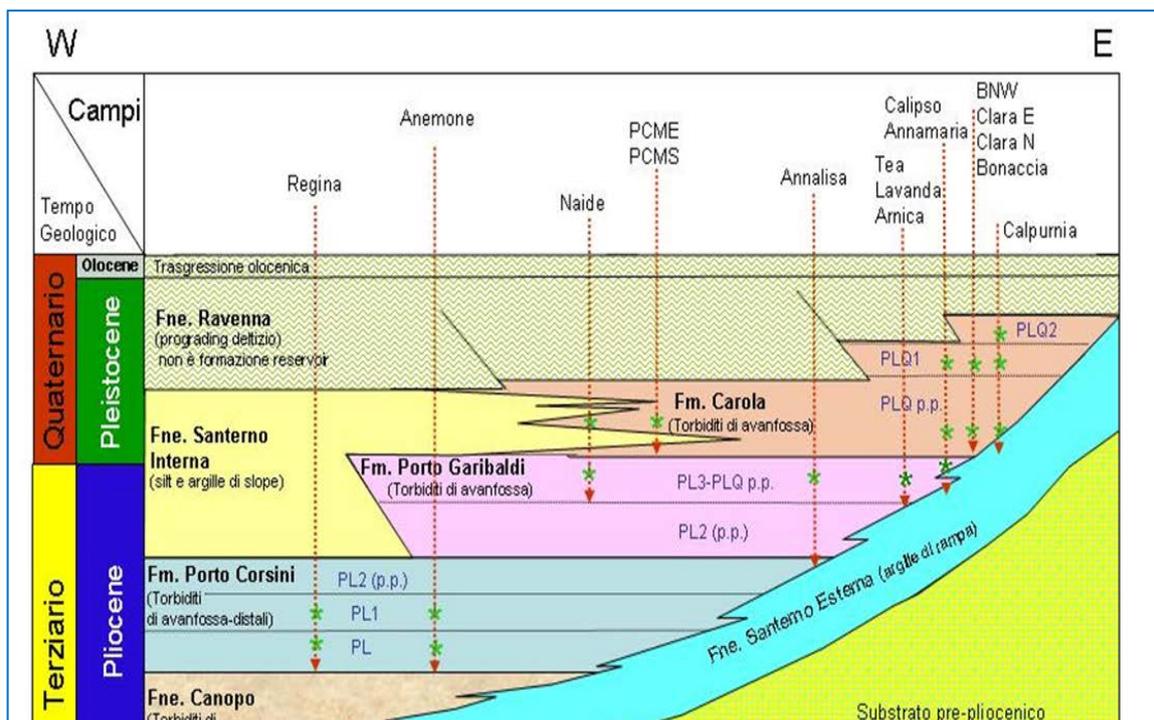


Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici

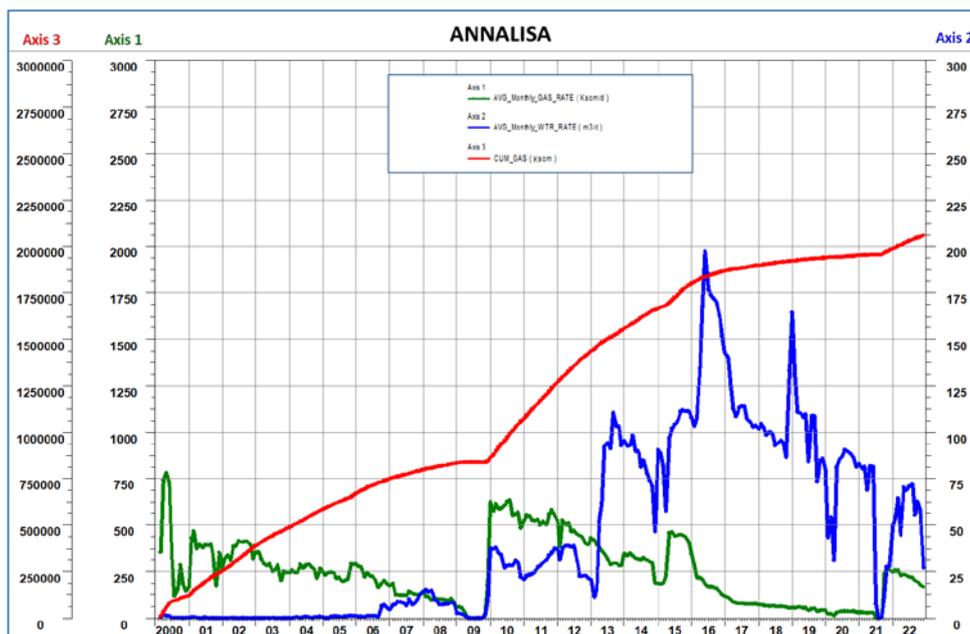


Figura 3 – Campo di Annalisa: produzione storica

| CAMPO DI ANNALISA | | | | | |
|-------------------|--|--------------------|---|--------------------|--|
| ANNO | Produzione annuale (MSm ³) | | Produzione cumulativa (MSm ³) | | Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE |
| | Reale | Modello 3D ECLIPSE | Reale | Modello 3D ECLIPSE | |
| 2000 | 116 | 116 | 116 | 116 | 5% |
| 2001 | 128 | 128 | 245 | 245 | 11% |
| 2002 | 133 | 133 | 378 | 378 | 17% |
| 2003 | 103 | 103 | 481 | 481 | 22% |
| 2004 | 96 | 96 | 576 | 576 | 26% |
| 2005 | 86 | 86 | 663 | 663 | 30% |
| 2006 | 82 | 82 | 744 | 744 | 34% |
| 2007 | 50 | 50 | 794 | 794 | 36% |
| 2008 | 39 | 39 | 833 | 833 | 38% |
| 2009 | 12 | 12 | 845 | 845 | 38% |
| 2010 | 214 | 214 | 1058 | 1058 | 48% |
| 2011 | 195 | 195 | 1254 | 1254 | 57% |
| 2012 | 168 | 168 | 1422 | 1422 | 64% |
| 2013 | 124 | 125 | 1546 | 1547 | 70% |
| 2014 | 114 | 111 | 1660 | 1658 | 75% |
| 2015 | 132 | 132 | 1792 | 1790 | 81% |
| 2016 | 73 | 74 | 1865 | 1864 | 84% |
| 2017 | 32 | 32 | 1897 | 1896 | 86% |
| 2018 | 24 | 24 | 1920 | 1919 | 87% |
| 2019 | 18 | 18 | 1939 | 1937 | 88% |
| 2020 | 12 | 12 | 1950 | 1949 | 88% |
| 2021 | 29 | 29 | 1979 | 1978 | 90% |
| 2022 | 80 | 80 | 2059 | 2058 | 93% |
| 2023 | | 58 | | 2116 | |
| 2024 | | 45 | | 2161 | |
| 2025 | | 25 | | 2187 | |
| 2026 | | 12 | | 2199 | |
| 2027 | | 7 | | 2206 | |
| 2028 | | 4 | | 2210 | |
| 2029 | | 1 | | 2211 | |

Figura 4 - Campo di Annalisa: produzioni reali e da modello *Eclipse* dic.2022

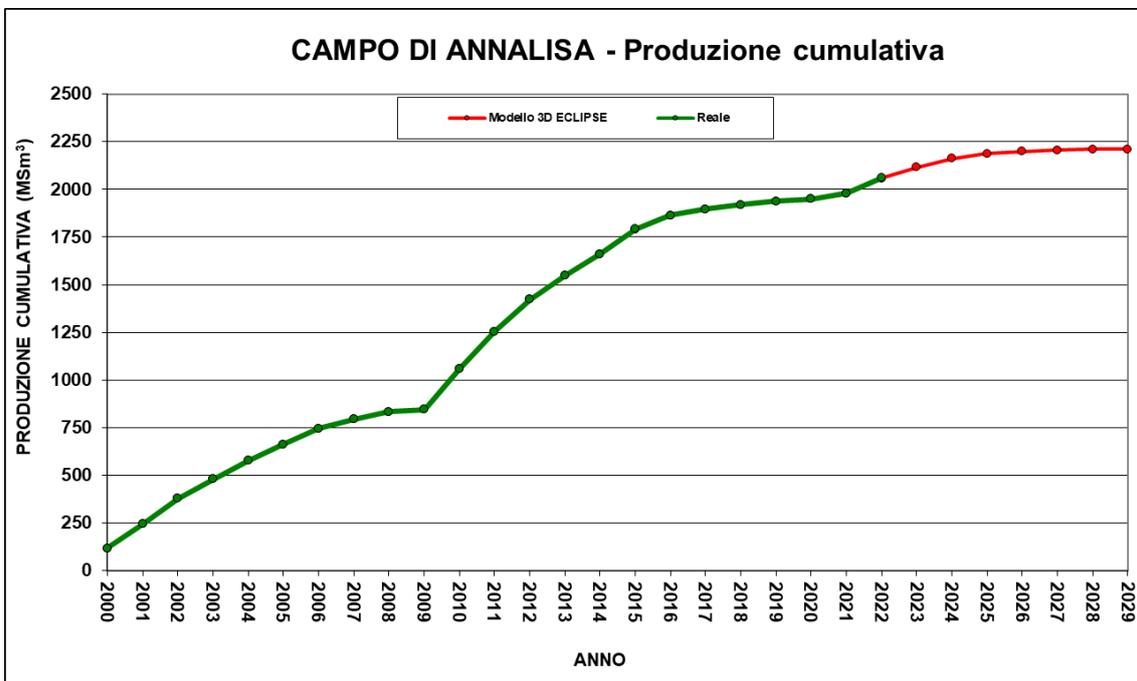


Figura 5 - Campo di Annalisa: grafico di produzione reale e da modello *Eclipse* dic.2022

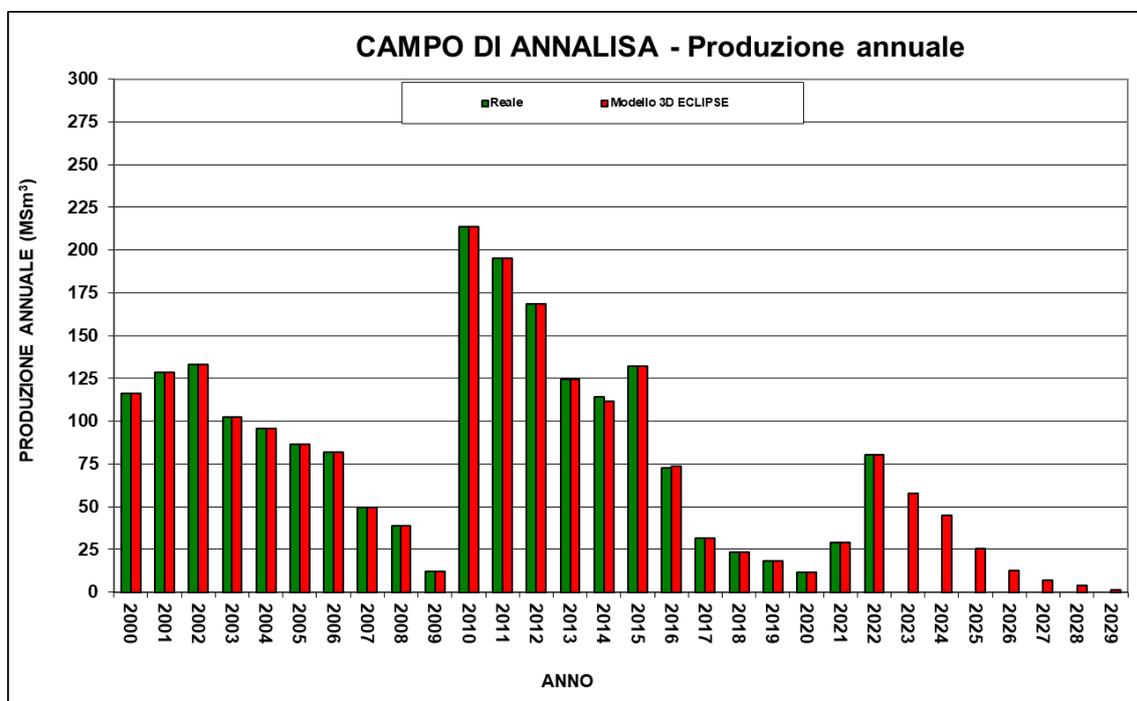


Figura 6 - Campo di Annalisa: produzione (annuale) reale e da modello *Eclipse* dic.2022



| CAMPO DI ANNALISA | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|--------------|-------------------|---------------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|---------------------|--------------|-------------------|-----------------------------|--------------|-------------------|
| Data | Livelli PL3-B10+B12 | | | Livelli PL3-B10+B11 | | | Livelli PL3-G1+H1 | | | Livelli PL3-D4a+D4b | | | Livelli PL3-D4a+D4b+D5a+D5b | | |
| | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string |
| 20/07/2003 | 223 | | 4 C | 220 | | 5 C | | | | 253 | | 3 L | | | |
| 23/10/2006 | 199 | | 4 C | 192 | | 5 C | | | | 214 | | 3 L | | | |
| 22/09/2010 | | | | | | | 285 | | 6 L | | | | | | |
| 24/10/2012 | | | | | | | 265 | | 6 L | | | | | | |
| 21/11/2014 | | | | | | | | | | | | | 231 | | 3 L |
| 17/10/2015 | | | | | | | | | | | | | 190 | | 3 L |
| 29/09/2016 | | | | | | | | | | | | | 152 | | 3 L |
| 02/10/2017 | | | | | | | | | | | | | 139 | | 3 L |
| 15/11/2018 | | | | | | | | | | | | | 142 | | 3 L |
| 26/12/2019 | | | | | | | | | | | | | 227 | | 3 L |
| 06/06/2022 | | | | | | | | | | | | | 263 | | 3 L |

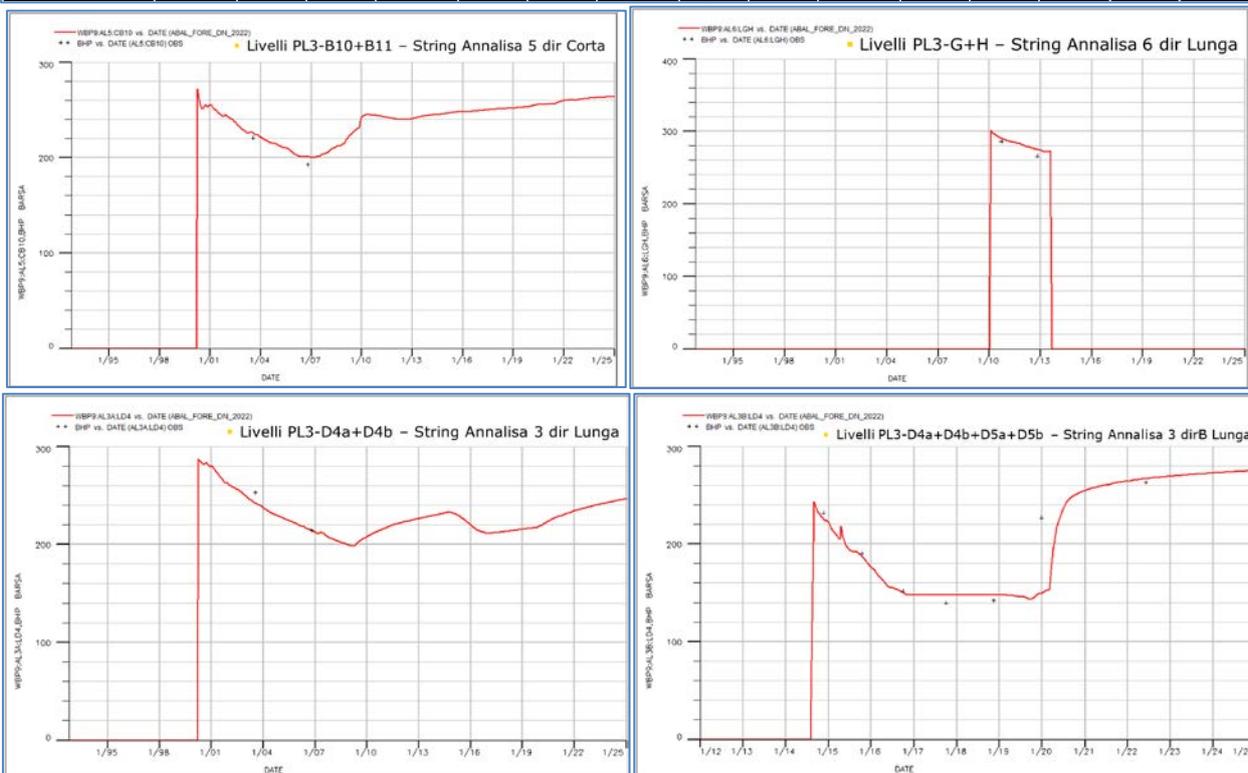


Figura 7 - Campo di Annalisa: confronto fra i dati misurati di pressione statica e i profili di pressione calcolati (modello Eclipse – dic.2022)

