

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</p>	<p>Page - 1 - of 56</p>
---	---	---	-------------------------

Campo di ELETTRA

Aggiornamento al 31/12/22



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	- 5 -
6	Modellistica previsionale di subsidenza	- 5 -
7	Modellistica previsionale di subsidenza - approfondimento	- 6 -
8	Survey Batimetrici	- 7 -
9	Monitoraggi altimetrici onshore e offshore	- 8 -
9.1	9.1 Livellazione	- 8 -
9.2	9.2 CGPS (Continuous GPS)	- 11 -
10	SAR (cfr. Appendice A)	- 14 -
11	SSU / EPSU (cfr. Appendice B)	- 14 -
12	Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio CGPS	- 15 -
13	Conclusioni	- 15 -
14	Appendice A: Analisi dei dati satellitari (2012-2022) lungo la fascia costiera compresa tra Porto Tolle (RO) e Ortona (PE)	- 26 -
15	Appendice B: Monitoraggio della compattazione superficiale (agg. 2022) lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - giacimenti di Regina, Anemone, Naide, Annalisa, Annamaria, Barbara NW, Fauzia, Clara Est-Clara NW, Calipso, Calpurnia, Clara Nord, Elettra, Bonaccia-Bonaccia NW.	- 32 -

 Eni spa	Campo di ELETTRA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ELE	Page - 3 - of 56
--	-----------------------------------	---------------------------------	------------------

1 Introduzione

Il campo di Elettra è situato nella concessione B.C23.AG (Eni 100%) della zona "B" dell'off-shore Adriatico a circa 53 Km dalla costa marchigiana come evidenziato in Figura 1.

In quest'area la profondità media del fondale è di circa 80 m.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
B.C23.AG	21/09/26	Eni	Eni	100%	MARCHE

2 Assetto geologico - minerario

Il campo è stato scoperto nel 1995 con la perforazione del pozzo esplorativo Elettra 1, che ha raggiunto la profondità di 1325 m risultando mineralizzato a gas in numerosi livelli sabbiosi pleistocenici della Formazione Carola (Figura 2). La struttura di Elettra è costituita da una blanda anticlinale con asse principale orientato Nord-Sud.

I livelli di spessore variabile da 0.4 m a circa 6 m, sono caratterizzati dalla presenza di sistemi canalizzati (lobi e canali) e da sistemi torbiditici a strati sottili.

3 Iter autorizzativo e sviluppo del giacimento

Nel 2003 è stato perforato il pozzo *appraisal* Elettra 2 che è risultato mineralizzato a gas tra circa 770 e 1130 m nella Formazione Carola. Il pozzo aveva lo scopo di verificare i contatti (GWC e GDT) e l'estensione dei livelli a gas scoperti con il pozzo esplorativo, ma ha trovato mineralizzati solo 13 dei 29 livelli mineralizzati in Elettra 1.

Entrambi i pozzi (Elettra 1 ed Elettra 2) sono stati chiusi e abbandonati.

Il giacimento è stato sviluppato nel periodo aprile-agosto 2014, perforando dalla piattaforma Elettra il pozzo Elettra 3. Il campo è stato posto in produzione ad agosto 2014.

I cinque livelli principali, in termini di volumi di gas in posto sono: PLQ1-Abis, PLQ1-Cbis, PLQ1-AEbis, PLQ1-AE1 e PLQ1-FI1 per un GOIP complessivo di 595 MSm³ (*rel. GISE 26/10 dell'agosto 2010*). La previsione di produzione per lo scenario di riferimento stima in 470 MSm³ il volume cumulativo di gas producibile in 12 anni per un fattore di recupero, quindi, del 79%.

Per la sua posizione geografica, il campo di Elettra è stato incluso nel complesso costituito dai campi del "*Clara Complex*" (Clara Est-NW, Clara Nord, Calpurnia) e dal campo di Calipso per quanto riguarda l'esecuzione di studi di giacimento, di previsioni di subsidenza e del complesso dei monitoraggi.

 Eni spa	Campo di ELETTRA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ELE	Page - 4 - of 56
--	-----------------------------------	---------------------------------	------------------

Nel 2010, nell'ambito della documentazione tecnica (SIA) preparata per l'istanza concernente il progetto di sviluppo di Elettra, si è realizzato, pertanto, un unico modello geomeccanico integrato con i sopracitati campi del *Clara Complex* e di *Calipso*, al fine di valutare eventuali interazioni di tipo idraulico e/o meccanico fra gli stessi e prevederne l'eventuale subsidenza indotta dalla loro coltivazione.

Tale previsione è stata fatta con il modello FEM Isamgeo relativamente a tre diversi scenari di compressibilità (rel. *Eni-Tera: Campi del Clara Complex, Calipso ed Elettra - Modello Elasto-Plastico di Subsidenza-Management Summary - agosto 2010*).

Le simulazioni con modello sono state protrate fino al 2054 onde tener conto degli effetti dell'evoluzione della pressione nelle zone mineralizzate e in acquifero dopo la fine della produzione. Per lo scenario di riferimento (C_m_Med), ritenuto il più probabile, la subsidenza massima prevista per Elettra è stata stimata in 16 cm al 2054. Per quanto riguarda la distanza dalla costa della curva d'iso-subsidenza di 2 cm, corrispondente alla massima estensione del cono di subsidenza relativo ai 5 campi, è risultata essere di circa 32 km.

Nel 2013 è stato nuovamente aggiornato il modello dinamico di giacimento (rel. *Eni-GISE-11/2013_Clara Complex-Aggiornamento modello di giacimento per modello geomeccanico - Scheda riassuntiva - aprile 2013*). Nel caso di Elettra tale revisione ha portato a un profilo di produzione con riserve producibili pari a 470 MSm³ al 2026.

Nel 2017 è stato eseguito uno studio di giacimento integrato che ha rivisto sia il modello statico che dinamico dei giacimenti dell'area del Clara Complex, Calipso ed Elettra (*Eni-IPET-8056D689-0 - Clara Complex – Aggiornamento Studio di Giacimento per geomeccanica - Scheda integrativa- dicembre 2017*) che aggiorna le riserve di Elettra a 536 MSm³ producibili al 2030.

Sulla base della nuova revisione del modello di giacimento si è aggiornato anche il modello geomeccanico (rel. *Eni-EORG 07/2017: Campi del Clara Complex, Calipso ed Elettra - Modello Elasto-Plastico di Subsidenza-Management Summary - dicembre 2017*). simulando 3 diversi scenari di produzione. I risultati dello studio hanno mostrato, per il campo di Elettra, un valore di subsidenza massima di 11 cm al 2030 (fine produzione), stabile fino a fine simulazione (2061). Per tutti gli scenari considerati nello studio, inoltre, la massima estensione della subsidenza prevista - corrispondente alla curva di iso-subsidenza dei 2 cm - si mantiene a oltre 29 km dalla costa e dalla città di Ancona, per l'intera durata della simulazione di tutti gli scenari di produzione considerati.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</p>	<p>Page - 5 - of 56</p>
---	---	---	-------------------------

4 Ultimi aggiornamenti modellistici e storia produttiva

Nel corso del 2021 è stato finalizzato un nuovo aggiornamento dei precedenti modelli di giacimento (*Campi di Clara Complex - Aggiornamento dello Studio di Giacimento per studio Geomeccanico. Scheda riassuntiva., Rel. IPET-2F0DE718-0 - dicembre 2021*) con una diminuzione delle riserve, producibili al 2027, valutata a 479 MSm³.

In Figura 3 è riportato l'andamento storico della produzione di gas del campo (kSm³/g) e di acqua (m³/g). In Figura 4, Figura 5 e Figura 6 è riportato, invece, il confronto tra la produzione reale annuale e cumulativa e quella prevista dal modello Eclipse 2021.

Al 31/12/2022 la produzione cumulativa del campo è pari a 432 MSm³.

In Figura 7 è presentato il confronto tra i profili di pressione calcolati da modello *Eclipse* 2021 e le misure di pressione registrate nei livelli PLQ1-Abis+C+Cbis che evidenzia un buon match tra le previsioni modellistiche e 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

Il nuovo studio di giacimento (*Campi di Clara Complex-Aggiornamento dello Studio di Giacimento per studio Geomeccanico. Scheda riassuntiva, Rel. IPET-2F0DE718-0 - dicembre 2021*) è stato utilizzato per un ulteriore aggiornamento del modello geomeccanico (*rel. Eni-IPET-89477285-0: Campi del Clara Complex, Calipso ed Elettra Modello Elasto-Plastico di Subsidenza - Management Summary-dicembre 2021*).

Per le simulazioni del modello geomeccanico (estese fino al 2050) si sono considerati 2 diversi scenari di produzione per i campi del Clara Complex, Calipso ed Elettra (non è comunque prevista un'ulteriore produzione dal campo di Calpurnia):

- **DO NOTHING (DN):** prevede di proseguire lo sviluppo dei giacimenti senza ulteriori interventi;
- **FD:** considera la messa in produzione di un nuovo pozzo nel campo di Calipso e lo sviluppo degli altri giacimenti senza ulteriori interventi.

I risultati mostrano, per il campo di Elettra, un valore di subsidenza massima di 27 cm al 2041, stabile fino a fine simulazione (2050).

Per tutti gli scenari considerati nello studio, la massima estensione della subsidenza prevista, corrispondente alla curva di iso-subsidenza dei 2 cm, anche per il periodo 2021-2050 ad oltre 30 km dalla costa e dalla città di Ancona.

In Figura 8 è mostrata l'evoluzione nel tempo, rispettivamente della linea dei 2 cm e della subsidenza prevista su Elettra, per entrambi gli scenari (DN e FD).

La Tabella 1 riporta per i cinque campi e per lo scenario di *forecast* FD, i valori massimi di subsidenza ottenuti e le date alle quali si conseguono.

Tabella 1– Valori massimi previsti di subsidenza alle date sotto indicate

	Clara Est	Clara Nord	Calipso	Calpurnia	Elettra
2021	0.31	0.48	0.28	0.17	0.12
2026	0.52	0.44	0.79	0.16	0.21
2031	0.73	0.43	1.09	0.15	0.24
2041	0.99	0.41	1.13	0.14	0.27
2050	1.12	0.39	1.13	0.14	0.27

7 Modellistica previsionale di subsidenza - approfondimento

Il fatto che tutti gli studi geomeccanici sino ad ora eseguiti per valutare i possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra i campi dell'area in esame concordino nel prevedere che il fenomeno della subsidenza si esaurisca a grande distanza dalla costa (circa 30 km), ha una spiegazione nel particolare assetto geologico dell'area stessa, come del resto già accennato in precedenza.

Tale assetto, rappresentato nello *sketch* stratigrafico-strutturale di Figura 9 e basato su un'interpretazione sismica controllata con dati di pozzo, definisce uno schema di rapporti verticali e laterali tra le formazioni che costituiscono i giacimenti (*reservoir* e copertura) e il substrato che limitano l'estensione del fenomeno subsidenziale verso costa.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</p>	<p>Page - 7 - of 56</p>
---	---	---	-------------------------

Infatti, lungo la direttrice esaminata (WSW-ENE) in direzione della costa, i livelli mineralizzati si chiudono per limite deposizionale in onlap sui livelli argillosi della F.ne Santerno che rappresenta un'importante barriera idraulica verso costa.

Il substrato dell'offshore anconetano presenta, inoltre, una successione carbonatica pre-pliocenica posta talora a poche centinaia di metri di profondità - (pozzo Brezza1) che localmente affiora sulla costa (promontorio M.te Conero) in corrispondenza di alti strutturali appenninici, mentre la successione terrigena di copertura è relativa a intervalli stratigrafici differenti dalle zone *reservoir* del *Clara Complex* e campi limitrofi. Tutto ciò limita sensibilmente la possibilità che si possa verificare una depressurizzazione e conseguente compattazione dei sedimenti sulla costa e nelle fasce antistanti al litorale.