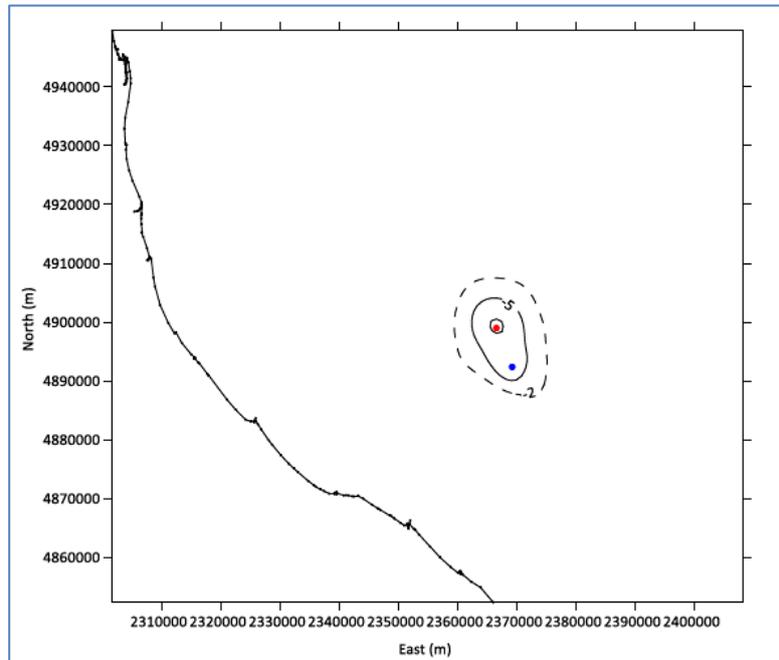


Figura 8 - Campo di Annalisa: curve di iso-subsidenza dei 2 e 5 cm a fine produzione (01/01/2034). In rosso è riportata la posizione della p.ma di Annabella, in blu quella di Annalisa.

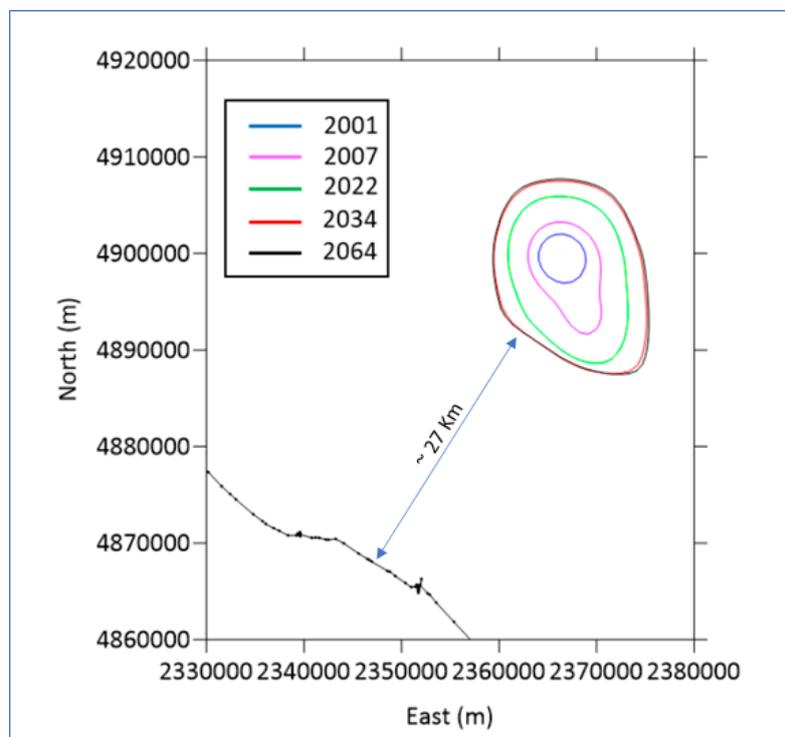


Figura 9 - Campo di Annalisa: evoluzione nel tempo della linea di iso-subsidenza di 2 cm. Il fenomeno si esaurisce a oltre 27 Km dalla costa.

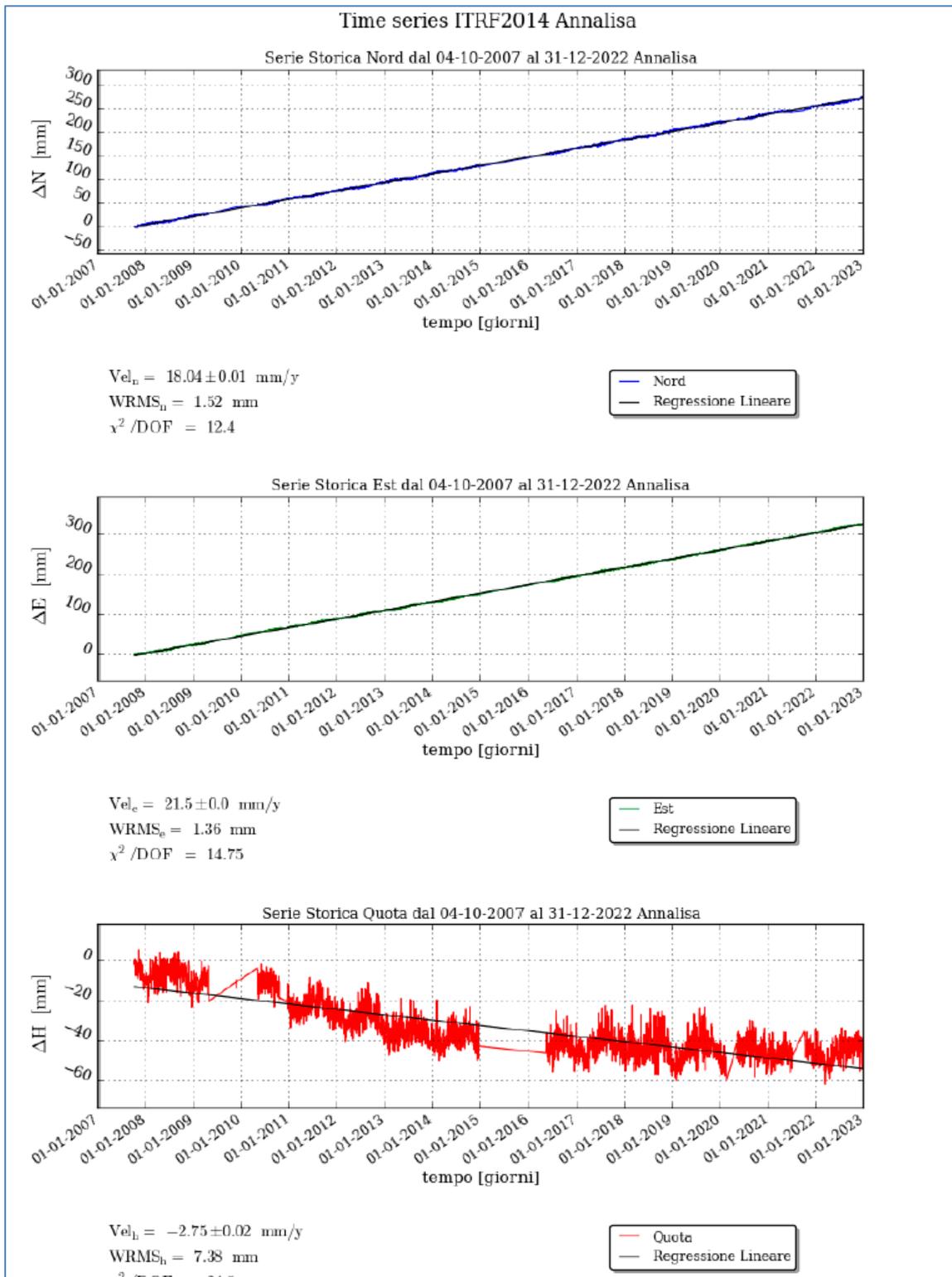
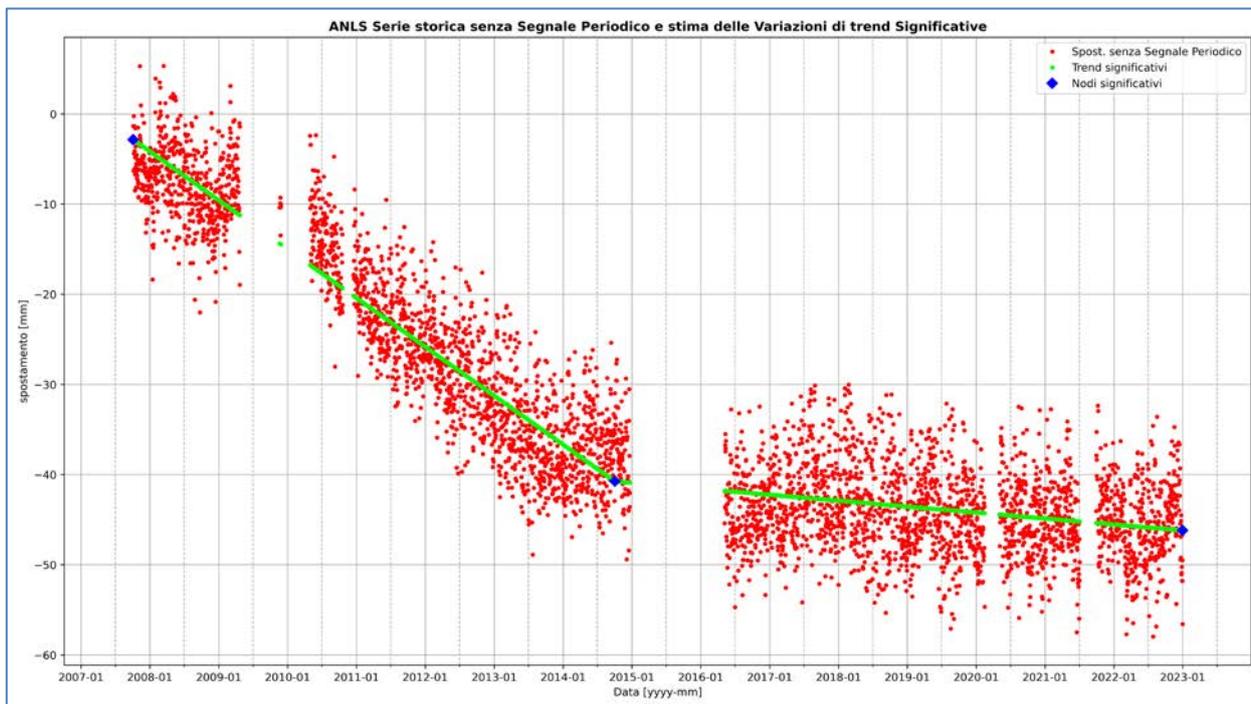


Figura 10 - Campo di Annalisa: serie storiche di misure CGPS @ dic.2022



**Stazione ANLS - U - Strategia EMPIRICAL - Velocità stimate
Sigma zero della serie processata: 4.57 [mm]**

| | Inizio | Fine | Velocità [mm/anno] | Sigma [mm/anno] |
|---|------------|------------|--------------------|-----------------|
| 1 | 2007-10-04 | 2014-10-02 | -5.42 | 0.04 |
| 2 | 2014-10-02 | 2022-12-31 | -0.66 | 0.03 |

Figura 11 Campo di Annalisa: analisi della serie storica di misure CGPS @ dic.2022

| 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 12 - 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

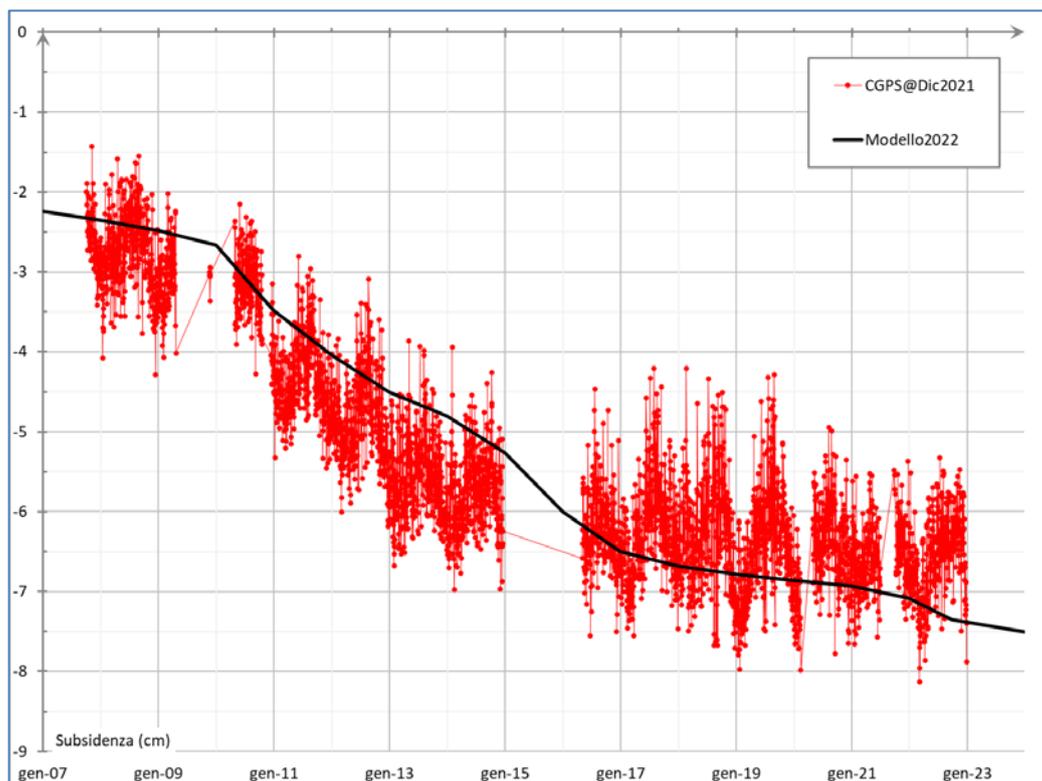


Figura 13 – Campo di Annalisa: misure CGPS @ dic.2022 vs. previsioni di subsidenza da modello geomeccanico (in corrispondenza della piattaforma)