E', pertanto, del tutto comprensibile, che:

- sia per la presenza di tale barriera idraulica di tipo sedimentologico-strutturale interposta tra il complesso dei giacimenti in esame e la costa,
- sia per l'elevata distanza dei giacimenti stessi dalla costa (ad es. 45 km per Clara Est e 53 km per Elettra),

in tutte le previsioni il fenomeno di subsidenza si esaurisca rapidamente in direzione della costa e, quindi, la distanza del cono di subsidenza dalla costa stessa risulti elevata (almeno 30 km).

8 Survey Batimetrici

Tra la fine del 2007 e l'inizio del 2008 è stato eseguito un rilievo batimetrico *multi-beam* di un'area (1662 km²) comprendente i campi del *Clara Complex*, Calipso ed Elettra (Figura 10). Tale rilievo, che rappresenta di fatto l'assetto batimetrico del fondale nell'area di Elettra antecedente lo sviluppo del campo (2014), mostra in questo settore un andamento molto articolato e decisamente irregolare del fondale marino, con la presenza di una ripida scarpata morfologica che ribassa tutto il settore sud-orientale del rilievo. Tale assetto morfologico non consente di evidenziare in modo chiaro alcuna anomalia batimetrica significativa riconducibile alla subsidenza indotta dalla coltivazione dei vicini campi del Clara Complex e Calipso (rel. *Eni-Università di Urbino dell'agosto 2008 trasmessa a MATTM in data 11/11/2008 - prot. UGIT ET/mv 1410*).

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</p>	<p>Page - 8 - of 56</p>
---	---	---	-------------------------

9 Monitoraggi altimetrici onshore e offshore

9.1 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 supervisor 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 e Rubicone).

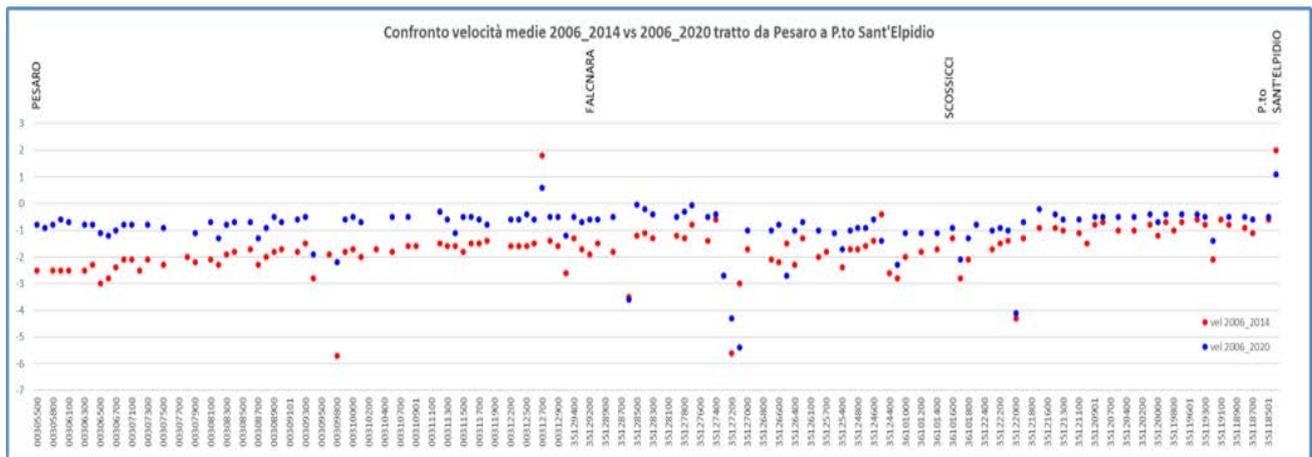
Tali stazioni costituiscono una serie di capisaldi di origine omogenea, che consentono di ottenere misure di quota fra loro consistenti.

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 - Porto Sant'Elpidio/Porto S. Giorgio e Marche-Abruzzi.

Nel tratto di costa da Pesaro a P.to San Giorgio, antistante alla piattaforma di Elettra, con l'acquisizione della campagna 2020 sono in totale disponibili 8 campagne di livellazione fatte negli anni 2006, 2007, 2008, 2009, 2011, 2014, 2017 e 2020. I dati rilevati rappresentano, sebbene per valori molto bassi, un trend di generale abbassamento della zona analizzata.

Il grafico che segue (Figura A), riporta per confronto le serie storiche 2006-2014 e 2006-2020 elaborate nel tratto da Pesaro a Porto Sant'Elpidio - Porto S. Giorgio 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 valore diverso, si attesta intorno ai 2 mm/anno nella zona tra Pesaro e Scossicci e intorno ai 0,5 mm/anno nella zona tra Scossicci e Porto Sant'Elpidio.

Figura A – Tratto Pesaro – Porto S. Elpidio: velocità medie di subsidenza nei periodi 2006-2014 e 2006-2020. L'andamento altimetrico rappresentato si riferisce al tratto di costa antistante i campi di Barbara, Bonaccia, Calipso, Calpurnia, Clara, Elettra e Fauzia.



Nei prossimi anni, con nuove campagne di misura e con il consolidamento dei dati CGPS e dei rilievi SAR, sarà possibile fare interpretazioni più puntuali dei dati di livellazione anche per il tratto a sud di Pesaro.

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.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</p>	<p>Page - 10 - of 56</p>
---	---	---	--------------------------

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 2006-2014, mostra un trend di generale abbassamento di questo tratto di costa, per valori di velocità media, come detto, molto contenuti: il 2% dei punti ricade nella classe “0”, il 93% nella classe 1, il 4% nella classe 2 e, infine, meno dell’1% nella classe 3.

Nel periodo 2006-2020, la distribuzione delle velocità secondo la classificazione proposta, mostra, per quanto possibile, dati i valori molto piccoli, il rallentamento delle velocità di subsidenza. Infatti: il 2% dei punti ricade nella classe “0”, il 94% nella classe 1, il 3% nella classe 2 e meno dell’1% nella classe 3.

I capisaldi per i quali si osservano alte velocità d’abbassamento (es. 5.4 mm/a sul CS 35127100 nell’entroterra di Ancona), oppure fenomeni d’innalzamento del suolo (es. nella zona di P.to Sant’Elpidio) sono scarsi di numero e isolati: sono, quindi, poco significativi dal punto di vista areale. Non si possono escludere a priori fenomeni localizzati dovuti a instabilità dei capisaldi stessi, che saranno comunque oggetto di verifica nelle prossime campagne di misura. Il confronto tra i dati CGPS delle stazioni ubicate nell’area in esame (Fano, Falconara e P.to San Giorgio), con le misure delle livellazioni dei capisaldi prossimi ad essi, mostra andamenti che, fatte salve le diverse precisioni in termini di ripetibilità, sono assolutamente compatibili. 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

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 ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</p>	<p>Page - 11 - of 56</p>
---	---	---	--------------------------

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.

9.2 CGPS (Continuous GPS)

Come già precedentemente accennato, le attività di monitoraggio altimetrico onshore e offshore, sono state progressivamente potenziate mettendo in opera un numero crescente di stazioni CGPS sia sulle piattaforme offshore operate da Eni sia in specifici siti minerari Eni onshore. La postazione CGPS di Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002 mentre le stazioni CGPS di Naide e PCC sono operative dal luglio 2005.

Nel 2007 sono stati installati i CGPS sulle piattaforme di Regina e Calpurnia (giugno 2007), di Anemone B (agosto 2007), di Annalisa (ottobre 2007), di Calipso, Tea-Lavanda-Arnica, Clara Est e Clara Nord (novembre 2007), di Barbara NW (gennaio 2008), di Bonaccia (febbraio 2008), di Annamaria A e Annamaria B (gennaio 2010), di Clara W (ottobre 2010) e di Guendalina (agosto 2011). In tempi più recenti sono state installate anche le nuove stazioni CGPS di Elettra (luglio 2014), di Fauzia (settembre 2014), di Barbara E (novembre 2014), di Bonaccia NW (settembre 2015), e, infine di Clara NW (marzo 2016).

A terra, nel tratto di costa compreso tra Comacchio e Ortona sono state installate nel 2002 alcune stazioni CGPS quali Smarlacca (Valli di Comacchio), Spinaroni (Lidi Nord di Ravenna) e Fiumi Uniti (Lidi Sud di Ravenna).

Successivamente nel corso del 2007 si è completata la stazione di Rubicone e quindi nel corso del 2009 si sono installate 4 stazioni CGPS in Ortona, Pineto, Grottammare e P.to Sant'Elpidio, quest'ultime tutte equipaggiate con 2 bersagli *radar* e con un caposaldo di livellazione. Allo stato attuale, tuttavia, la stazione di Ortona non è più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area. Nel novembre 2016 è stata, quindi, messa in opera una nuova postazione CGPS a Miglianico completata con i *corner reflector* nel mese di maggio 2017. Nel corso del 2018, sono state, infine, installate due ulteriori nuove postazioni CGPS, entrambe nella configurazione S.S.U. (Satellite Survey Unit) di Pomposa (ACPO) a settembre 2018 e di Po di Tolle (POTO) a luglio 2018.

Analogamente a quanto avviene per le livellazioni, anche i dati del monitoraggio CGPS sono validati da un ente esterno. Attualmente questa attività è svolta dall'Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM. I dati CGPS, acquisiti sulla piattaforma Elettra e nel tratto di costa antistante il giacimento (CGPS di Fano a nord e Falconara 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. Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2022 (Figura 11), si sono utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati come mostrato in Tabella 2.

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

Stazione	Dati Non Certificati			Dati Certificati			Delta (Non Cert. - Cert.)		
	Vel-N 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
Elettra	13.52	23.24	-13.18	13.57	23.37	-13.29	-0.05	-0.13	0.11

A questo proposito è opportuno precisare che l'analisi e l'interpretazione degli andamenti nel tempo delle misure altimetriche CGPS, da utilizzarsi per una verifica/taratura dei modelli previsionali di subsidenza, non possono essere considerate sufficientemente attendibili per dataset relativi a periodi di osservazione inferiori ai 36 mesi, come indicato dall'Ente che certifica i dati. L'Ente certificatore, infatti, verifica e valida i dati registrati al fine d'avere un numero sufficiente d'osservazioni per il corretto inquadramento delle componenti periodiche, della loro incidenza sulle misure e poter filtrare il "rumore" che per piccole velocità di subsidenza è dello stesso ordine di grandezza del valore del fenomeno fisico osservato.

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

 Eni spa	Campo di ELETTRA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ELE	Page - 13 - of 56
--	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

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

Per il campo di Elettra, la serie di misure disponibili supera i 36 mesi e nell'ipotesi di linearità del fenomeno deformativo ci consente di stimare la velocità di subsidenza totale² in circa -10.96 mm/a (Figura 11 e Figura 12) in diminuzione rispetto al valore riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-13.18 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'andamento temporale di tale *dataset* di misure CGPS, inoltre, si possono osservare alcune variazioni di velocità, che sono ben correlabili con corrispondenti periodi della storia produttiva del campo (Figura 13).

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

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</p>	<p>Page - 14 - of 56</p>
---	---	---	--------------------------

In particolare:

- la velocità media di subsidenza totale è di circa -26.93 mm/a nel periodo luglio 2014 (installazione del CGPS) - luglio 2017;
- la velocità media di subsidenza totale è di circa -4.72 mm/a nel periodo luglio 2017 – 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.

10 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 -0.17 ± 1.0 mm/a. Il campo ricade nella maschera Fano-Ancona, non è stato necessario calibrare il dato InSAR con il dato CGPS (vedi Appendice A).

11 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 assestometrico-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.

 Eni spa	Campo di ELETTRA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ELE	Page - 15 - of 56
--	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

12 Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio CGPS

Si sono, poi, confrontate le previsioni di subsidenza del modello geomeccanico del 2021 con le misure di subsidenza totale rilevate dal CGPS, senza che queste ultime siano state depurate dalla componente di subsidenza naturale.

Per il campo di Elettra si può notare come le previsioni modellistiche forniscano nell'ultimo periodo valori di subsidenza superiori e conservativi rispetto al dato reale misurato dal CGPS (Figura 15).

13 Conclusioni

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza e i monitoraggi fatti da Eni consentono di escludere che l'eventuale subsidenza indotta dalla produzione di gas dai campi del *Clara Complex*, dal campo di Calipso e dal campo di Elettra possa avere qualche impatto sull'andamento altimetrico del tratto di litorale monitorato.

Si segnala, infine, che:

- a) in Figura 16 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 17 è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.



Figura 1 - Ubicazione del campo di Elettra

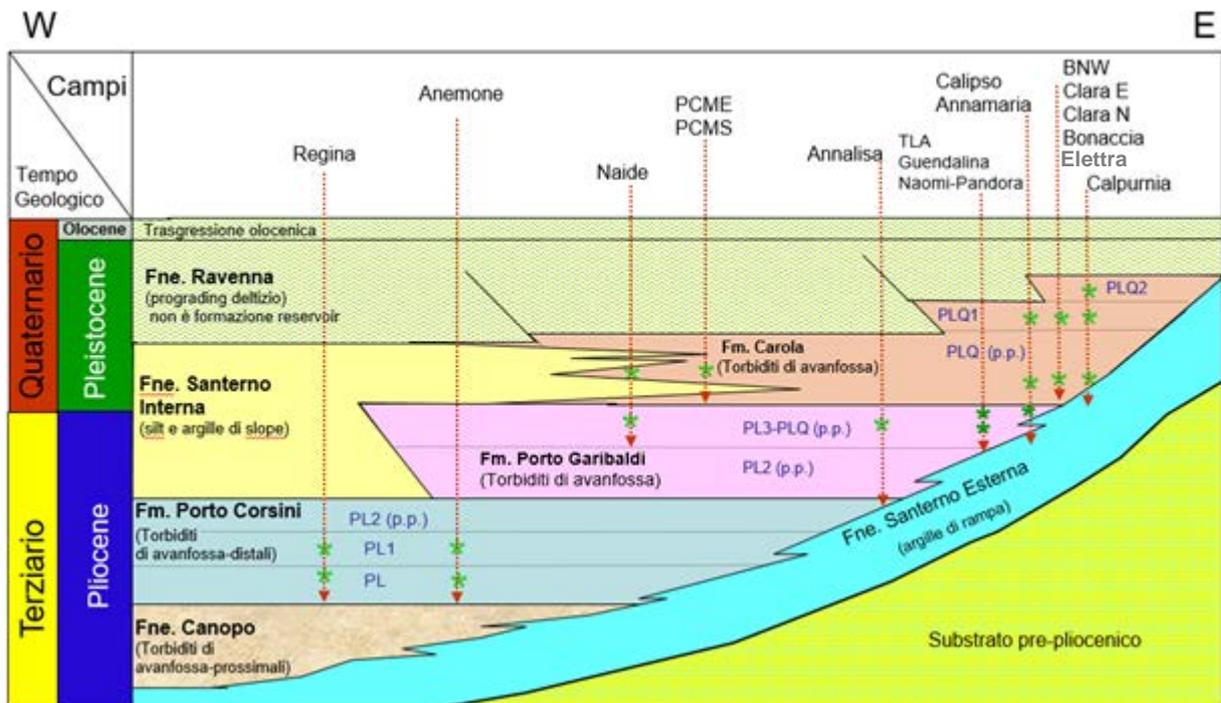


Figura 2 - Bacino Adriatico settentrionale: esempio di schema dei rapporti stratigrafici e dei principali reservoir (*) sviluppati dai campi

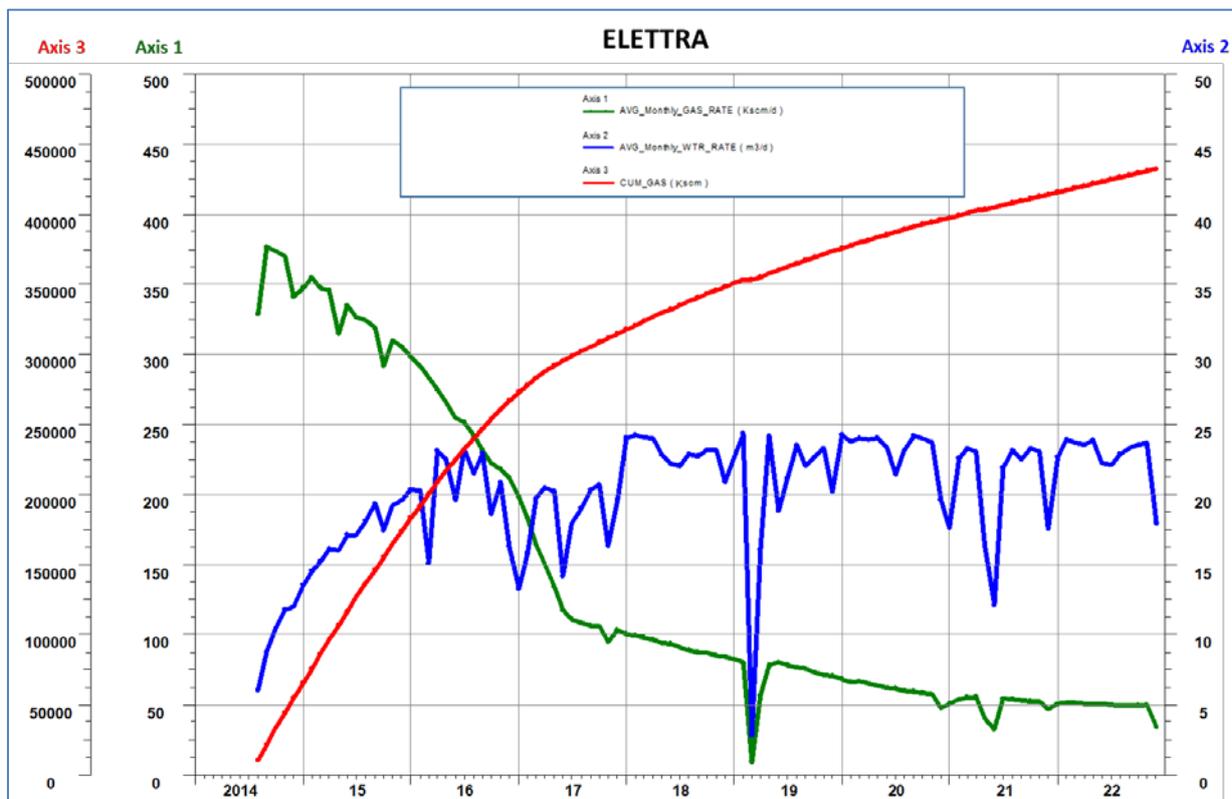


Figura 3 - Campo di Elettra: produzione storica

CAMPO DI ELETTRA					
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	
2014	55	55	55	55	11%
2015	119	119	174	174	36%
2016	93	93	267	267	56%
2017	48	48	315	315	66%
2018	34	34	348	348	73%
2019	25	25	374	374	78%
2020	22	22	396	396	83%
2021	18	18	414	414	87%
2022	18	16	432	430	90%
2023		14		444	
2024		12		456	
2025		10		465	
2026		9		474	
2027		5		479	