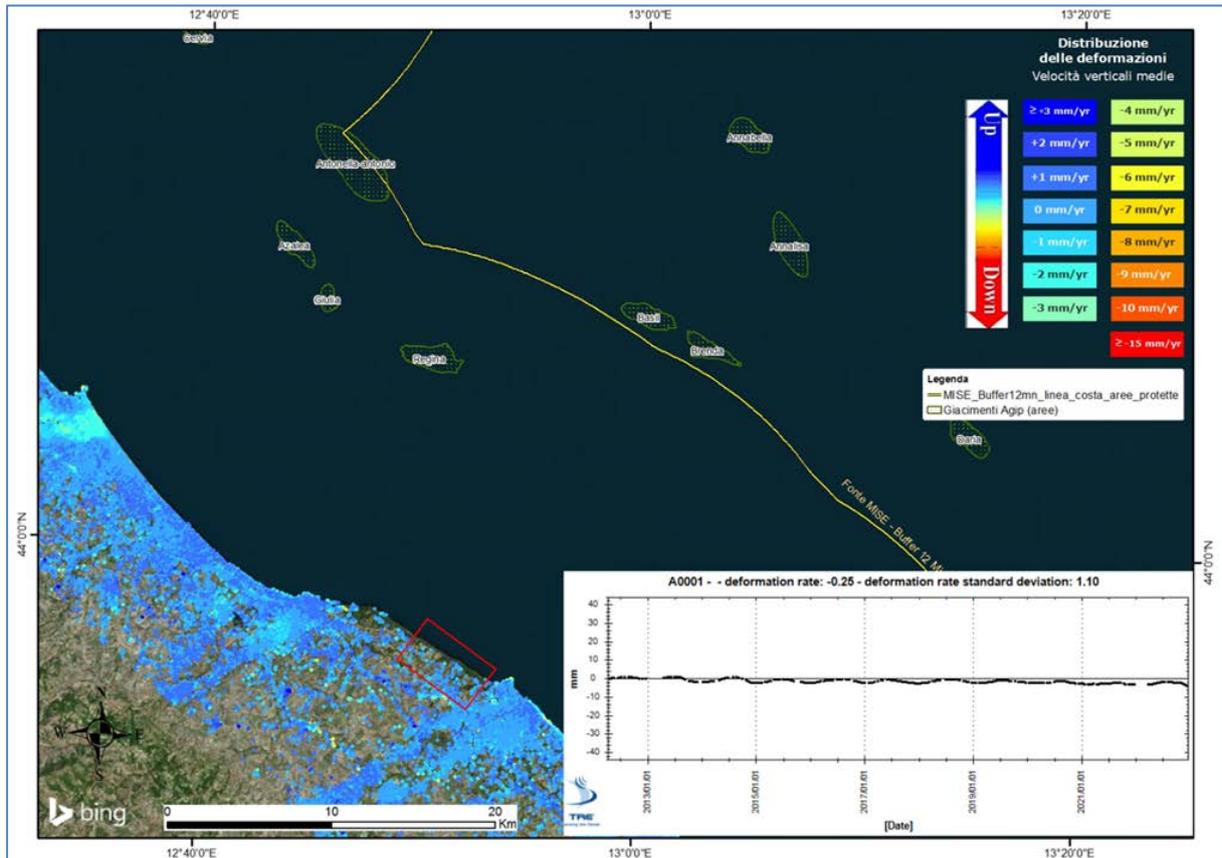


Figura 14 - Campo di Annalisa: Analisi dati InSAR dal 2012 al 2022 nel tratto di costa antistante il campo di Annalisa. Serie storica media (dal 2012 al 2022) dello spostamento medio ricavata dai dati InSAR all'interno del poligono rosso.

| campo ANNALISA (Eni 100%) | | | |
|---|---|---|---|
| DATI DI CAMPO | | DECRETO VIA n. 3547 del 7 gennaio 1999 | |
| UBICAZIONE | offshore - a circa 34 km a NE di Pesaro | AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (ANNALISA) | |
| PROFONDITA' FONDALE | 55 m | SIA | |
| LITOLOGIA | sabbie fini | ULTIMO AGGIORNAMENTO | |
| FORMAZIONE RESERVOIR | Porto Garibaldi | STUDIO DI GIACIMENTO | MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MARZO 97" Campi Annabella e Annalisa - Agg. studio giac. per studio geomecc. Doc. N° REVAL-68EEBGA-0 (dicembre 2022) |
| ZONA MINERARIA | Pl3 | RISERVE (MSm ³) | 1659 |
| PROFONDITA' RESERVOIR | 2300-3400 (TVDSS) | MOD. GEOMECCANICO | GEERTSMA CLINDRICO |
| TPO DI PIATTAFORMA | BEAF | MAX. SUBS. AL CENTRO (cm) | 3,2 (dopo 10 anni) |
| CARATTERISTICHE GEOLOGICHE | blanda anticlinale | MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km) | # |
| | | 27 @ 2034 | |
| N.B.: IL MODELLO DI SUBSIDENZA E' STATO AGGIORNATO COERENTEMENTE ALLA REVISIONE DEL MODELLO DINAMICO DI CAMPO. RISULTATI DELLO STUDIO TENGONO CONTO ANCHE DELL'INTERFERENZA CON IL VICINO CAMPO DI ANNABELLA. | | | |
| STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI | | | |
| CONCESSIONE | A.C32.AG | | |
| DATA SCADENZA CONCESSIONE | 30/11/2024 | | |
| N. POZZI (produttori) | 3 | LIVELLAZIONI | ACQUISITI DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA - PESARO-PORTO S.GIORGIO) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2014, 2017 e 2020. LA CAMPAGNA DEL 2020 E' STATA CERTIFICATA DAL DICAM-UNIVERSITA' DI BOLOGNA. IL PROSSIMO RILIEVO DI ENTRAMBE LE RETI DI LIVELLAZIONE (DORSALE ADRIATICA E PESARO-PORTO S.GIORGIO) SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2024 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO |
| RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm ³) | 1659 | MARKERS | NON PRESCRITTI |
| START UP PRODUZIONE | mar-00 | CGPS | NEL CORSO DEL 2007 E' STATO INSTALLATO UN CGPS IN PIATTAFORMA. NEL 2008 E' STATO INSTALLATO CGPS NELLA CENTRALE ENI DI FANO (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA |
| FINE PRODUZIONE PREVISTA | 2007 | SAR | ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DIC. 2022 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLA P.M.A ANNALISA NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA - ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO |
| GAS PRODOTTO (MSm ³) | 2059 | | |
| % RISERVE PRODOTTE | 93% | | |

Figura 15 – Campo di Annalisa: scheda di sintesi

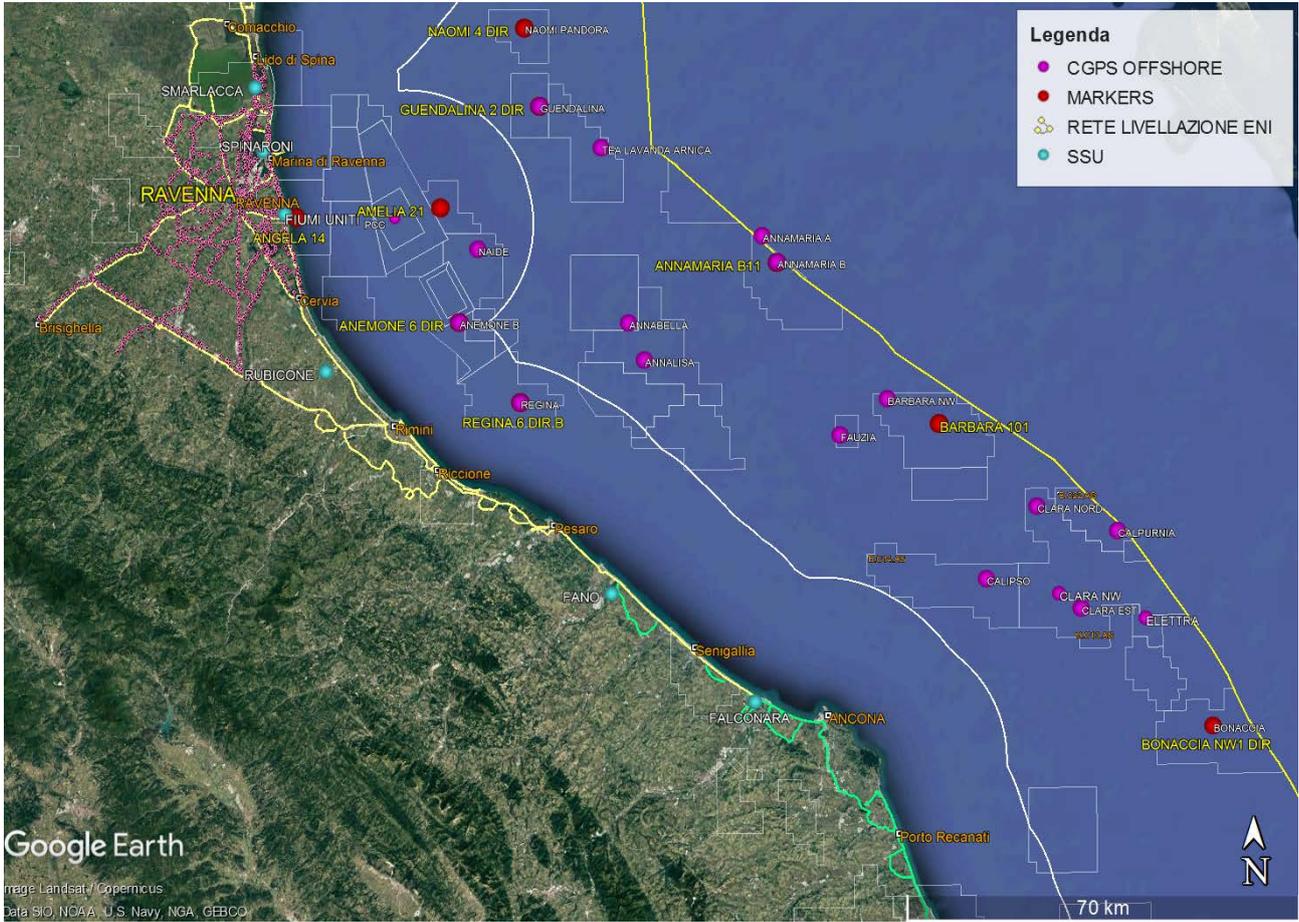


Figura 15 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

12 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 accorpare 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 1 . Taratura dato InSAR con le misure CGPS.

| | CGPS | V_{vert_CGPS} [mm/yr] | sqm_CGPS [mm/yr] | $Media_V_SAR$ [mm/yr] | sqm_SAR [mm/yr] | Diff_VEL CGPS-SAR [mm/yr] | sqm_diff [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-AN- CONA | 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

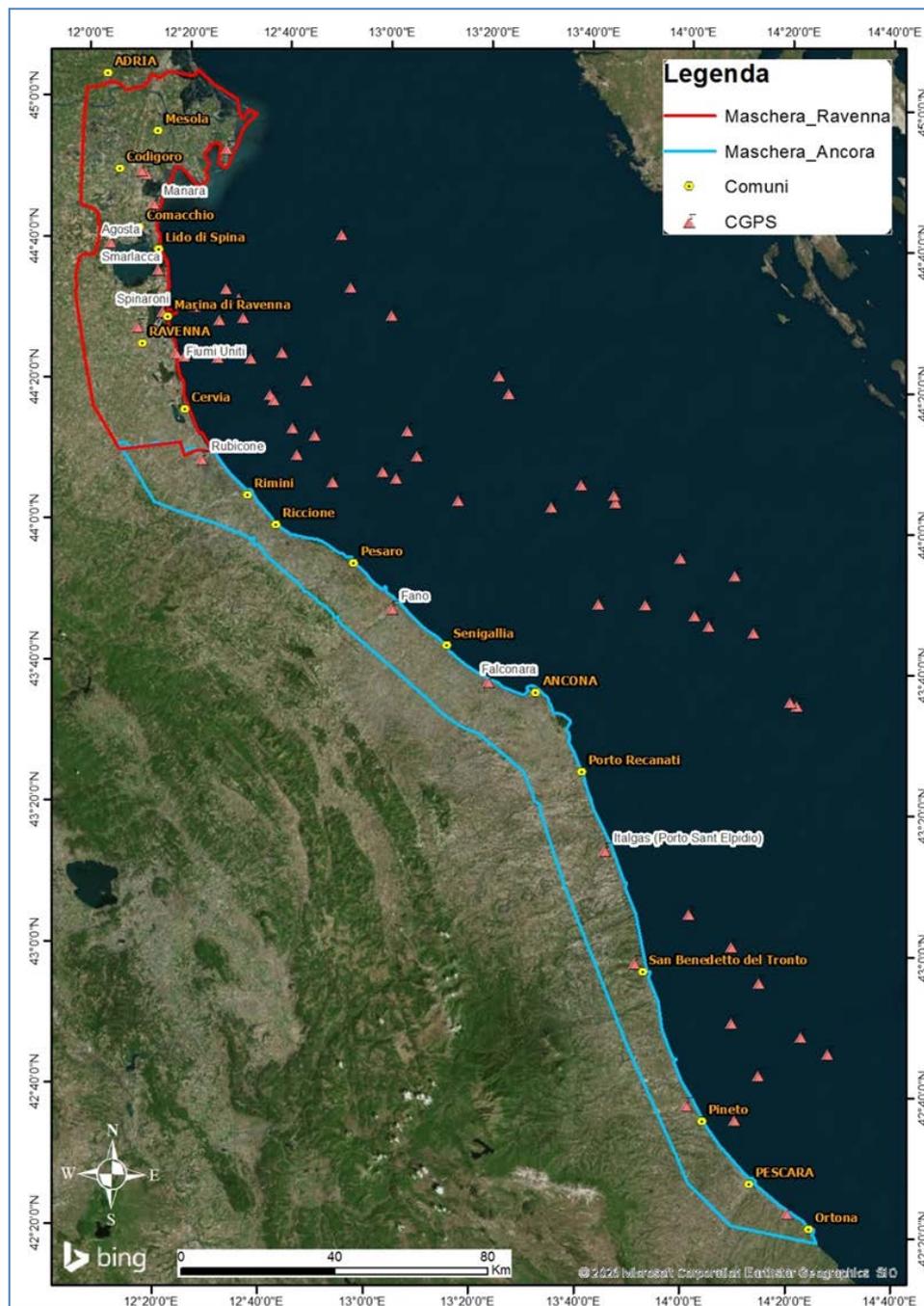


Figura 16. Mappa delle macro aree in cui sono stati raggruppati i dati SAR.

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 28 - of 56</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.

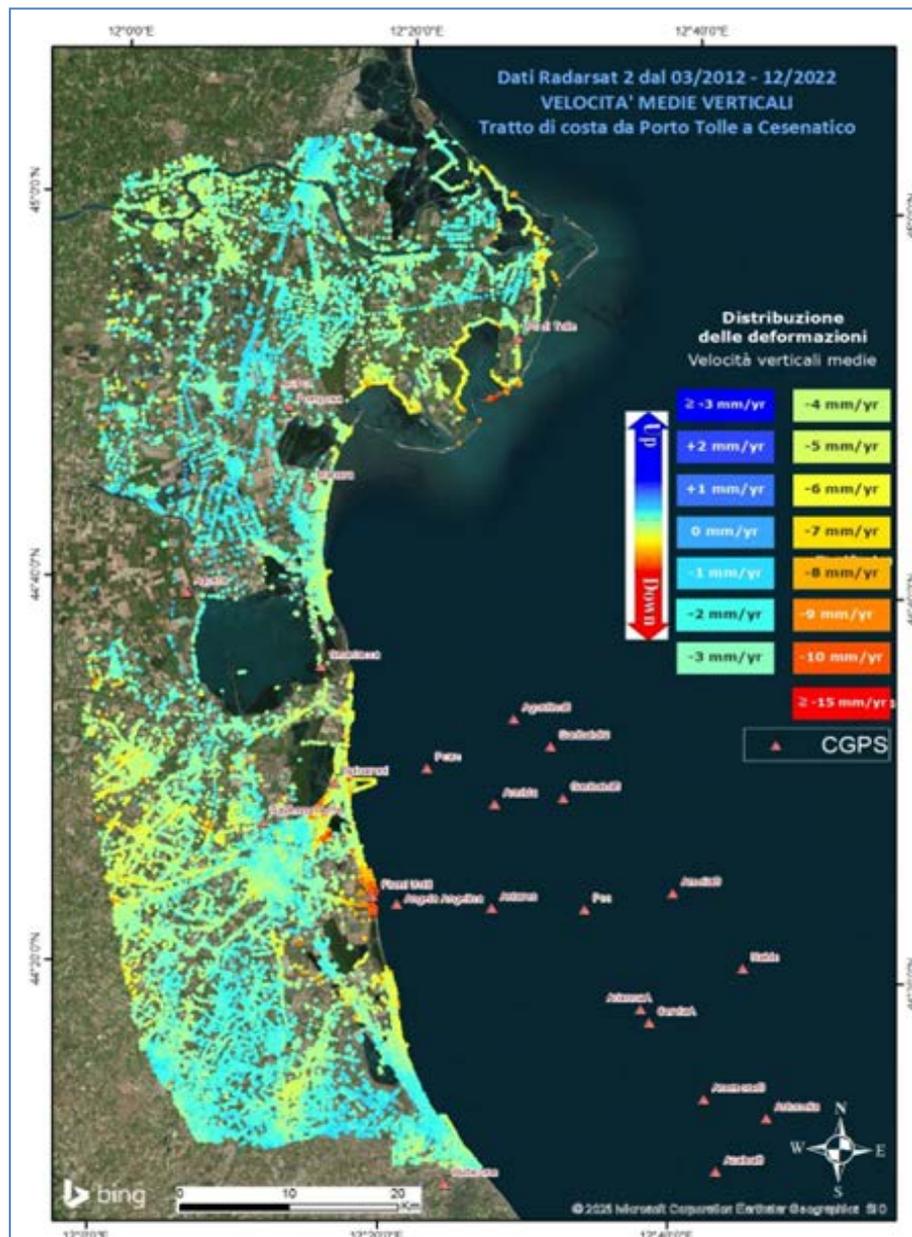


Figura 17. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

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.