Figura 4 - Campo di Elettra: produzioni reali e da modello *Eclipse* 2021

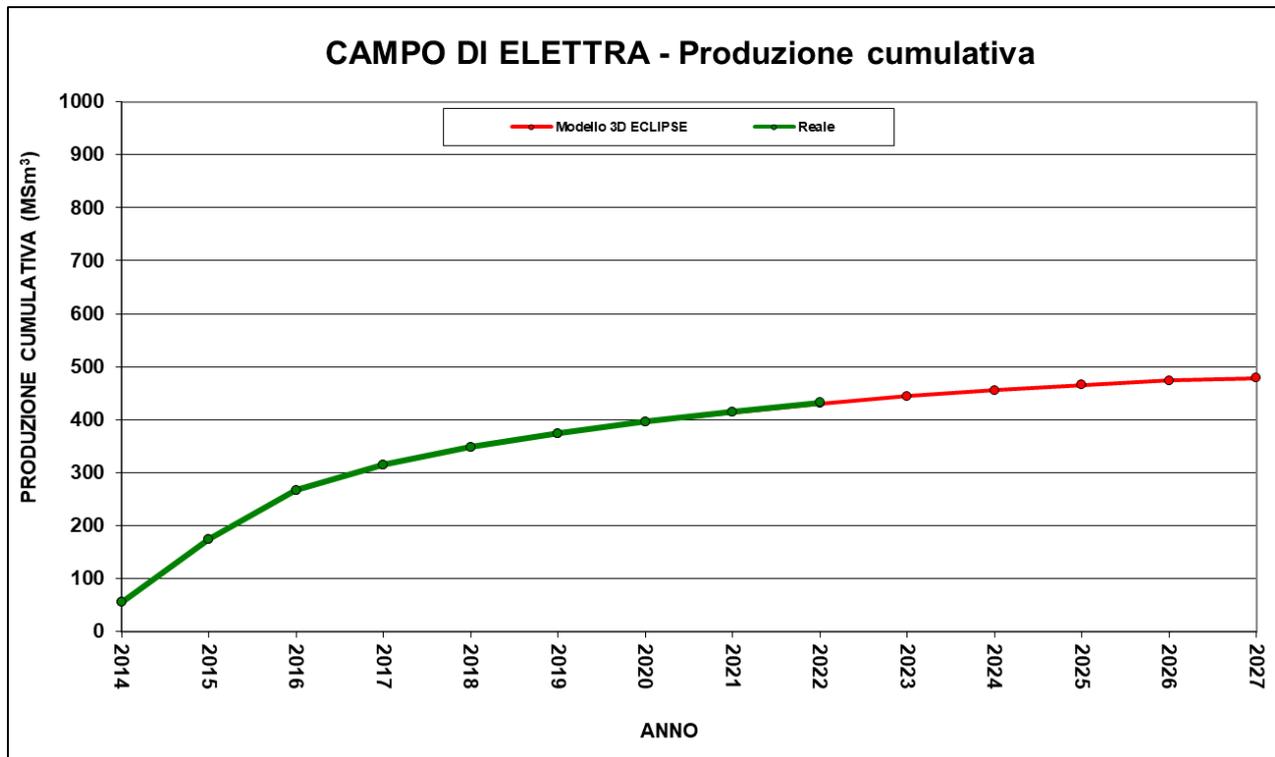


Figura 5 - Campo di Elettra: produzione reale e da modello *Eclipse* 2021

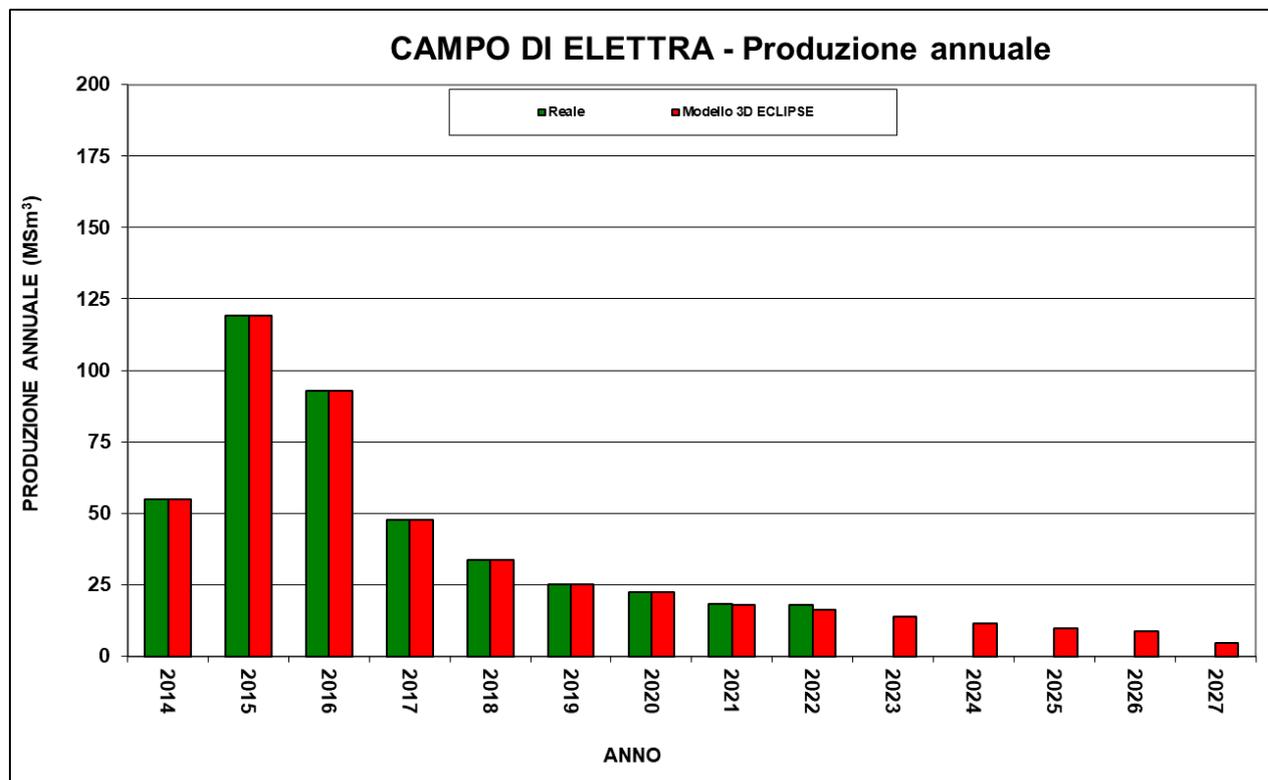


Figura 6 - Campo di Elettra: produzione (annuale) reale e da modello *Eclipse* 2021

CAMPO DI ELETTRA			
Data	Livelli PLQ1-Abis+C+Cbis		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
04/04/2003	85*	2	
30/10/2016	74		3 C
24/12/2017	74		3 C
17/07/2018	75		3 C
26/11/2019	76		3 C
23/05/2022	77		3 C

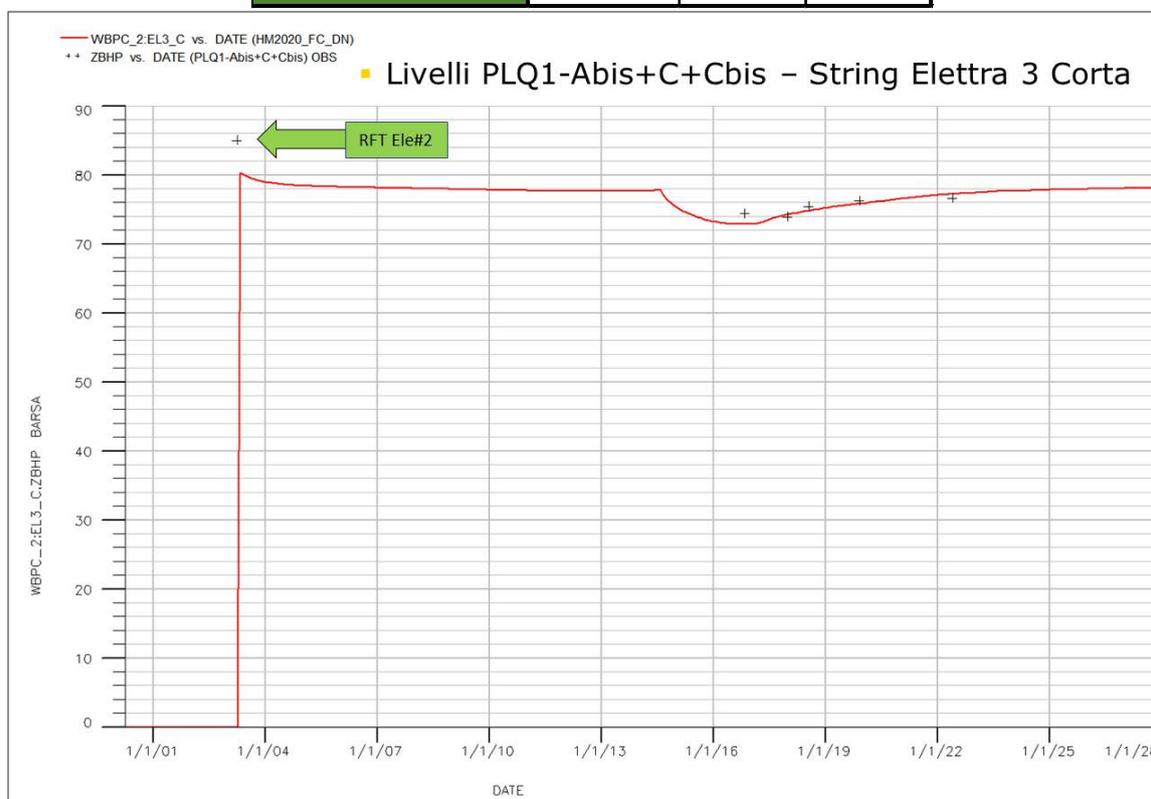


Figura 7 - Campo di Elettra: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2021 (liv. PLQ1-Abis+C+Cbis)

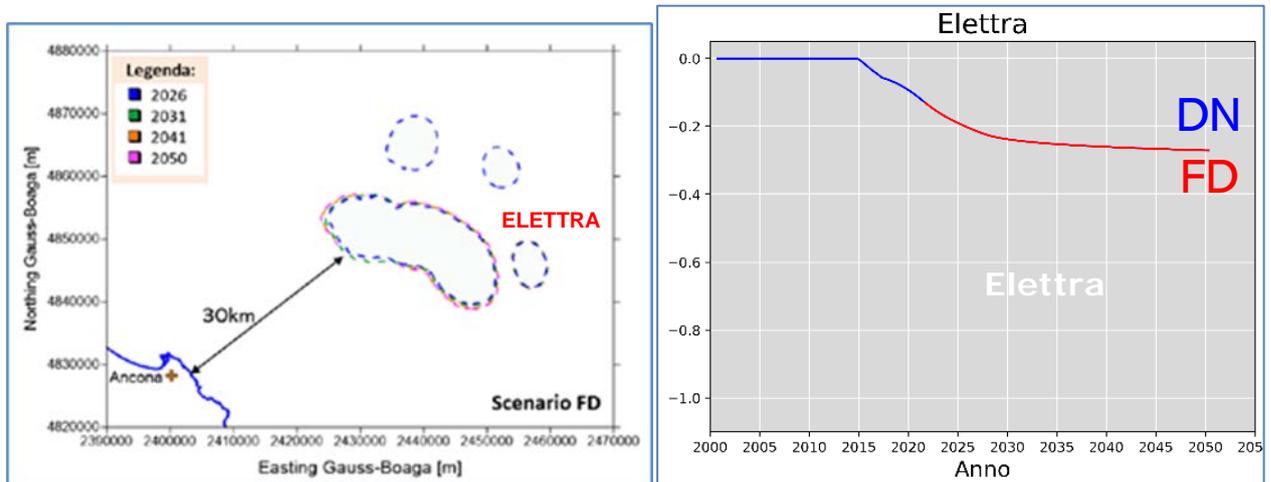


Figura 8 - Campo di Eletttra: A sx: mappa con l'evoluzione della linea di iso-subsidenza 2 cm nel periodo 2021-2050 per lo scenario FD. La distanza minima resta pari o superiore ai 30km, e rimane pressochè invariata per l'intera durata del periodo. A dx : evoluzione della subsidenza in corrispondenza della p.ma Eletttra nei due scenari considerati (DN e FD).

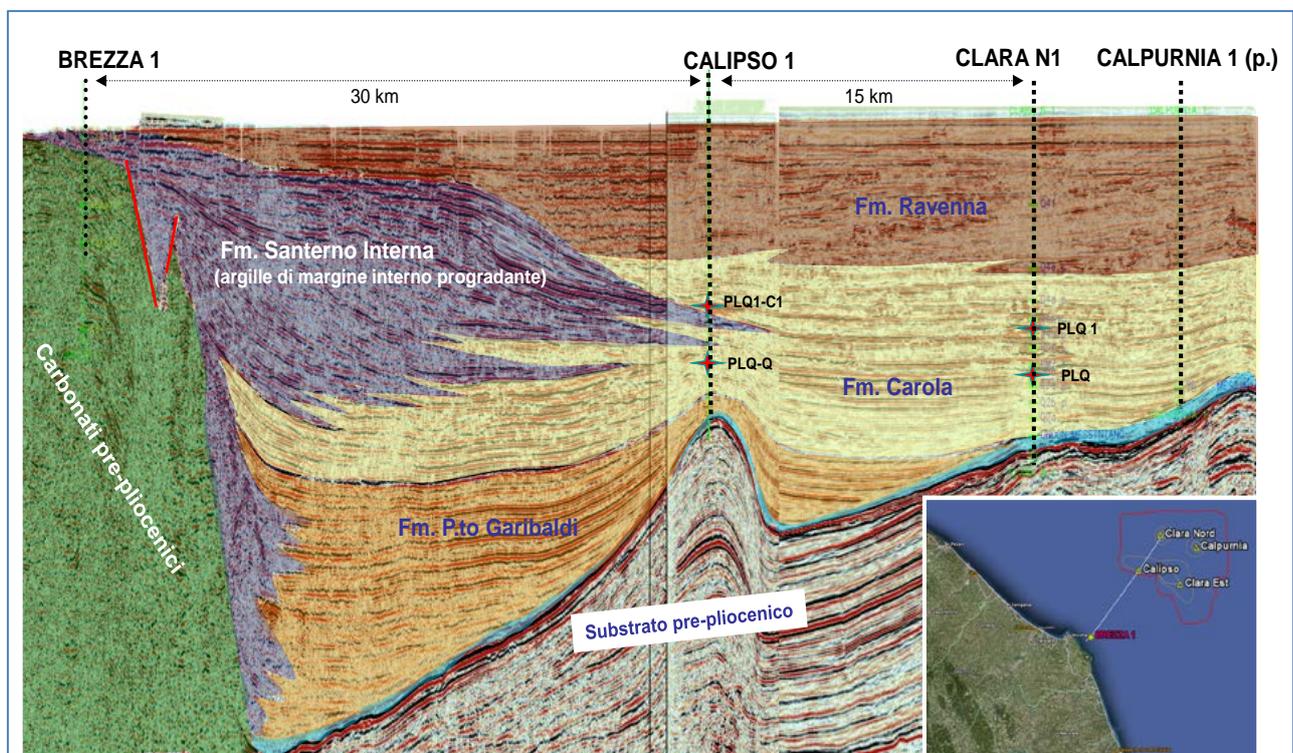


Figura 9 - Clara Complex e Calipso: sezione sismica interpretata

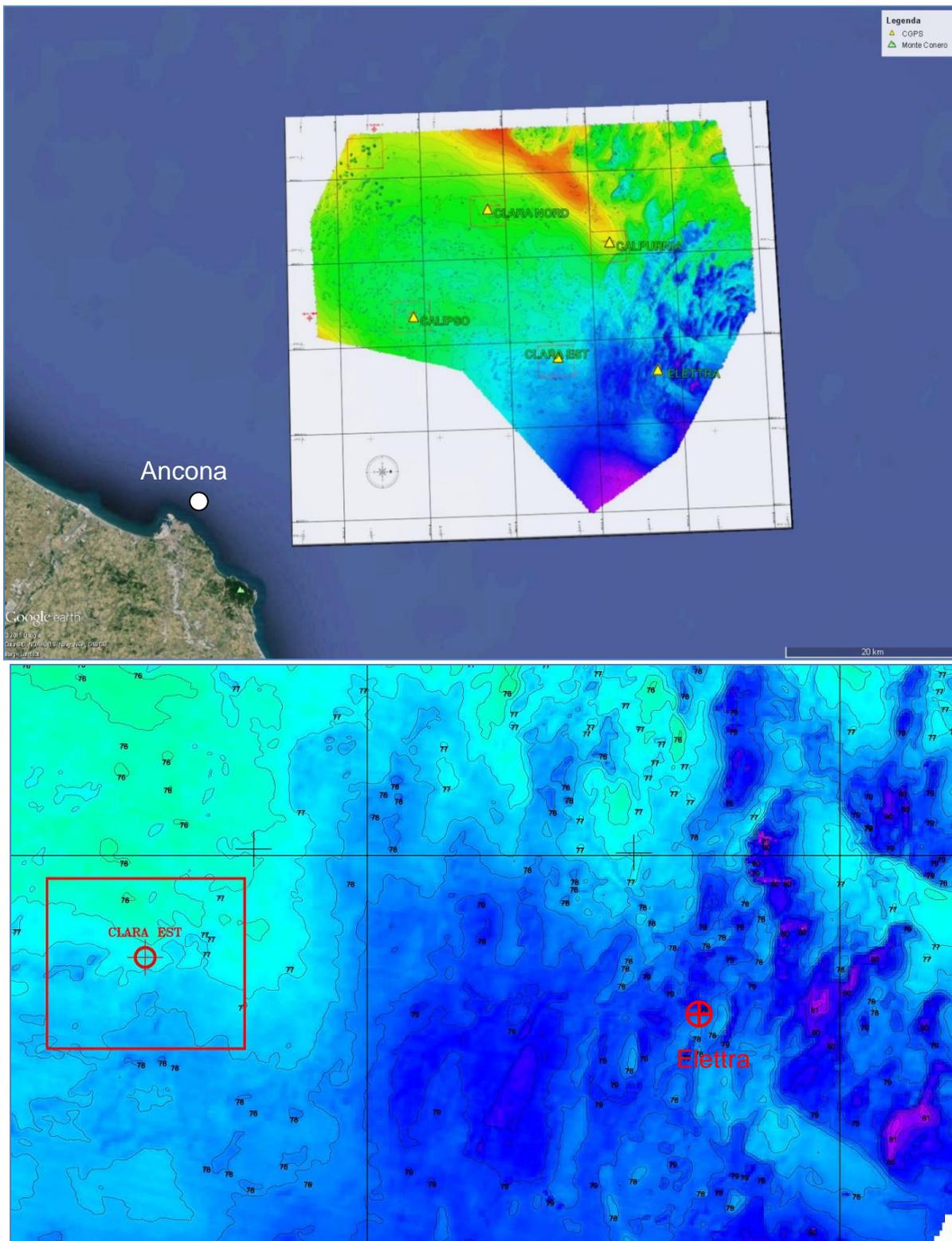


Figura 10 - Clara Complex, Calipso ed Elettra – rilievo batimetrico del 2007-2008

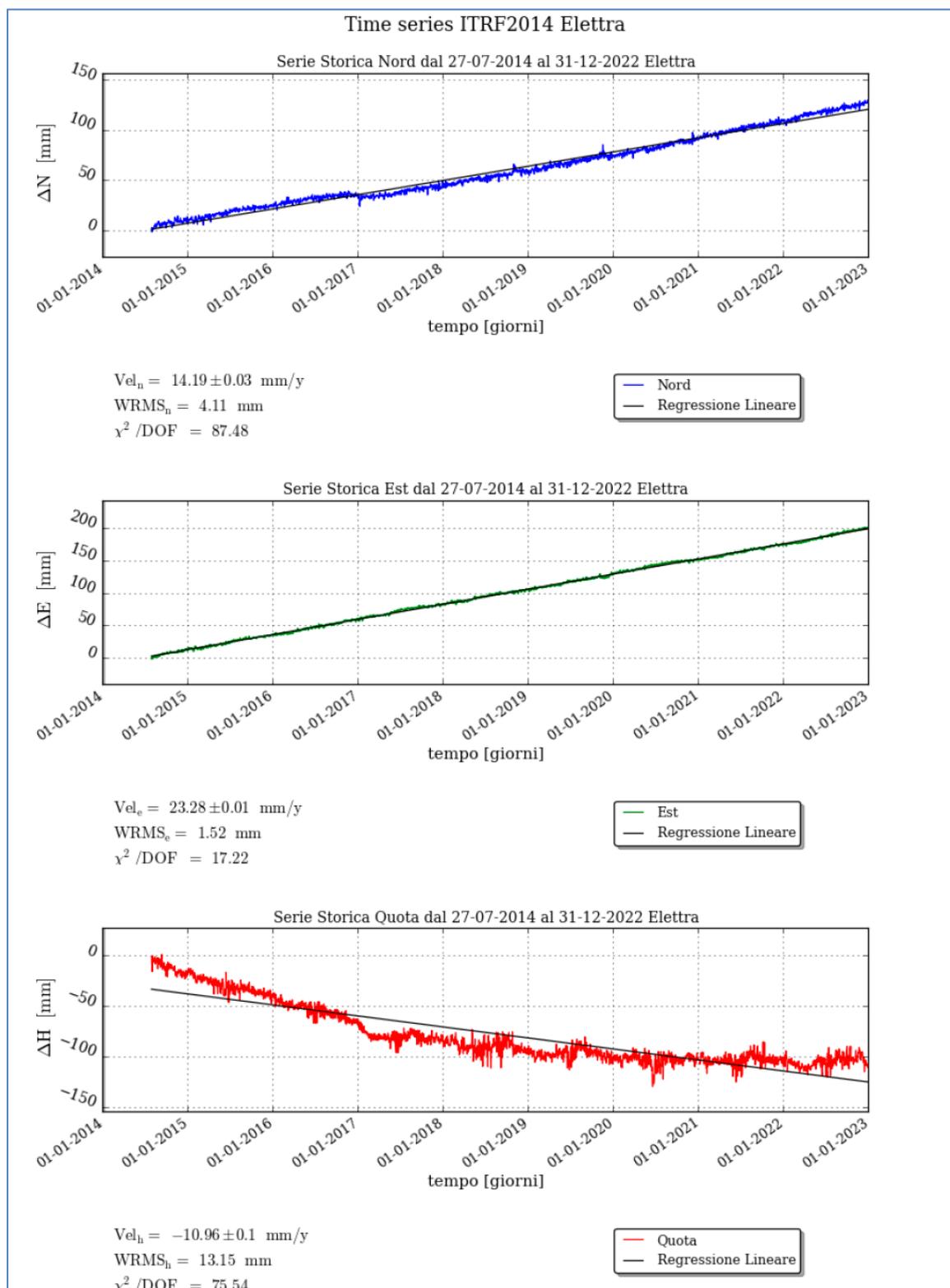
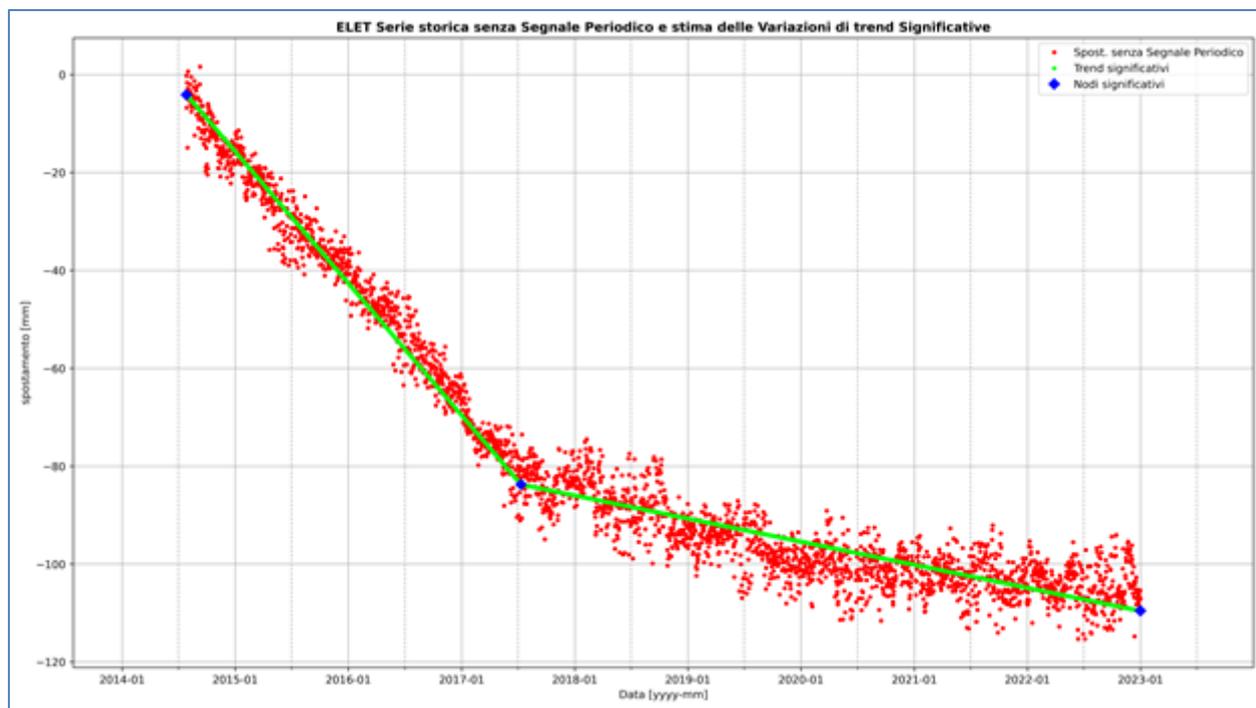