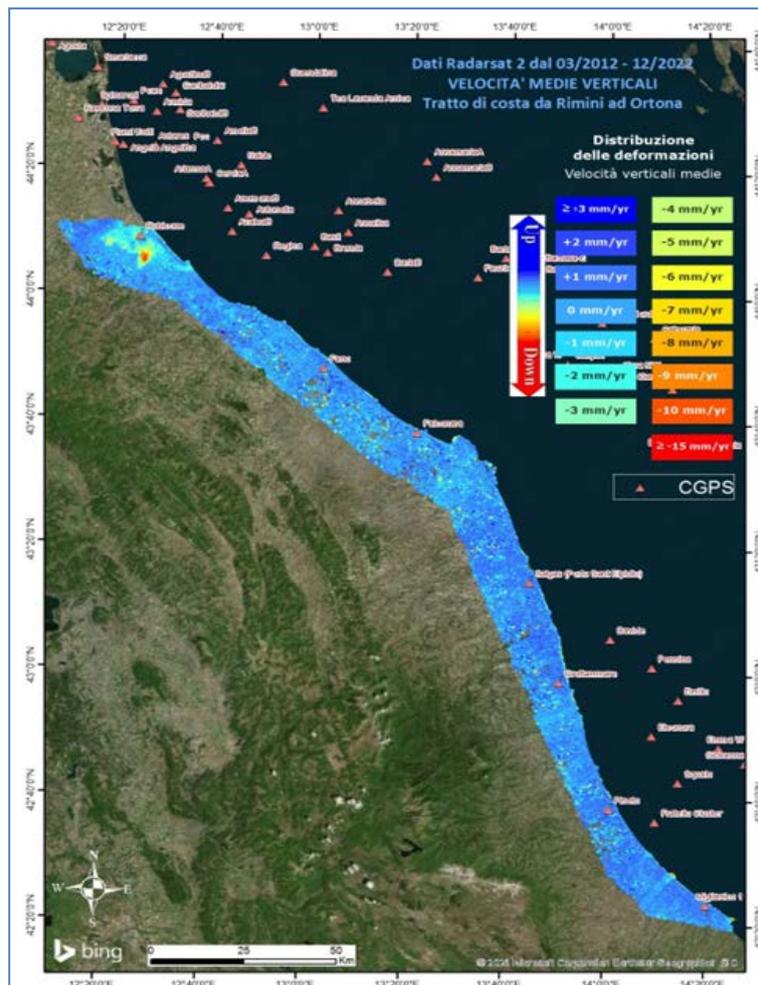


Figura 18. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.

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), allo scopo di misurare movimenti lenti del terreno dovuti a frane, subsidenza, fenomeni

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 31 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

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.

13 Appendice B: Monitoraggio della compattazione superficiale (agg. 2022) lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona e antistante i giacimenti di Annamaria, Naide, Anemone, Annalisa, Regina, Barbara NW, Fauzia, Clara Nord, Calpurnia, Calipso, Clara Est-Clara NW, Elettra, Bonaccia-Bonaccia NW.

Il monitoraggio della compattazione superficiale lungo la fascia costiera adriatica, compresa tra Cervia e Ancona, è effettuato tramite tre stazioni *EPSU* (Extensometric Piezometric Survey Unit) denominate: **Rubicone**, **Fano** e **Falconara**. L'ubicazione di tali stazioni, installate tra il 2008 e il 2009, è riportata in Figura 1B.

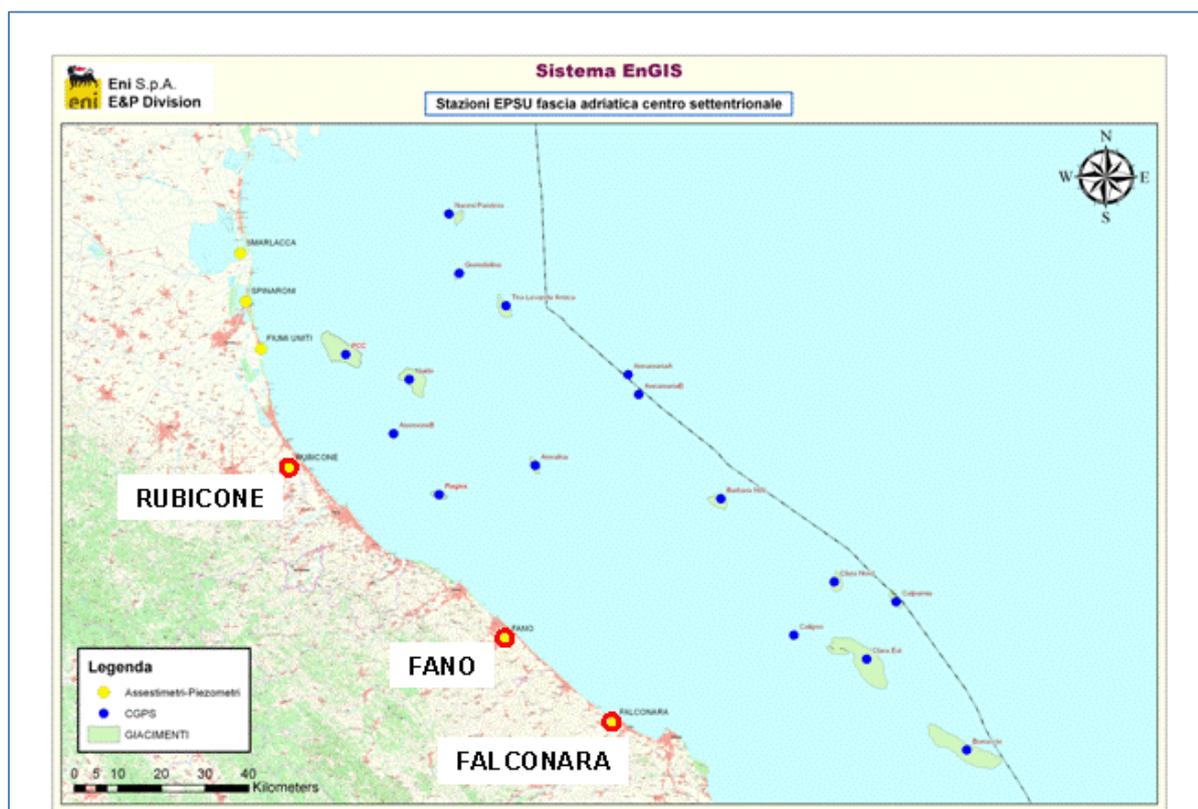


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

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 rispettivamente della temperatura e pressione atmosferica) come schematicamente rappresentato in Figura 2B.

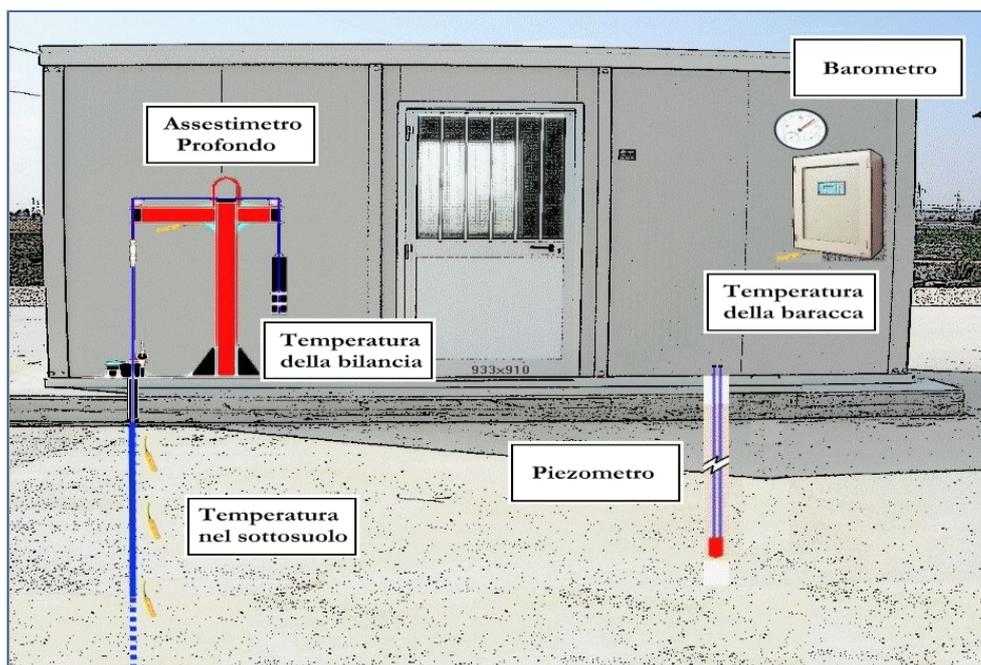


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

| Località | Pozzo | Strumentazione | Profondità (da P.C.) | Data d'installazione |
|-----------|---------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| Rubicone | CGRA-1 | Assestimetro profondo | 320 m | Gen. 2009 |
| | CGRP-1 | Piezometro cella singola | 178 m | Gen. 2009 |
| | CGRP-2 | Piezometro cella doppia | 146 m e 70 m | Gen. 2009 |
| Fano | CGFNA-1 | Assestimetro superficiale | 40,8 m | Lug. 2008 |
| | CGFNP-1 | Piezometro superficiale | 6,1 m | Lug. 2008 |
| Falconara | CGFLA-1 | Assestimetro superficiale | 40,3 m | Lug. 2008 |
| | CGFLP-1 | Piezometro cella singola | 21 m | Lug. 2008 |

Per ciascuna stazione *EPSU* vengono di seguito presentati:

1. le principali caratteristiche;
2. 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'assestimetro); al contrario i valori negativi costituiscono la componente dell'espansione (aumento dello spessore dello strato di sottosuolo attraversato dall'assestimetro).

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 34 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Stazione *EPSU* di RUBICONE (installata dicembre 2009)

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 44°09' 6.76"N e 12° 24' 36.37"E.

La stazione è ubicata, ad una altitudine di 6 ms.l.m., a circa 3.5 Km a sud-ovest dell'abitato di Gatteo a Mare (FC), lungo il corso della sponda nord del fiume Rubicone ed all'interno della centrale gas Eni denominata "Rubicone".

Strumentazione:

- assestimetro - quota bottom: 320 m da p.c.
- piezometro singolo - quota cella: 178 m da p.c.
- piezometro doppio - quota celle: 146 e 70 m da p.c.

La strumentazione messa in opera nella stazione è illustrata schematicamente nelle Figure 3B e 4B mentre la Figura 5B presenta in dettaglio la litologia dei terreni attraversati dal pozzo assestimetrico e dalle 2 verticali piezometriche.

La raccolta dati è iniziata l'8 aprile 2009.

A tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto "lo zero" dei sensori di misura.

I dati sono stati acquisiti con regolarità secondo la seguente frequenza:

- 08 aprile 2009 - 22 maggio 2009: una misura ogni ora;
- 22 maggio 2009 - 2 novembre 2009: una misura ogni 2 ore;
- dal 02 novembre 2009 ad oggi: una misura ogni 6 ore.

Le misure sono state fatte con alimentazione a batteria fino al 22 maggio 2009. Da tale data fino al 14 luglio 2009 non si hanno registrazioni a causa dei lavori di messa a norma della baracca secondo la normativa ATEX. Dal 14 luglio è ripreso il normale ciclo di funzionamento della stazione. Nel 2011 c'è da segnalare un blackout di dati per mancanza di alimentazione dell'apparecchiatura tra il 29 settembre e il 14 ottobre.

A dicembre 2017 è stata fatta manutenzione straordinaria dei tre piezometri con spurgo e lavaggio dei piezometri della stazione. Per i due piezometri ubicati sulla stessa verticale - quello superficiale e l'intermedio (70 e 146 m da p.c.) - il lavaggio con acqua in pressione ha consentito di escludere che vi fosse comunicazione idraulica fra gli stessi. Le celle e i tubi di tutti e tre i piezometri (tipo Casagrande) sono risultati perfettamente integri: le letture

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 35 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

manuali, effettuate subito dopo lo spurgo e durante la fase di ricarica della falda, sono risultate attendibili presentando per tutti i piezometri un dislivello massimo tra i due tubi compreso tra 0 e 1 cm. Tutti i piezometri revisionati sono risultati integri e affidabili per restituzione dei dati. A giugno 2018 è stato sostituito un trasduttore di pressione del piezometro a 178 m.

Verso la fine del 2021 nelle giornate 01 e 02 dicembre è stata effettuata un'attività di lavaggio e spurgo dei 3 piezometri del sito, con anche 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 delle celle 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, che era stato misurato prima e poi dopo l'attività di pulizia dei piezometri.

La misura è stata effettuata in entrambi i tubi delle celle "Casagrande".

Tutti e 3 i piezometri sottoposti a manutenzione sono risultati fisicamente integri e attendibili al fine della restituzione dati. Durante l'esecuzione del lavaggio sui due piezometri installati nello stesso foro (-70 m e -146 m), sono state eseguite misure con freatimetro all'interno di un tubo del piezometro profondo (-146 m) durante il lavaggio del superficiale e viceversa durante il lavaggio del piezometro profondo, senza mai notare nessuna interferenza o variazione dei livelli di falda, potendo così escludere comunicazione idraulica tra le due verticali piezometriche. Da segnalare che al termine delle operazioni di spurgo/lavaggio il piezometro a -70 m ha evidenziato un livello dell'acqua a bocca tubo "quasi statico", con dissipazione praticamente assente nelle ore immediatamente successive al lavaggio, gli altri 2 piezometri hanno ristabilito quasi immediatamente il loro livello piezometro di "pre-lavaggio". Il piezometro a -70 m, anche in attività di pulizia effettuate negli anni passati, ha sempre presentato il medesimo comportamento ossia un maggiore ritardo nel ristabilire il livello piezometrico originario; probabilmente il livello freatico -70 m ha un livello di permeabilità molto più basso degli altri due acquiferi monitorati. 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

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 36 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

controlli manuali e la relativa taratura di tutti i sensori, nei mesi di marzo, 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 misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra il piano campagna (p.c.) e il punto più profondo d'ancoraggio dello strumento (320 m da p.c.).

Nei grafici allegati (Figura 6B) sono riportati per un confronto sia i dati assestimetrici sia quelli piezometrici; nello stesso grafico è riportato anche l'andamento della pressione atmosferica, i cui dati sono stati utilizzati per depurare i valori delle quote piezometriche. 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 2009, data di collaudo del sistema.

I valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione, quelli negativi, viceversa, un incremento dello spessore (cioè espansione) degli strati di terreno monitorati. Lo strumento ha sempre segnato un andamento stagionale estremamente regolare, con un decremento delle misure da settembre-ottobre ad aprile-maggio dell'anno successivo (massima espansione), una ripresa delle misure da aprile fino a settembre-ottobre (massima compattazione) per poi decrescere di nuovo. Questo andamento è stato registrato in tutti gli anni di osservazione, ma con pendenze delle curve e, quindi, con velocità di incremento e/o decremento, variabili di anno in anno; l'ultimo anno non fa eccezione (Figure 7B e 8B). Nel caso della stazione di Rubicone, l'andamento nel tempo della curva di compattazione/espansione registrata dall'assestimetro si correla molto bene con le variazioni di livello dell'acqua nelle tre falde monitorate dai piezometri rispettivamente a 70 m, 146 m e 178 m di profondità. Per tutto il periodo osservato si nota, infatti, un ritardo medio di circa 1÷1.5 mesi nella espansione/compattazione del terreno rispetto all'escursione massima (marzo/aprile) e minima (agosto/settembre) dei livelli di tali falde (Figura 7B e Figura 8B (confronto delle misure piezometrica profonda e assestimetrica dell'ultimo anno)).

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 37 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Analisi dei dati piezometrici

Nei grafici dei piezometri (Figura 6B) l'ordinata è la quota piezometrica (m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica. Nella Figura 7B è stata eliminata l'informazione della pressione barometrica e si può meglio apprezzare l'elevata correlazione tra le pulsazioni del terreno, registrate dall'assestometro, e la dinamica annuale delle falde freatiche, che accanto alla componente naturale sembra essere l'unica responsabile della compattazione totale registrata nell'area e localizzata quasi esclusivamente nella parte superficiale di terreno indagata dall'assestometro.

Nel caso di Rubicone si notano delle effervescenze gassose nei tubi piezometrici causate dalla presenza di piccole quantità di gas nell'acqua; il fenomeno era già stato osservato durante le operazioni di messa in opera dell'attrezzatura. Queste piccole effervescenze causano differenze di misura dei livelli d'acqua nei due tubi del piezometro profondo (pozzo CGRP-1). Nel mese di ottobre 2012 sono stati puliti e controllati i 3 piezometri, verificando il loro buon funzionamento. Un nuovo spurgo è stato fatto a fine settembre 2014 e si può osservare dai grafici dei piezometri, soprattutto per la curva relativa a quello superficiale, che a partire da tale data si è modificata la dinamica dell'escursione del livello dell'acqua.

A dicembre 2017 è stata fatta una manutenzione straordinaria con spurgo e lavaggio dei tre piezometri con controllo di tutti i trasduttori di pressione.

A dicembre 2021 è stata effettuata una nuova attività di spurgo e pulizia dei piezometri. Tutti e tre i piezometri sottoposti a manutenzione sono risultati fisicamente integri e attendibili al fine della restituzione dei dati. Nell'occasione sono stati ritarati tutti i trasduttori di pressione, la cui affidabilità è stata accertata facendo diverse misure manuali con freatiometro.

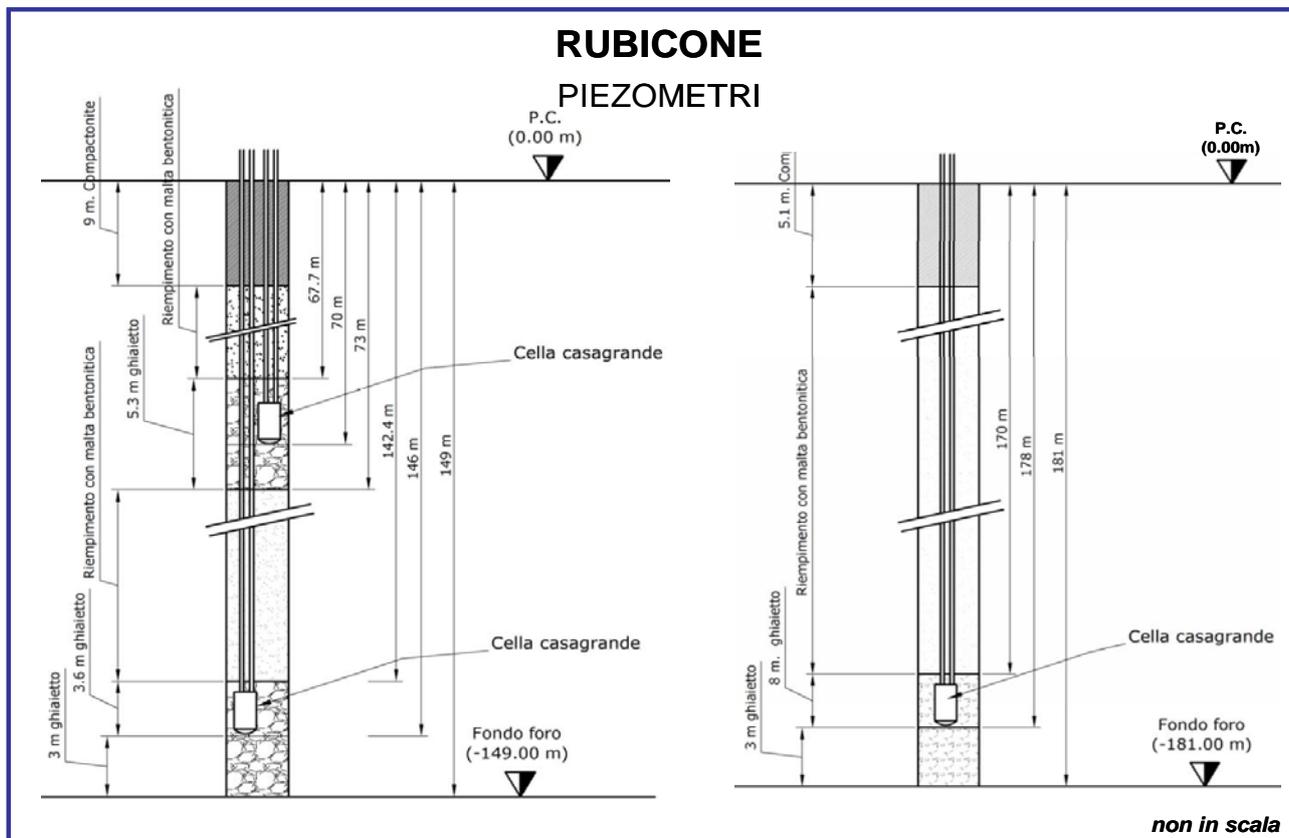


Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

RUBICONE ASSESTIMETRO

- Modello di assestimetro costituito da 49 aste in ferro da 6m ed ultimi 10m da aste in Invar con 12 giunti telescopici e con boccole a scorrimento assiale.
- Ancoraggio base assestimetro a 320m da p.c. .
- La forza imposta dal sistema a bilanciere sull'asta di misura ha direzione verticale verso l'alto e modulo di poco superiore al peso proprio della batteria d'asta, peso aste 397Kg, peso zavorra 427Kg.

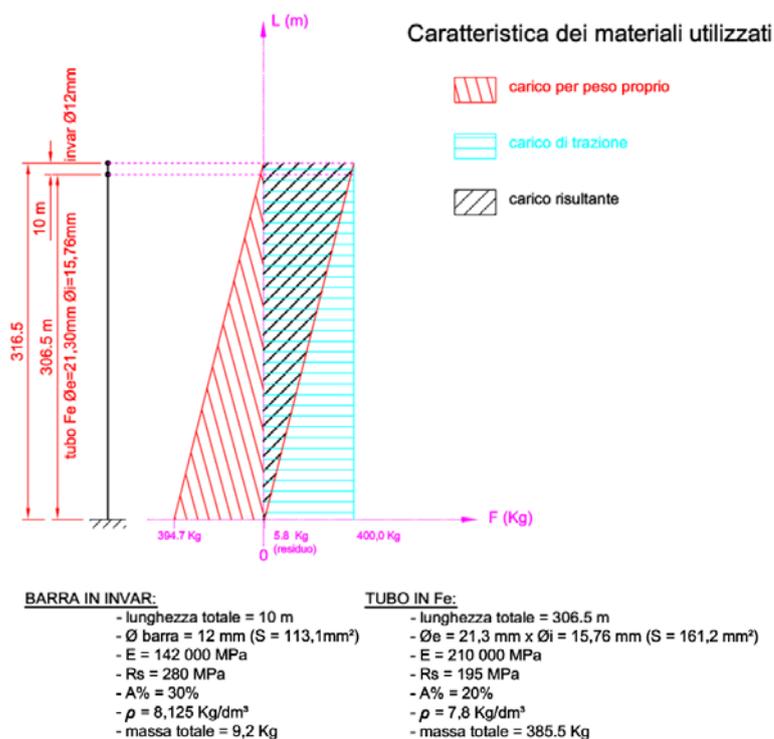


Figura 4B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone

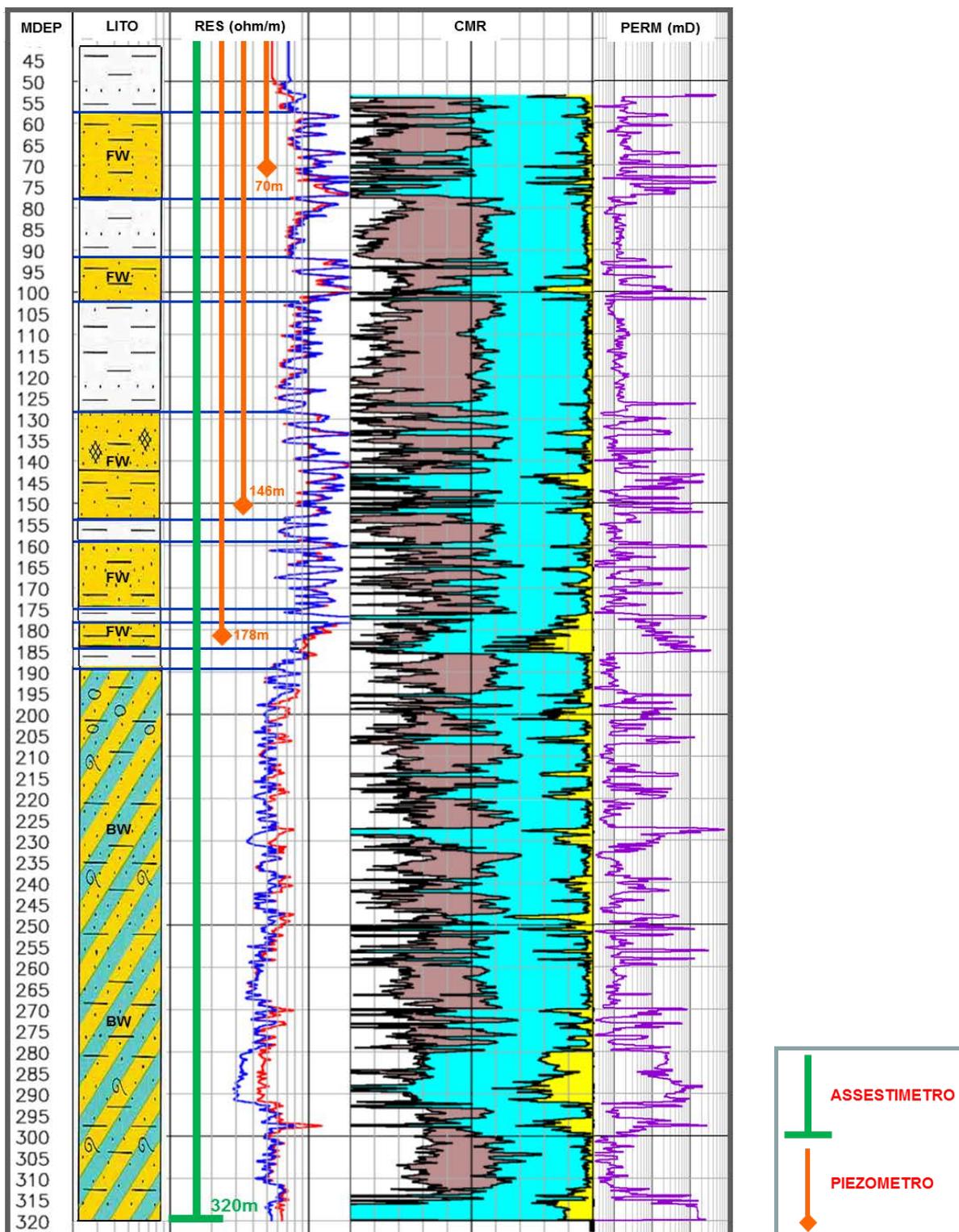


Figura 5B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone (FW=acqua dolce; BW=acqua salmastra)

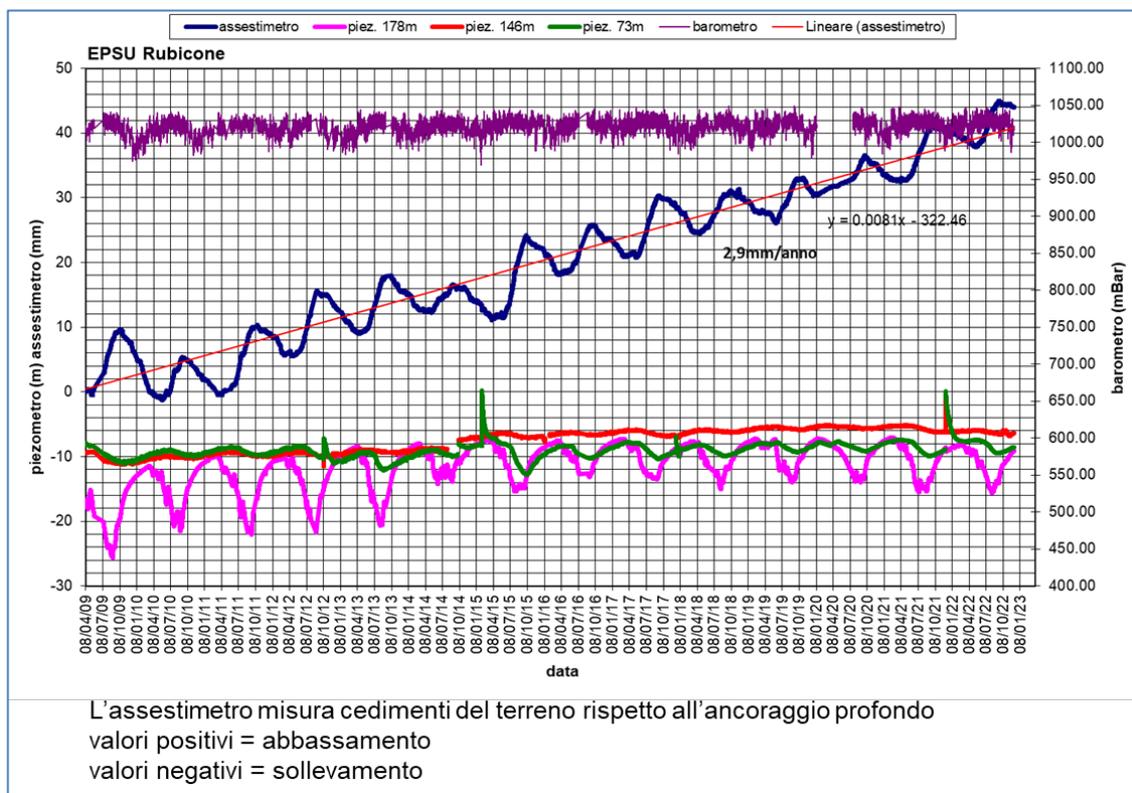


Figura 6B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche-assestimetriche e barometriche