Figura 11 - Campo di Elettra: serie storiche di misure CGPS

CAMPO	Inizio produzione	Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ 31/12/2022	Max subsidenza prevista (scenario di riferimento)	Ultimo aggiornamento studio geomeccanico	CGPS			
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2021	vel.media (mm/a) @ dic.2022	Variazione velocità di subsidenza 2022 vs. 2021
ANEMONE	1978	2019	100%	-48cm al 2051	2022	2007	-4.45	-4.22	-0.23
ANNALISA	2000	2029	93%	-8cm al 2034	2022	2007	-3.08	-2.75	-0.33
ANNAMARIA B	2009	2038	88%	-138cm al 2051	2021	2010	-87.78	-80.81	-6.97
BARBARA NW	1999	2026	98%	-66cm al 2023	2021	2008	-25.05	-24.2	-0.85
BONACCIA	1999	2029	96%	-144cm al 2040	2022	2008	-63.09	-61.7	-1.39
BONACCIA NW	2015					2015	-35.18	-32.25	-2.93
CALIPSO	2002	2031	84%	-113cm al 2041	2021	2007	-13.51	-13.49	-0.02
CALPURNIA	2000	2021	100%	-17cm al 2021	2021	2008	-0.44	-0.44	0
CLARA EST	2000	2042	76%	-104cm al 2050	2021	2007	-14.39	-14.17	-0.22
CLARA NW	2016					2016	-23.01	-23.01	0
CLARA NORD	2000	2018	100%	-48cm al 2021	2021	2007	-15.42	-15.42	0
ELETTRA	2014	2027	90%	-27cm al 2041	2021	2014	-13.18	-10.96	-2.22
FAUZIA	2014	2024	85%	-6cm al 2062	2021	2014	-3.21	-2.4	-0.81
GUENDALINA	2011	2022	100%	-7,9cm al 2053	2022	2011	-5.99	-5.55	-0.44
NAIDE	2005	2027	95%	-12cm al 2030	2021	2005	-3.56	-3.47	-0.09
NAOMI - PANDORA	2001	2040	71%	-4cm al 2042	2021	2002	-2.06	-2.17	0.11
PCME (PCMS)	2001	2014	100%	-4cm al 2025	2020	2005	-3.7	-3.52	-0.18
REGINA	1997	2022	100%	-131cm al 2053	2021	2007	-20.67	-19.5	-1.17
TEA - LAVANDA - ARNICA	2007	2023	98%	-5cm al 2023	2019	2007	-3.39	-3.39	0

Figura 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



	Inizio	Fine	Velocità [mm/anno]	Sigma [mm/anno]
1	2014-07-27	2017-07-11	-26.93	0.11
2	2017-07-11	2022-12-31	-4.72	0.05

Figura 13 - Campo di Elettra: analisi della serie storica di misure CGPS

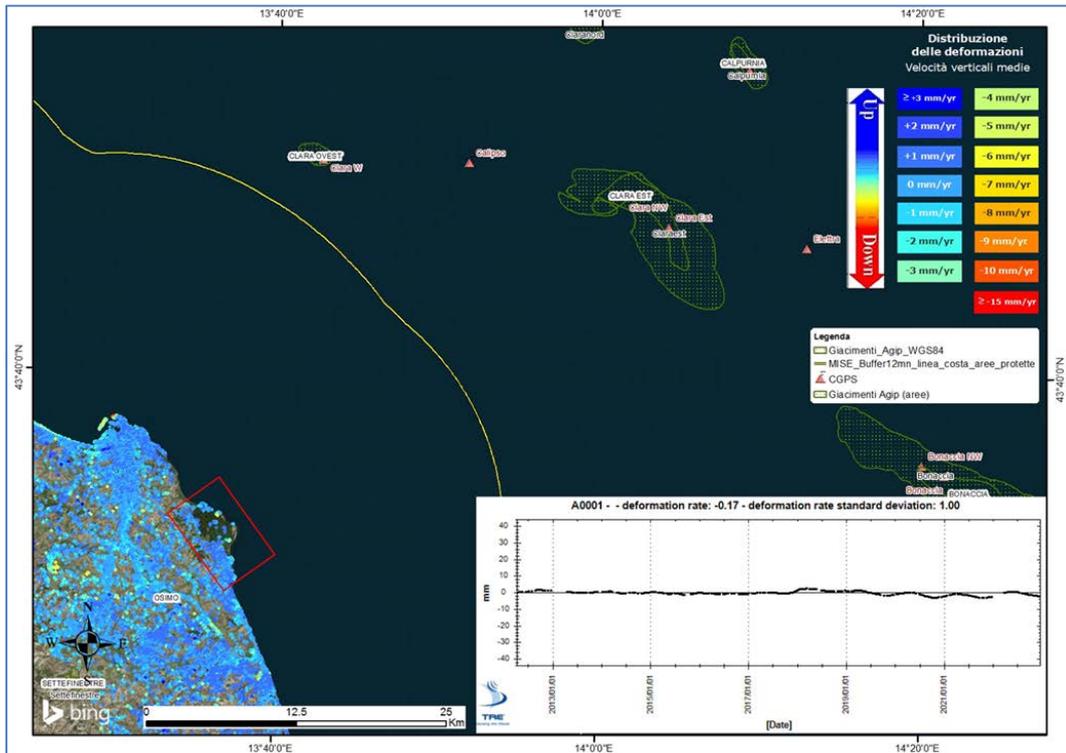


Figura 14 - Analisi dati InSAR dal 2012 al 2022 nel tratto di costa antistante il campo di Elettra. Serie storica media (dal 2012 al 2022) dello spostamento medio ricavata dai dati InSAR all'interno del poligono rosso.

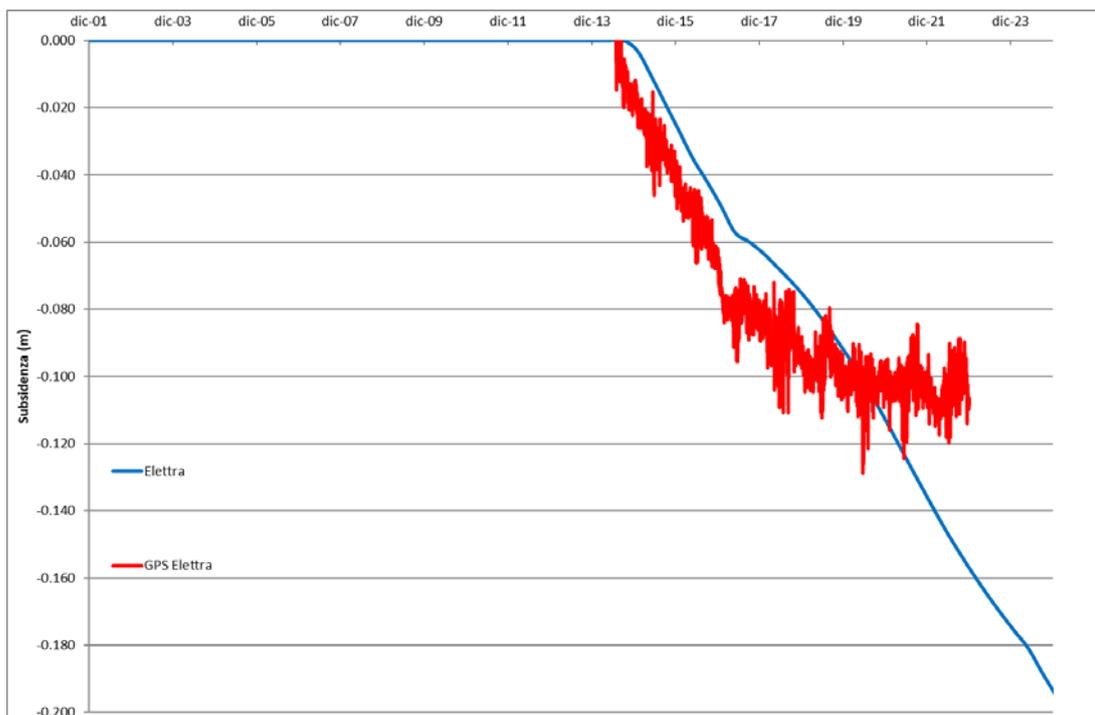


Figura 15 - Elettra: andamento della subsidenza misurata (CGPS in p.ma) vs. modello

campo ELETTRA (Eni 100%)			
DATI DI CAMPO		DEC. VIA n. 0000104 del 15 aprile 2013	
AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (ELETTRA)			
		SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO
UBICAZIONE PROFONDITA' FONDALE	offshore -55 km E costa Pesaro 80 m	STUDIO DI GIACIMENTO MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "agosto '10"	Clara Complex - Aggiornamento studio di giacimento per studio geomeccanico. Rel. IPET-2F0DE718-0 (dicembre 2021)
LITOLOGIA FORMAZIONE RESERVOIR ZONA MINERARIA PROFONDITA' RESERVOIR TIPO DI PIATTAFORMA CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	terreni pliocenici sabbioso/argillosi Formazione Carla - Santerno PLO1 666 - 1130 (TVSS) fissa monotubolare - BEAF torbiditi sottili	RISERVE (MSm³)	470
		MOD. GEOMECCANICO	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ AGOSTO 2010
		MAX SUBS AL CENTRO (cm)	16 @ 2054
		DISTANZA DALLA COSTA (km)	#
		ULTIMO AGGIORNAMENTO 479 ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ dicembre 2021 27 @ 2041 - scenario DN e FD sempre > 30 Km (linea isosubsidenza -2cm)	
STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI			
CONCESSIONE	B.C23.AG	D.M @ apr.'13	@ 31 dic 2022
DATA SCADENZA CONCESSIONE	21/09/2026		
N. POZZI (produttori)		1	1
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm³)		470	479
START UP PRODUZIONE	ago-14		
FINE PRODUZIONE PREVISTA		2025	2027
GAS PRODOTTO (MSm³)			432
% RISERVE PRODOTTE			90%
		LIVELLAZIONI	ACQUISITI I 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 2020 E' STATA CERTIFICATA DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM. 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
		MARKERS	NON PRESCRITTI
		CGPS	NEL CORSO DEL 2014 E' STATO INSTALLATO UN CGPS IN PIATTAFORMA. NEL 2008 E' STATO INSTALLATO CGPS NELLA CENTRALE ENI DI FALCONARA (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA
		SAR	ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DIC. 2022 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DEI CAMPI DI TLA NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA. ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO

Figura 16 - Campo di Elettra: scheda di sintesi dati campo

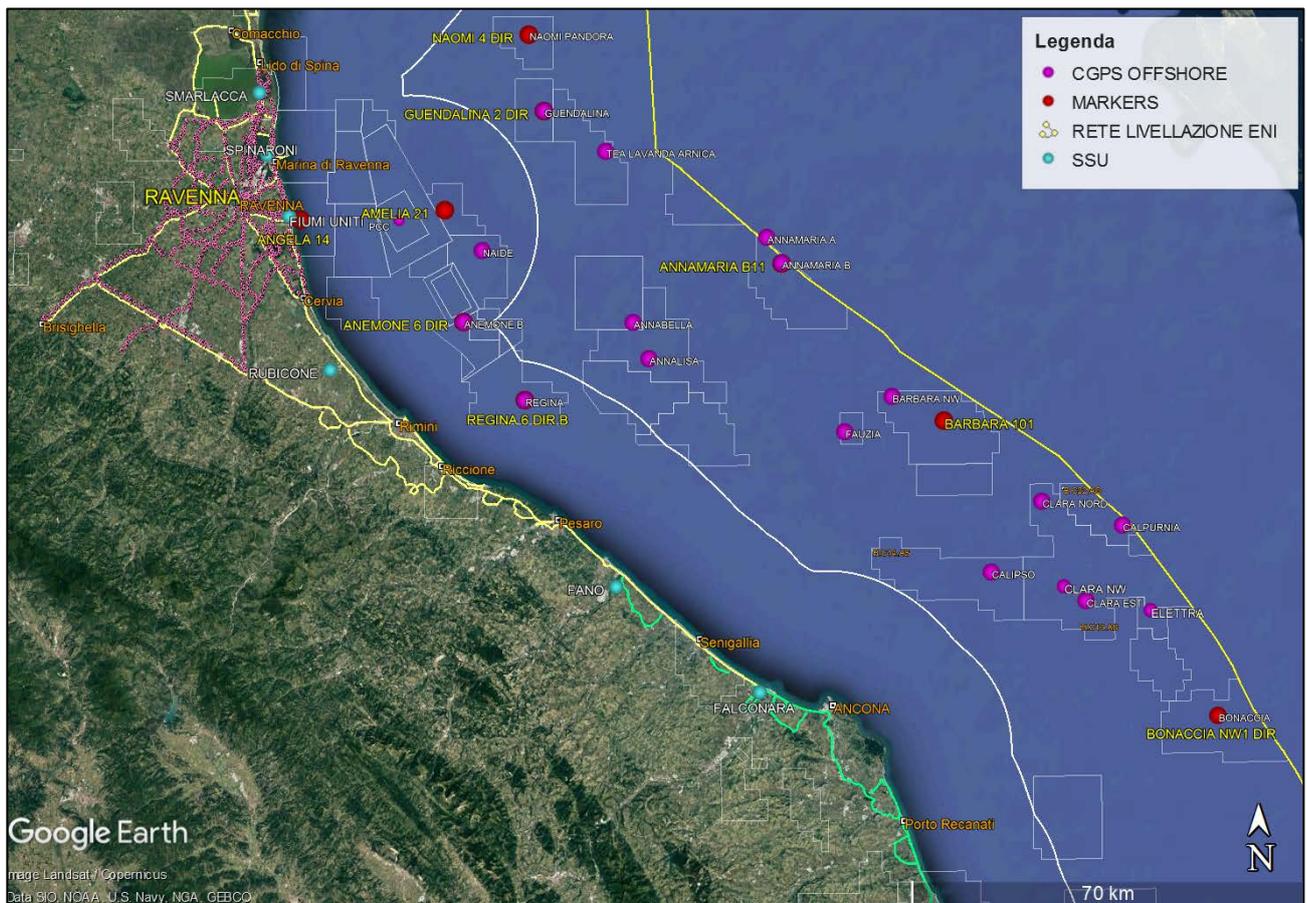


Figura 17 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

14 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 accoppiare i data-set in due macro - aree, in modo tale che la taratura del dato InSAR minimizzi le differenze tra quest’ultimo e le misure CGPS.

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

Tabella 3 . Taratura dato InSAR con le misure CGPS.

	CGPS	V_{vert_CGPS} [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

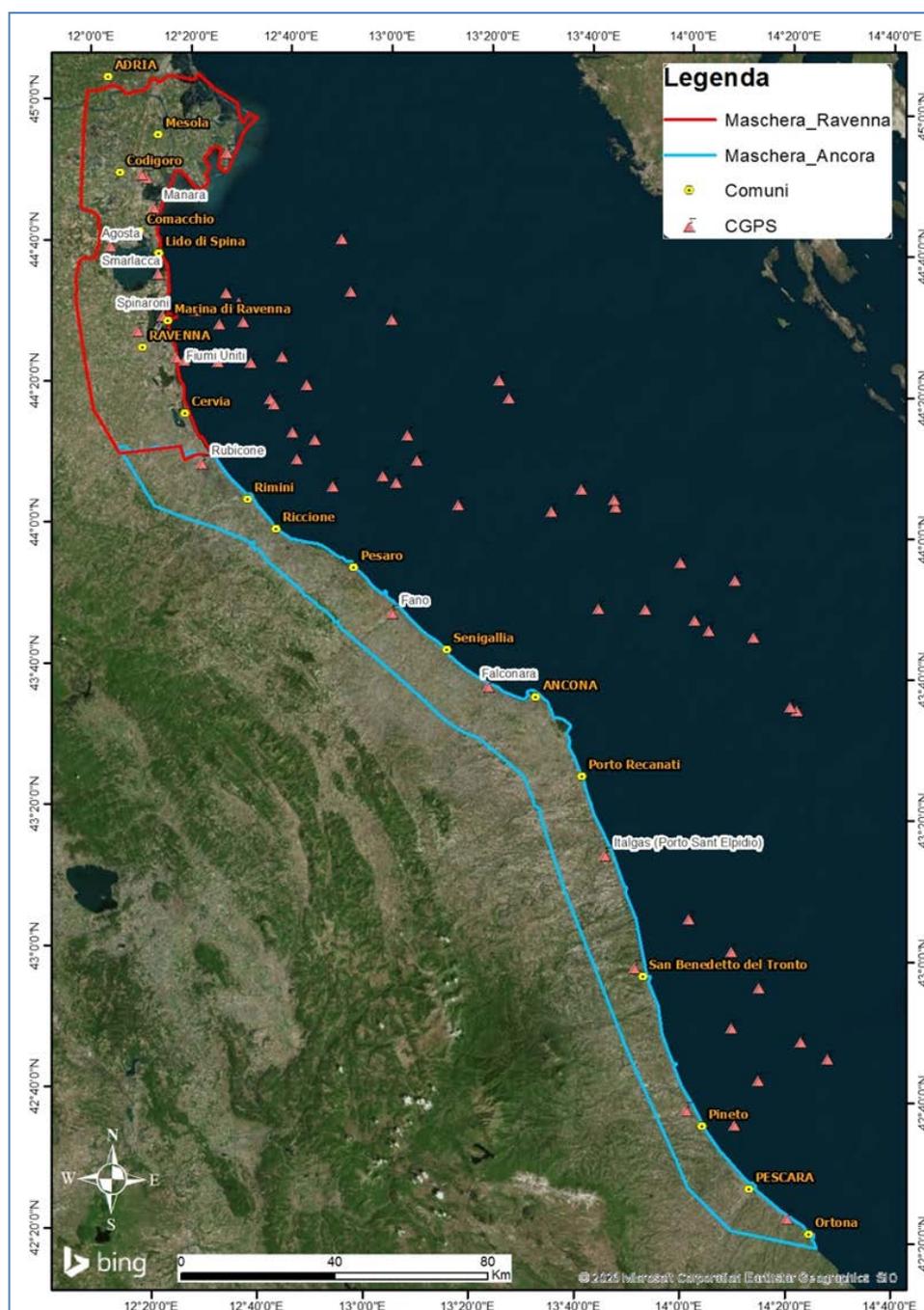


Figura 18. Mappa delle macro aree in cui sono stati raggruppati i dati SAR.

 Eni spa	Campo di ELETTRA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ELE	Page - 28 - of 56
--	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

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.

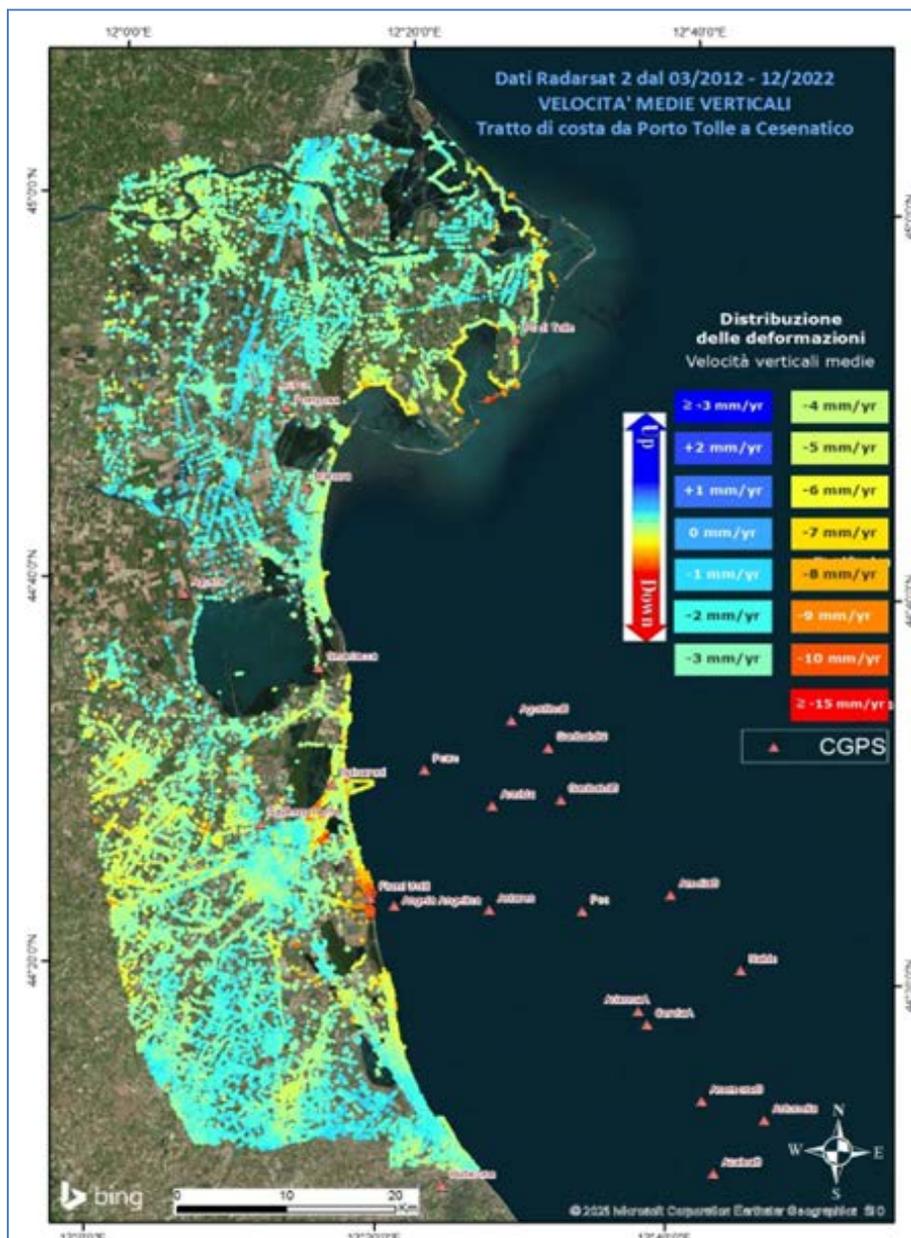


Figura 19. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

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.

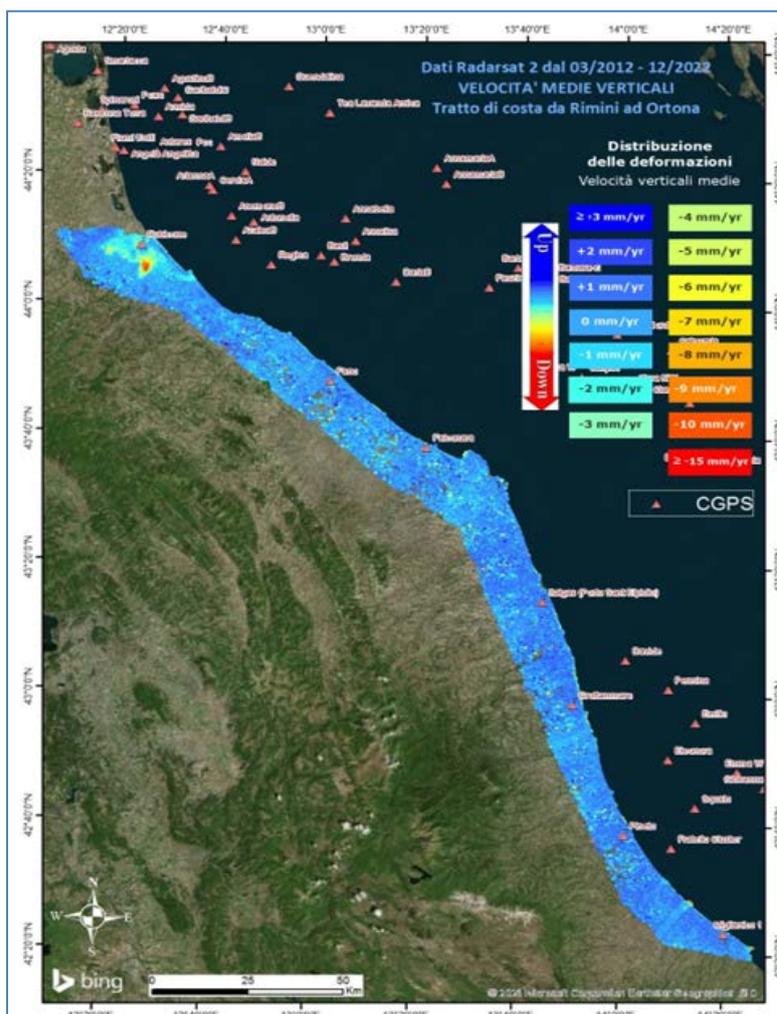


Figura 20. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.