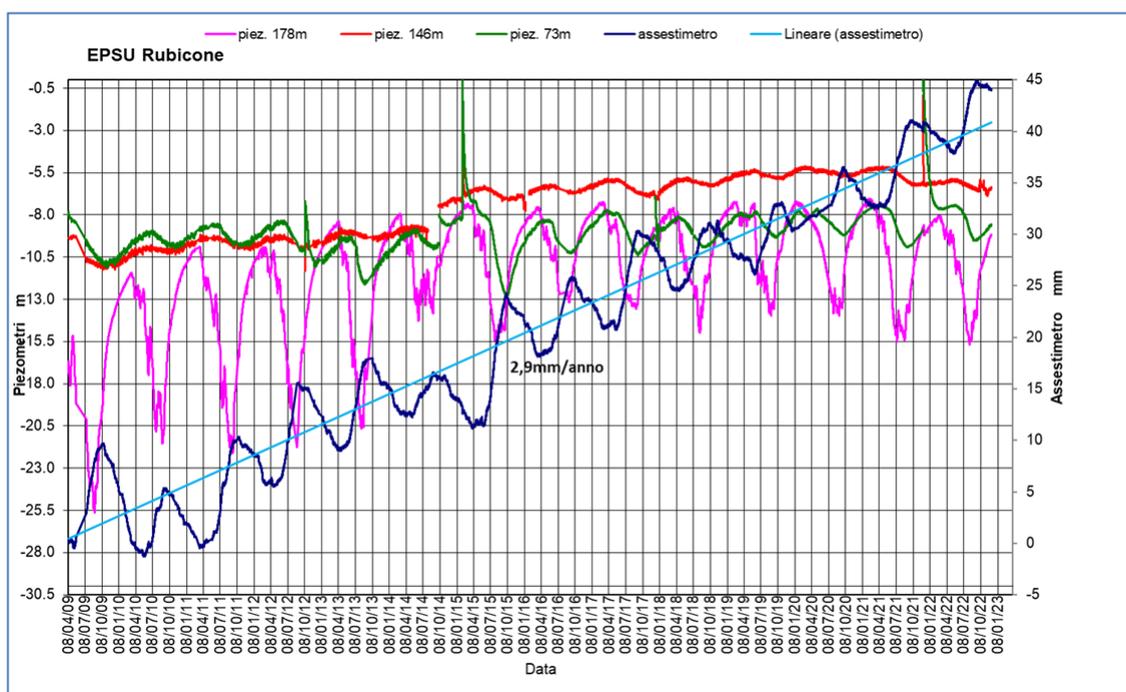


Figura 7B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche-assestimetriche.

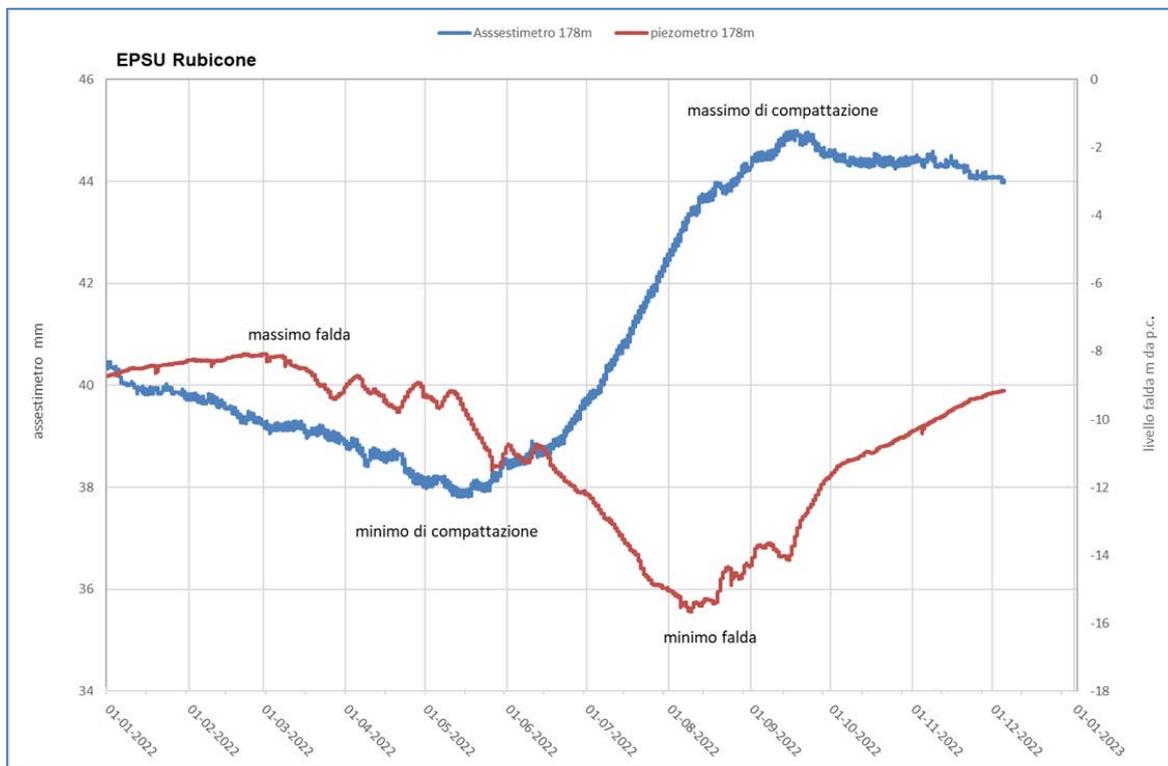


Figura 8B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 43 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Stazione *EPSU* di FANO (installata ottobre 2008)

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 43° 48' 28.37"N e 13° 02' 25.78"E.

La stazione è ubicata, ad una altitudine di 13.5 ms.l.m., a circa 4.5 km a SSE della città di Fano (PU), lungo la sponda sud (destra) del fiume Metauro, a circa 2.5 km dal mare Adriatico ed all'interno della centrale gas Eni denominata "Fano".

Strumentazione:

- assestimetro - quota bottom: 40.8 m da p.c.
- piezometro a cella singola: quota cella 6.1 m da p.c.

Lo schema della strumentazione messa in opera nella stazione è illustrato nella Figura 9B, mentre la Figura 10B riporta la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico.

La raccolta dati di questa stazione è iniziata il 16 ottobre 2008. In tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto "lo zero" per tutti i sensori di misura.

L'acquisizione dati è stata fatta con regolarità secondo la seguente frequenza:

- 16 ottobre 2008 - 18 maggio 2009: una misura ogni ora;
- dal 19 maggio 2009 ad oggi: una misura ogni 6 ore.

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.

Il 30 novembre 2021 è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio sul piezometro realizzato con Cella Casagrande e doppio tubo di acciaio zincato da 1" ½.

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

Nel periodo monitorato (10/2008 - 12/2022) non si sono notate anomalie né a livello sensoristico né a livello di apparecchiatura d'acquisizione dati; per tutto il 2022 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie storiche registrate.

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 44 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra la superficie (p.c.) e il punto più profondo d'ancoraggio dello strumento (40.8 m da p.c.).

Nel grafico allegato (Figura 11B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici sia quelli assestimetrici. In particolare, la quota piezometrica, ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna, è riportata in metri. Il valore della pressione atmosferica, con cui sono state corrette le piezometrie, è indicato in mbar. 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 del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. I 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.

Sin dall'inizio della sua installazione, lo strumento non ha mai fatto registrare significative variazioni di spessore (compattazioni o espansioni) della porzione di terreno monitorato.

Le escursioni cicliche stagionali sono dell'ordine di ± 1 mm, con una punta massima di compattazione di circa 1.5 mm registrata all'inizio del 2012.

La curva assestimetrica, inoltre, si correla bene con l'andamento del livello della falda acquifera monitorata dal piezometro posto a circa 6 m dal piano campagna, anche se con uno sfasamento temporale (ritardo delle compattazioni rispetto ai minimi piezometrici) di qualche mese. Si osservano, infatti, quasi regolarmente i massimi di compattazione all'incirca a metà gennaio di ogni anno, mentre i minimi livelli della falda acquifera si verificano, quasi sempre, circa nei quattro/cinque mesi prima dell'anno precedente, ovvero intorno a metà settembre/ottobre. Nel corso del 2022 (Figura 12B), per quasi tutto l'anno (sino ad i primi del mese di novembre) si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compattazione di circa 1 mm (0.99) a inizio anno è stata parzialmente recuperata da una successiva espansione estiva (fine giugno/inizio luglio), per ritornare poi a un valore di circa 1 mm (1.08mm di compattazione) nel periodo autunnale (inizio di novembre).

In corrispondenza di quest'ultimo periodo, esattamente il 09/11/22, però l'assestimetro fa registrare un salto di compattazione anomalo, circa 0.8mm non recuperati, che, per l'an-

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 45 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

damento che ha sempre caratterizzato questo strumento, è degno di nota. Il salto di compattazione si è verificato in corrispondenza dell'evento sismico che ha avuto luogo al largo di Fano, nell'offshore adriatico, a circa trenta chilometri dalla costa il 09/11/22 alle ore 06 circa (Figura 13B), dopo tale evento lo strumento sembra essere rimasto stabile sugli ultimi valori di compattazione registrati (1.9mm). Comportamenti simili, della strumentazione assestimetrica in occasioni di sismi, erano già stati verificati in passato in altre postazioni per la misura della compattazione superficiale (assestimetro di Fiumi Uniti in occasione dei sismi del 2014 e 2016). Tale variazione anomala di compattazione comunque non fa cambiare l'andamento generale delle misure assestimetriche, acquisite nei circa 14 anni di osservazioni (14.21) da questa stazione, che mostrano, analogamente a quelle della stazione più a sud di Falconara, una situazione del terreno sostanzialmente stabile, con una compattazione/espansione complessiva (-0.0018mm/anno) nulla (Fig.11B) a parte le variazioni cicliche stagionali.

Passando al confronto con la piezometria, si nota che la curva assestimetrica mostra una buona correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestimetrica si presenta sfasata anche rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo (massima espansione) circa quattro mesi dopo il massimo del livello piezometrico (Figura 11B e Figura 12B). Questo comportamento potrebbe essere spiegato dal ritardo con cui si contrae o rigonfia un grosso strato d'argilla di circa 32 m (Figura 10B) quando varia la pressione. La presenza di tale strato d'argilla è stata rilevata durante la perforazione del foro assestimetrico.

Analisi dei dati piezometrici

Nel grafico di Figura 11B sono riportati i valori (in m) misurati dal piezometro Casagrande a doppio tubo di acciaio zincato da 1" ½. L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è stata di circa ± 7 cm, il che rientra nella normale tolleranza dello strumento. In data 30 novembre 2021 è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio del piezometro e sono stati rifatti i controlli dei trasduttori di pressione. Al termine dell'attività di manutenzione il piezometro è risultato integro e

perfettamente funzionante. Come già detto, l'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stata effettuata in novembre 2022.