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 vulcanici e

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</p>	<p>Page - 31 - of 56</p>
---	---	---	--------------------------

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.

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

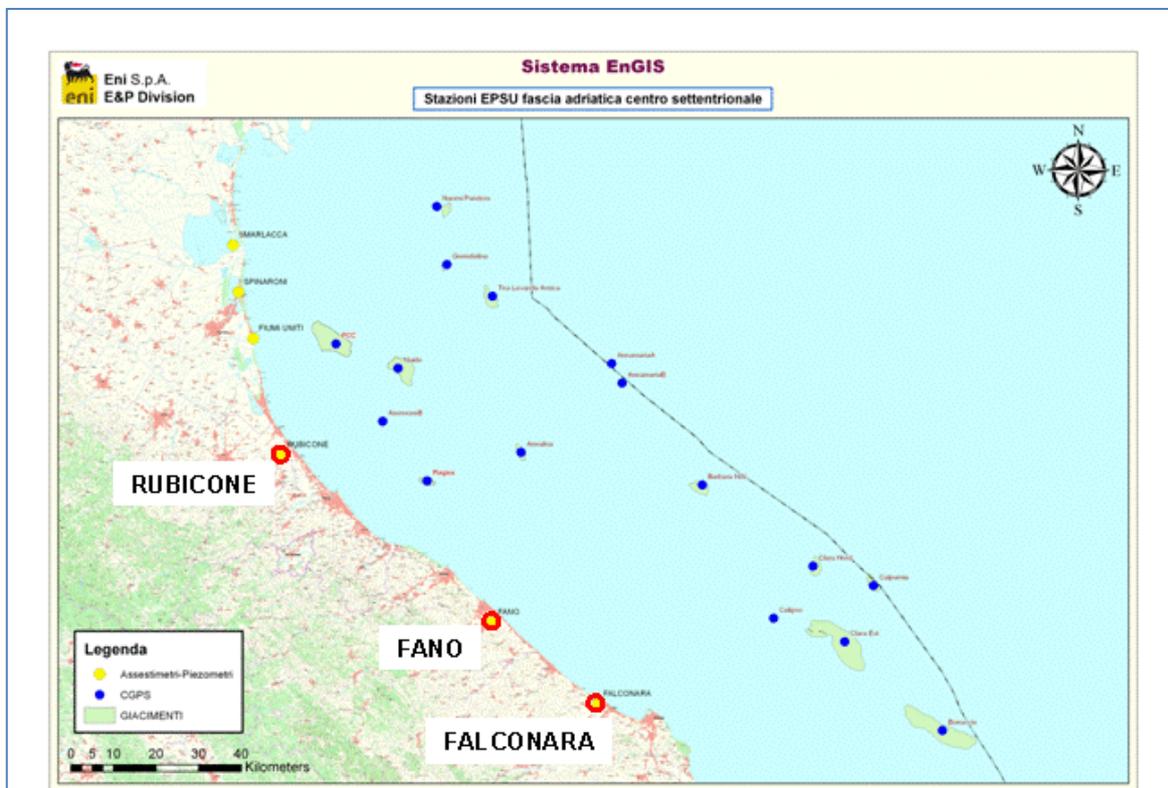


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

In generale una stazione *EPSU* è costituita da un assestometro, 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.

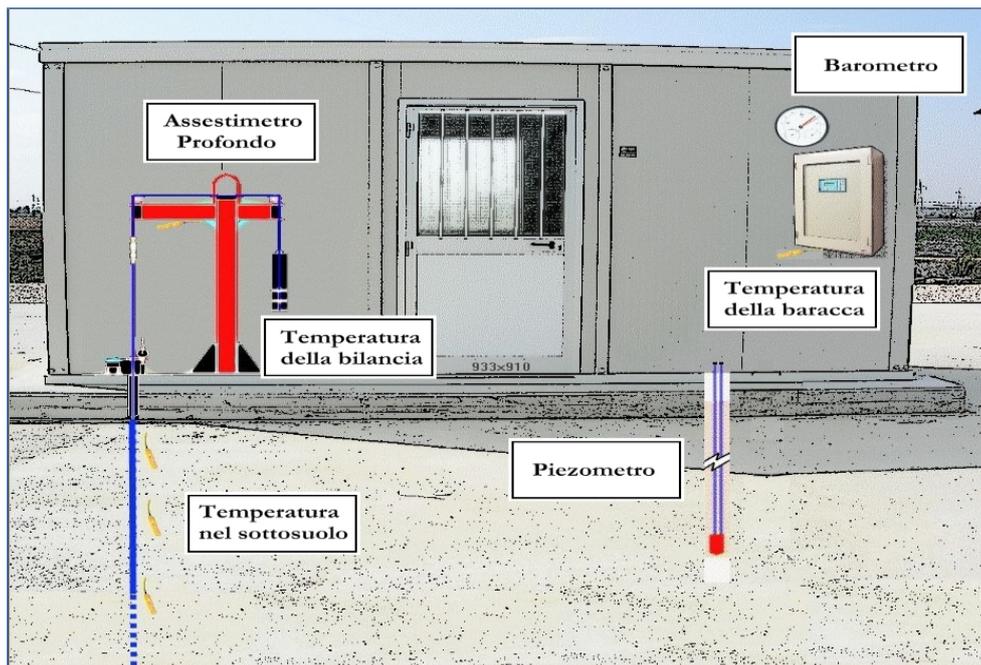


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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 ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</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 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

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</p>	<p>Page - 35 - of 56</p>
---	---	---	--------------------------

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 piezometrico 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. Nel 2022 si sono eseguiti i normali controlli periodici semestrali, durante i quali si sono fatti i controlli manuali e la relativa taratura di tutti i sensori, nei mesi di marzo, luglio e novembre. Per tutto il 2022 la strumentazione assestometrica ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati, tali da non permettere l'individuazione di una tendenza nel dato stesso.

 Eni spa	Campo di ELETTRA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ELE	Page - 36 - of 56
--	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

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 $1 \div 1.5$ 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).

 Eni spa	Campo di ELETTRA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ELE	Page - 37 - of 56
--	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

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 ritirati tutti i trasduttori di pressione, la cui affidabilità è stata accertata facendo diverse misure manuali con freatometro.

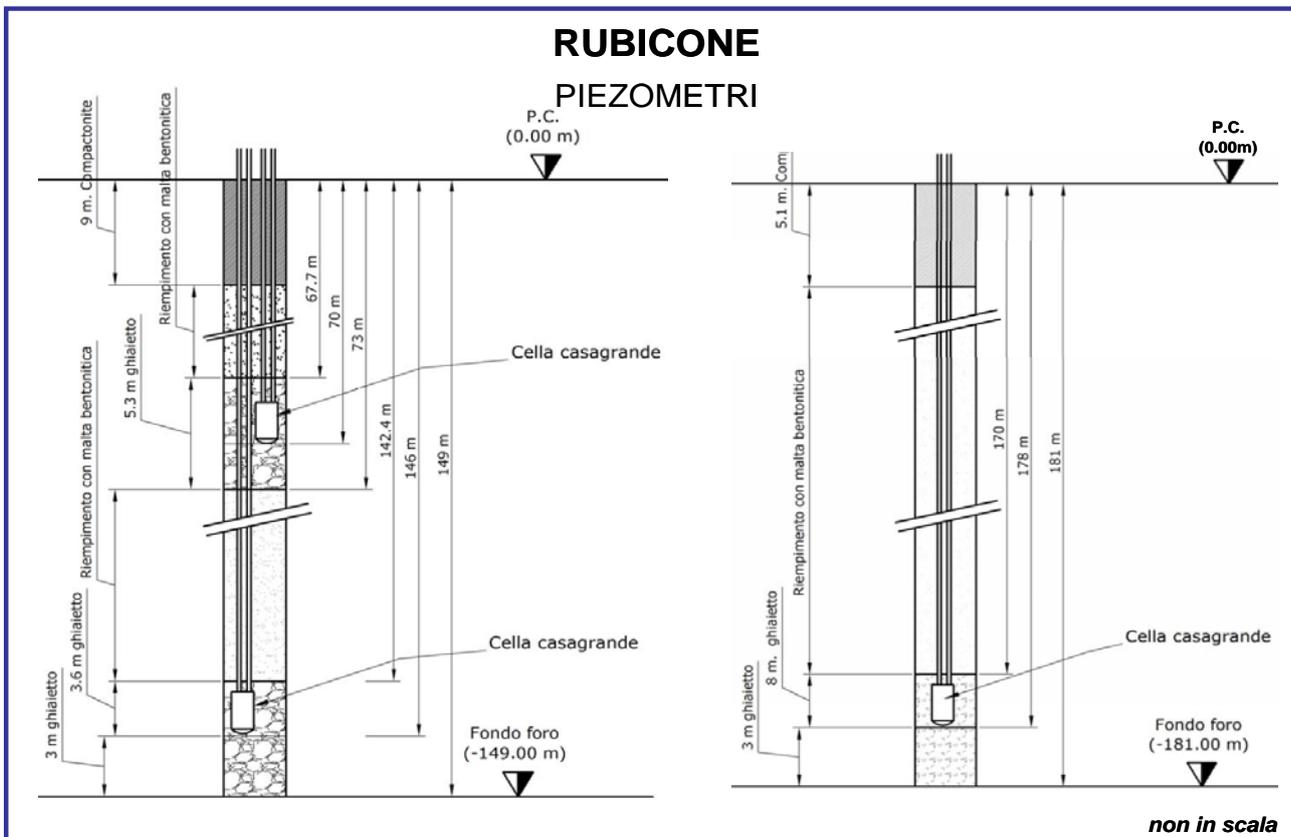


Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

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.

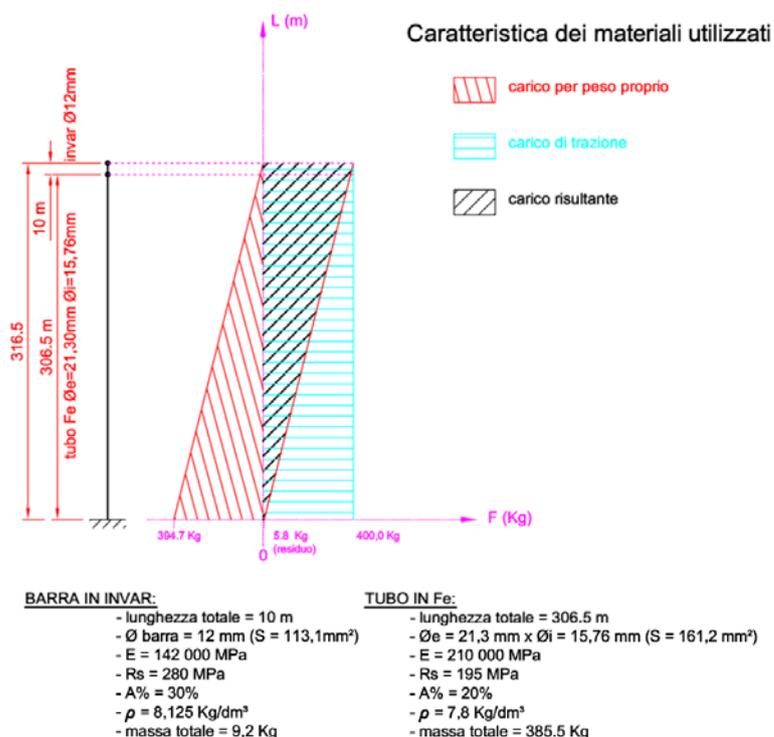


Figura 4B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone