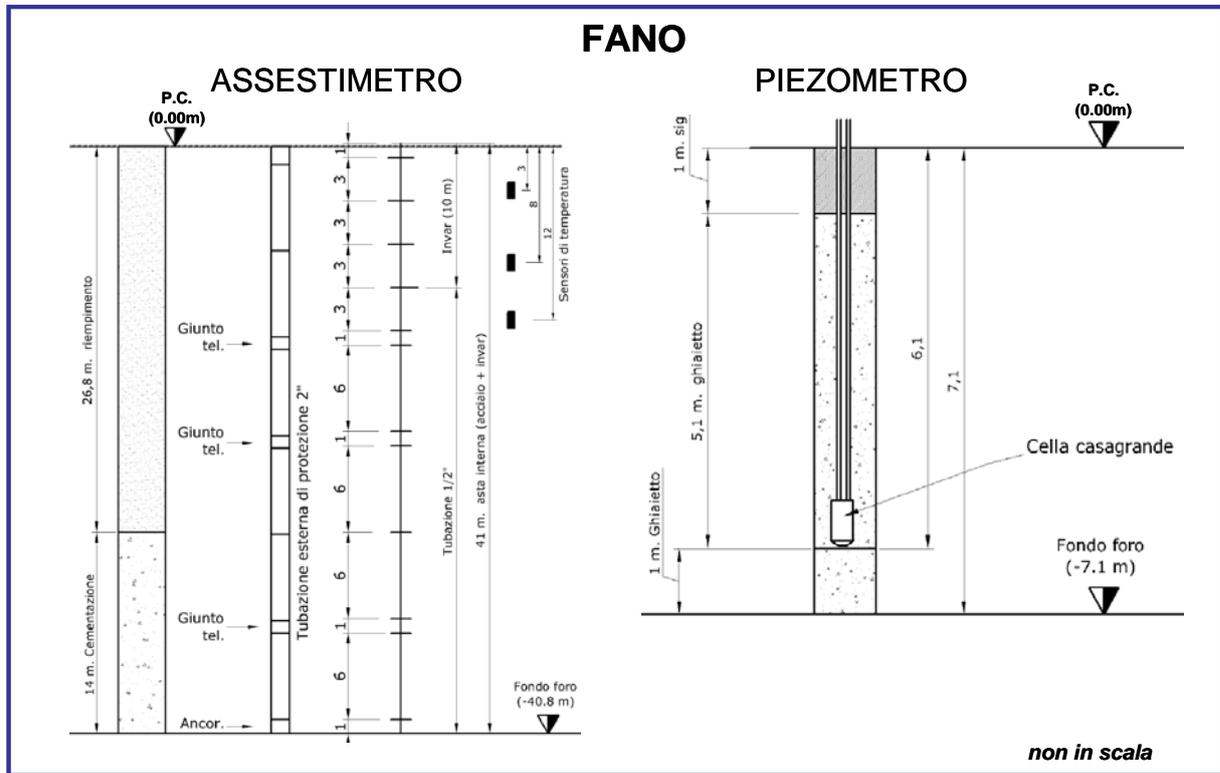


Figura 9B - Stazione EPSU di Fano

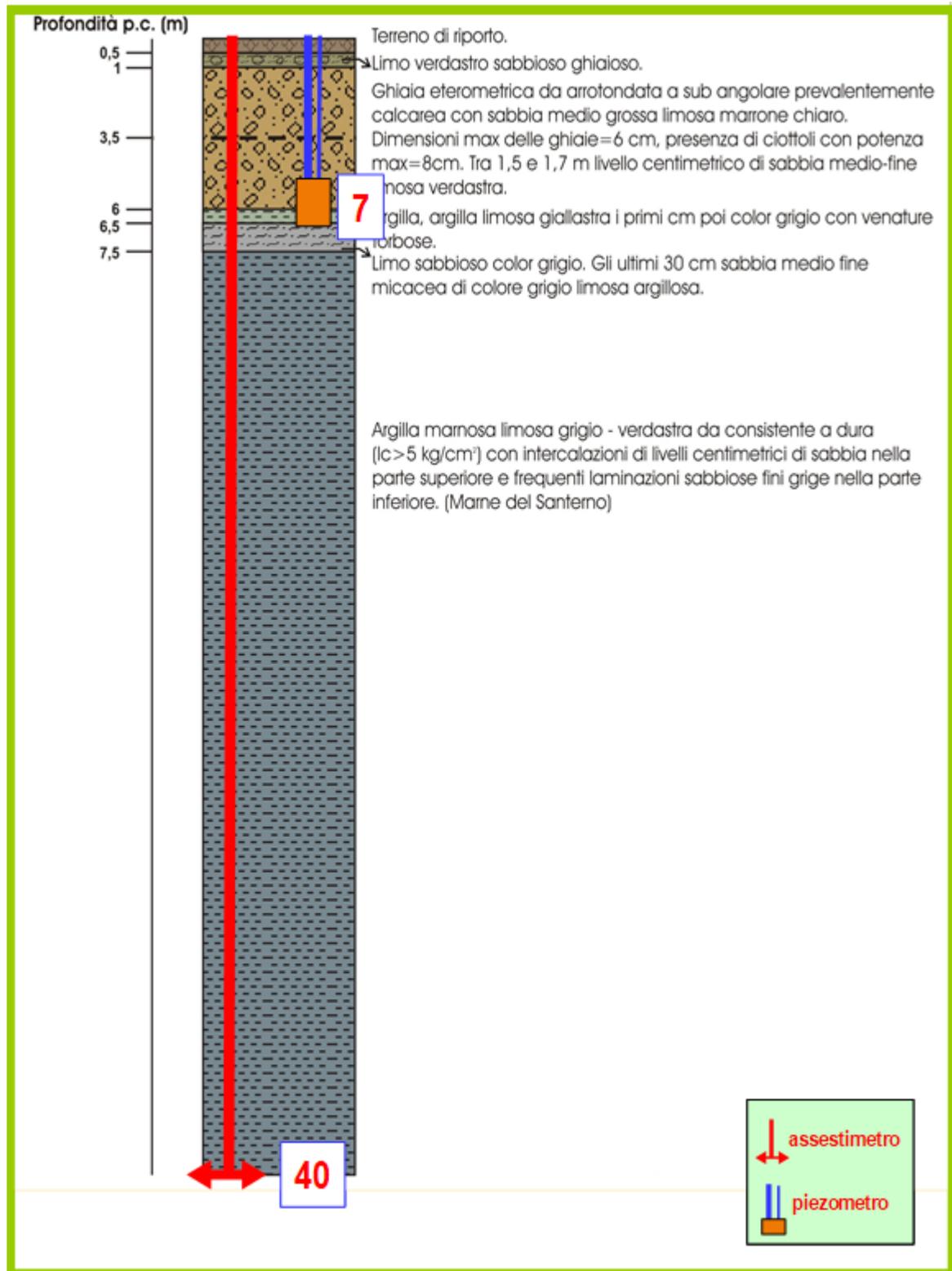


Figura 10B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano

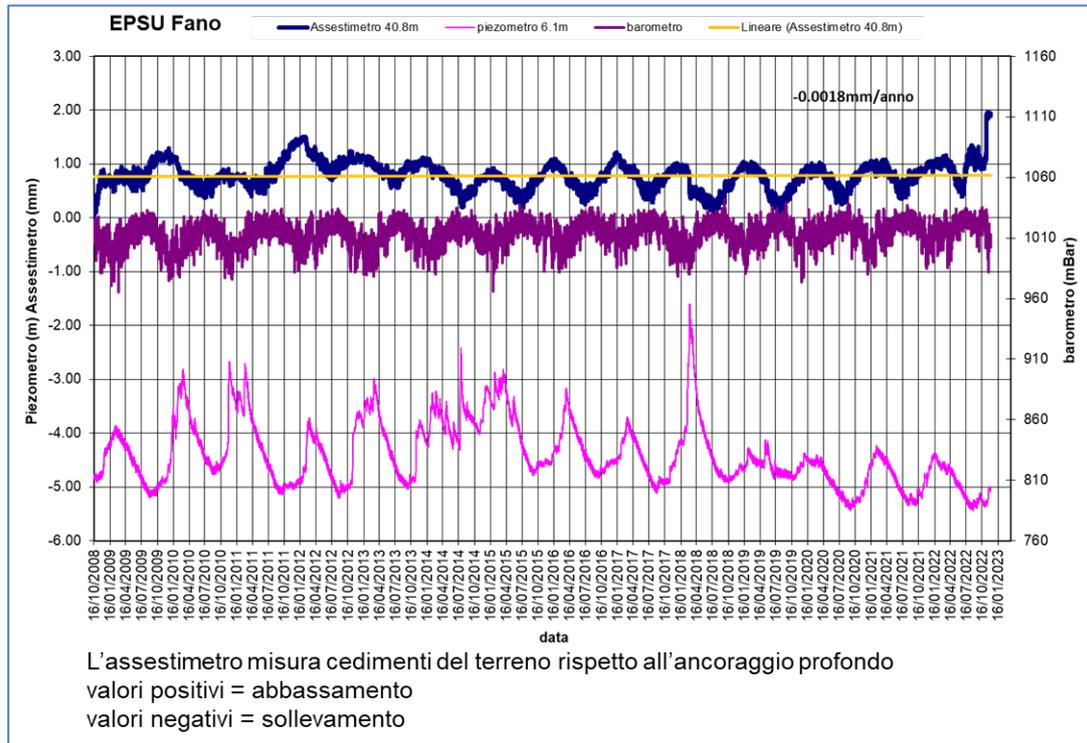


Figura 11B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche-assestimetriche e barometriche.

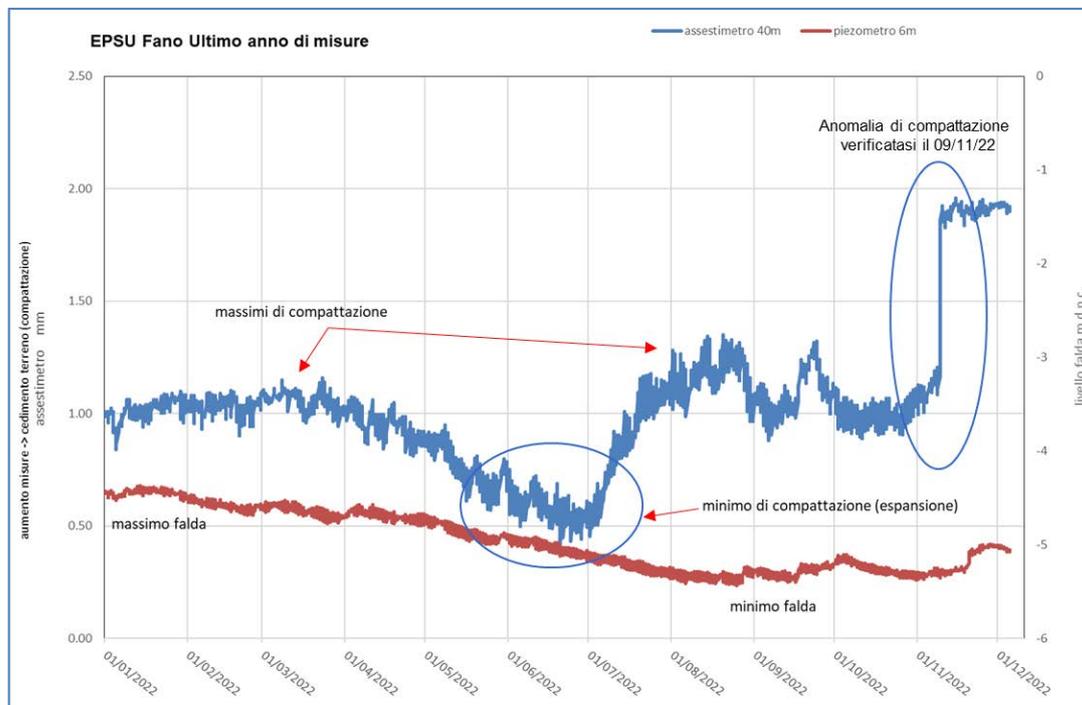


Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati.

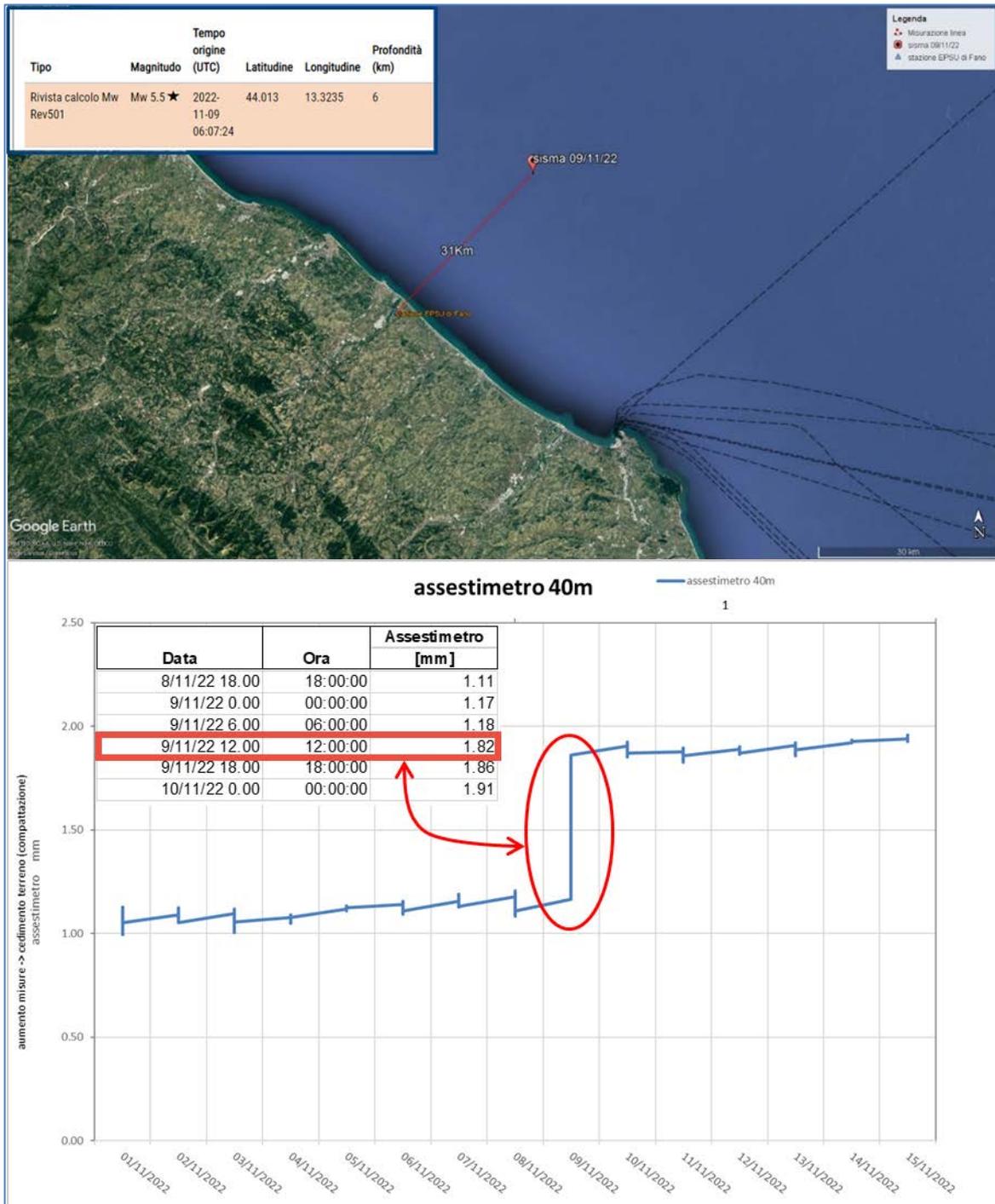


Figura 13B – In alto, ubicazione dell'evento sismico nell'offshore di Fano del 09/11/22 (coordinate ed ora evento da INGV) e in basso relativo comportamento della strumentazione assestimetrica

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 50 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Stazione *EPSU* di FALCONARA (installata ottobre 2008)

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 43° 38' 28.86"N e 13° 21' 23.69"E.

La stazione è ubicata, ad una altitudine di 3.5 ms.l.m., a circa 750 m a sud-ovest della località Marina di Rocca Priora e dal mare Adriatico, lungo la sponda nord (sinistra) del fiume Esino ed all'interno della centrale gas Eni denominata "Falconara".

Strumentazione:

- assestimetro - quota bottom: 40.3 m da p.c.
- piezometro a cella singola - quota cella: 21 m da p.c.

Lo schema della strumentazione messa in opera nella stazione è illustrato nella Figura 14B, mentre la Figura 15B riporta la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico.

La raccolta dati di questa stazione è iniziata il 16 ottobre 2008.

In tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto "lo zero" dei sensori di misura.

L'acquisizione dati è stata fatta con regolarità secondo la seguente frequenza:

- 16 ottobre 2008 -18 maggio 2009: una misura ogni ora;
- 08 maggio 2009 ad oggi: una misura ogni 6 ore.

Nei periodi 07 ottobre 2011- 02 novembre 2011 e 03 dicembre - 13 dicembre 2011 si è avuto un problema d'alimentazione all'apparecchiatura d'acquisizione automatica dei dati, con conseguente mancata registrazione degli stessi. Identico problema si è verificato tra febbraio e aprile 2012; si è perciò sostituito parte dell'hardware del sistema d'acquisizione.

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.

Il 30 novembre 2021 è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio sul piezometro realizzato con Cella Casagrande e doppio tubo di acciaio zincato da 1" ½.

Durante il 2022 si è potuti ritornare ad eseguire i normali controlli periodici, ogni quattro mesi circa, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la relativa taratura di tutti i sensori, nei mesi di marzo, luglio e novembre. Nel 2022 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati.

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 51 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra il piano di campagna (p.c.) e il punto più profondo d'ancoraggio dello strumento (40.3 m da p.c.).

Nel grafico allegato (Figura 16B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici sia quelli assestimetrici. In particolare, la quota piezometrica, ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna, è riportata in metri. Il valore della pressione atmosferica, con cui sono state corrette le piezometrie, è indicato in mbar. 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 del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Come nel caso della stazione di Rubicone, anche per quella di Falconara la variazione nel tempo delle misure assestimetriche è caratterizzata da una curva ad andamento oscillatorio stagionale molto ben correlabile con le variazioni di livello della falda d'acqua, a 22 m di profondità, registrate dal piezometro. Ciò è particolarmente evidente nel grafico relativo all'ultimo anno di misure (Figura 17B), in cui le due curve mostrano un, quasi perfetto, andamento speculare.

L'assestimetro, che reagisce quasi immediatamente all'escursione massima e minima annuale della falda, mostra, inoltre, uno stato del terreno assolutamente stabile nel tempo, cioè senza apprezzabile compattazione. La velocità media annua calcolata con regressione lineare delle misure assestimetriche risulta, infatti, pari a circa 0.1 mm/a (leggera compattazione dello spessore di terreno monitorato).

Analisi dei dati piezometrici

Il grafico di Figura 16B oltre ai dati assestimetrici riporta in ordinate sia la quota piezometrica (m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna, sia il valore della pressione barometrica, utilizzato anche per correggere le piezometrie.

In data 30 novembre 2021, come già detto, è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio sul piezometro realizzato con Cella Casagrande e doppio tubo di acciaio zincato da 1" ½.

Anche in questa occasione sono stati rifatti i controlli dei trasduttori di pressione e il piezometro sottoposto a manutenzione ha risposto in modo positivo durante l'attività di pulizia, risultando integro e perfettamente funzionante.

Nel caso di Falconara il livello della falda nell'ultimo anno è risultato abbastanza alto, circa 1.5 m da p.c. Dato che si sono utilizzati 2 trasduttori di pressione - uno per ogni canna del piezometro Casagrande - si è in grado di controllare l'attendibilità delle misure.

Come già detto, l'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stata effettuata in novembre 2022, il piezometro è da considerarsi affidabile.

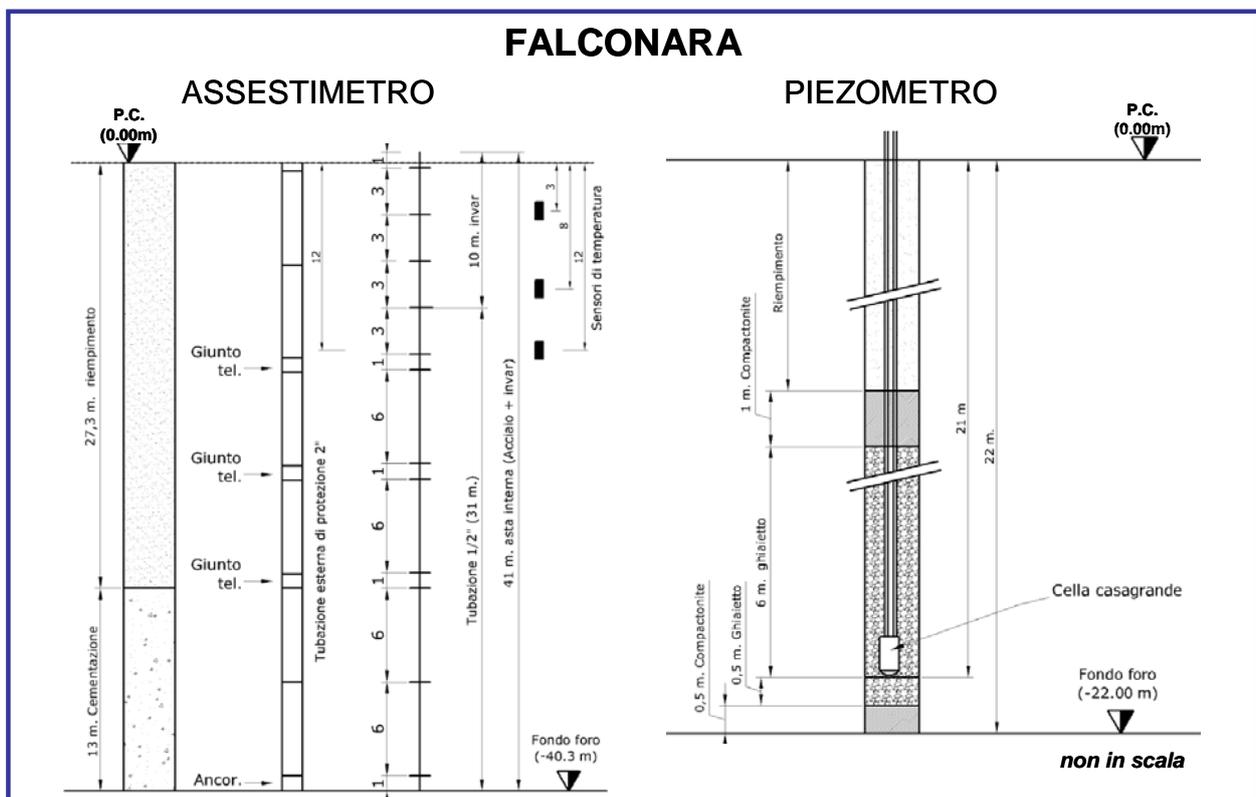


Figura 14B - Stazione della stazione EPSU di Falconara

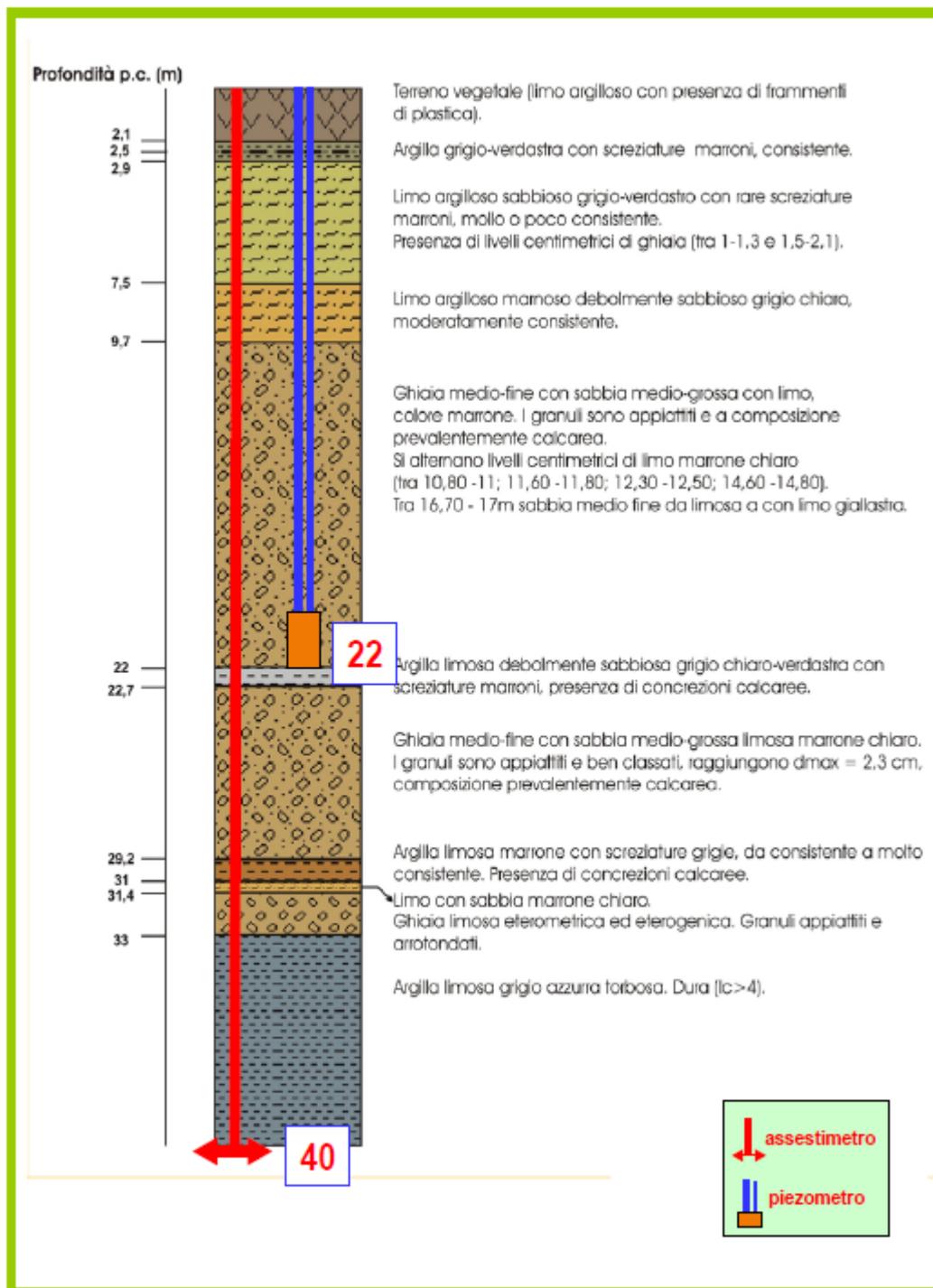


Figura 15B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

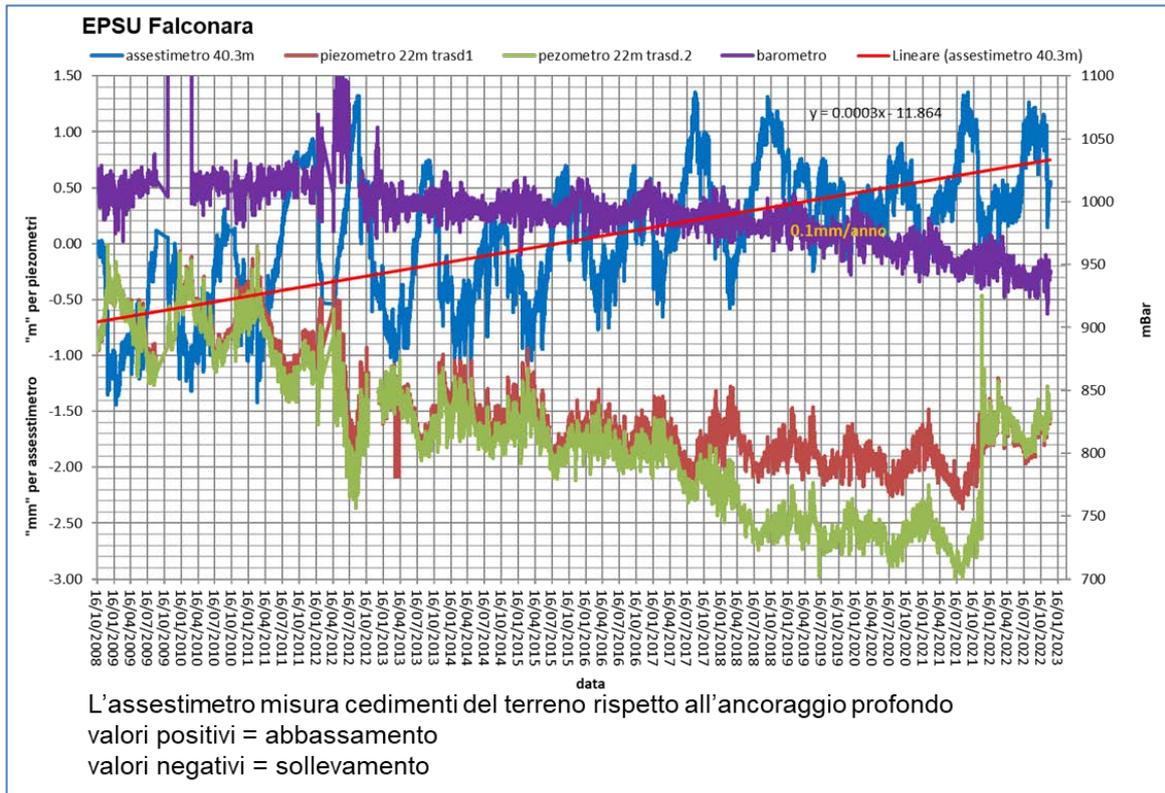


Figura 16B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche-assestmetriche e barometriche.

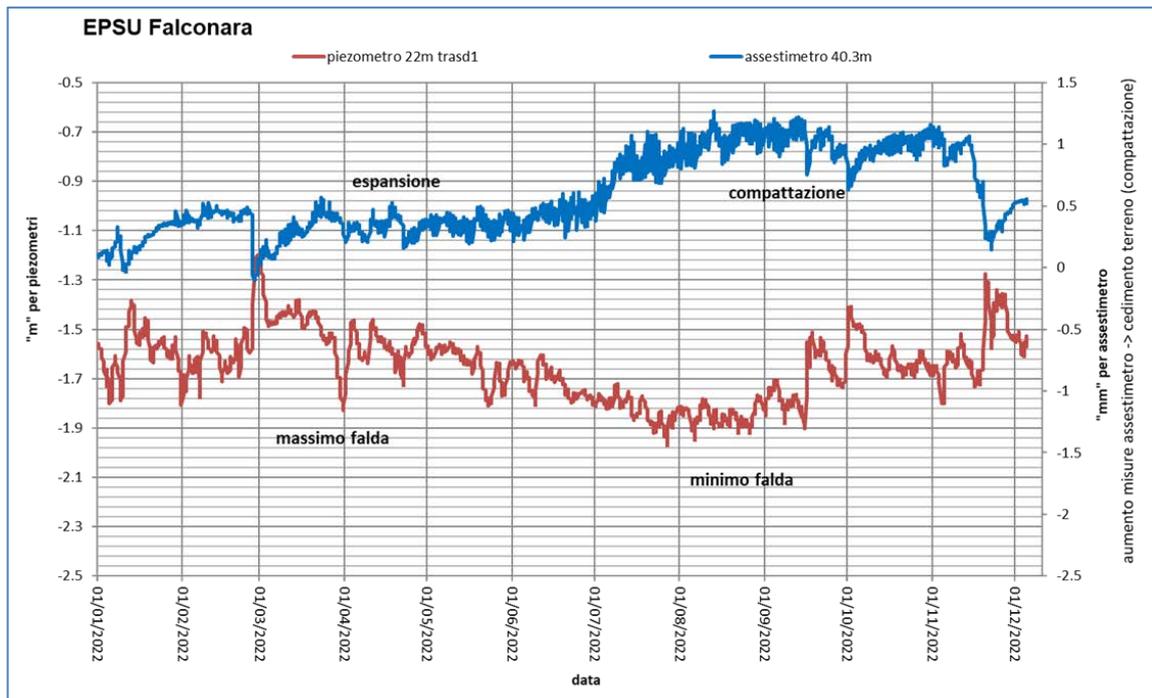


Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestmetriche, ultimo anno di dati

| | | | |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA novembre 2023</p> | <p>Documento GEODCS_REL2023_ALS</p> | <p>Page - 55 - of 56</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Conclusioni

Dall'insieme dei dati sino ad ora raccolti nelle tre stazioni *EPSU* si nota, in generale, una buona correlazione diretta tra l'andamento stagionale della piezometrica ed i cicli di compattazione ed espansione del terreno misurati dagli assestimetri.

Tale correlazione è più evidente nel caso di Falconara, dove il piezometro monitora la falda acquifera superficiale che è più sensibile a tutte le variazioni stagionali di piovosità. Anche nel caso di Rubicone c'è un'ottima correlazione tra i cicli stagionali di compattazione/espansione del terreno monitorati dall'assestimetro e le corrispondenti variazioni di livello delle tre falde, registrate dai piezometri. Le compattazioni massime (contrazioni del terreno), infatti, si hanno all'incirca a settembre/ottobre di ogni anno dopo circa 1 / 1.5 mesi dai minimi livelli di falda; le espansioni massime si verificano, invece, mediamente verso aprile/maggio di ogni anno e a loro volta sono in buona correlazione con i livelli piezometrici massimi delle stesse falde avvenuti nei mesi precedenti. L'assestimetro di questa stazione, essendo il più profondo di quelli installati nelle 3 *EPSU*, è anche quello che registra nel tempo un aumento progressivo della compattazione del terreno monitorato (spessore 320 m). Lo strumento a dicembre 2022, dopo 13.73 anni di funzionamento, misurava, infatti, una compattazione complessiva (rispetto allo zero iniziale) di 44.02 mm, che equivale a una velocità media annua di compattazione pari a circa 3.2 mm/anno. Tale valore resta circa uguale, 2.9 mm/anno, se si calcola il valore della velocità media di compattazione con una regressione lineare. Nel caso di Fano, il trend delle curve piezometrica e assestimetrica è maggiormente influenzato dalla litologia attraversata dai pozzi, litologia maggiormente argillosa che rende meno evidente la correlazione tra andamento stagionale del livello della falda e misure assestimetriche. Infatti, mentre il piezometro monitora le variazioni di livello della falda in uno strato ghiaioso-sabbioso superficiale (max. profondità 6 m dal p.c.), l'assestimetro è ancorato all'interno di uno strato argilloso spesso circa 32 m e più scarsamente comprimibile; lo strumento, infatti, nei circa 14 e più anni (14.21) di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (1.08mm sino agli inizi di novembre), poi il salto di compattazione di circa 1mm scarso, successivo al sisma del 09/11/22 come già precedentemente evidenziato. Dopo tale data, sino a fine anno, la compattazione sembra essere costante intorno all'ultimo valore registrato dopo il

09/11. Allo spessore di litologia argillosa si potrebbero imputare i ritardi nella compattazione espansione del terreno rispetto all' escursione della falda freatica monitorata.

La tabella che segue riporta, per ciascuna stazione, la compattazione complessiva del terreno al 31/12/2022 e la relativa velocità media annua, valutata semplicemente come rapporto fra la misura assestimetrica a fine 2022 e gli anni complessivi di monitoraggio. In questo caso non si è fatta alcuna regressione lineare dei valori della serie storica dell'assestimetro. Questo procedimento potrebbe pertanto, dare risultati non perfettamente uguali, anche se molto simili, a quelli riportati nelle precedenti analisi dei dati assestimetrici. Si noti, altresì, che per le stazioni di Fano e Falconara le misure assestimetriche hanno valori molto piccoli, e che nel periodo d'osservazione non è emersa una tendenza ben definita di compattazione del terreno (valori piccolissimi). In questo caso le medie annuali non si possono considerare veramente significative.

| Sito | Anni di osservazione | Assestimetro profondo | | Assestimetro superficiale | |
|------------------|----------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| | | Spostamento complessivo (mm) | Velocità (mm/a) | Spostamento complessivo (mm) | Velocità (mm/a) |
| Rubicone | 13.73 | 44 | 3.2 | n.i. | - |
| Fano | 14.21 | n.i. | - | 1.92 | n.v. |
| Falconara | 14.21 | n.i. | - | 0.52 | n.v. |

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile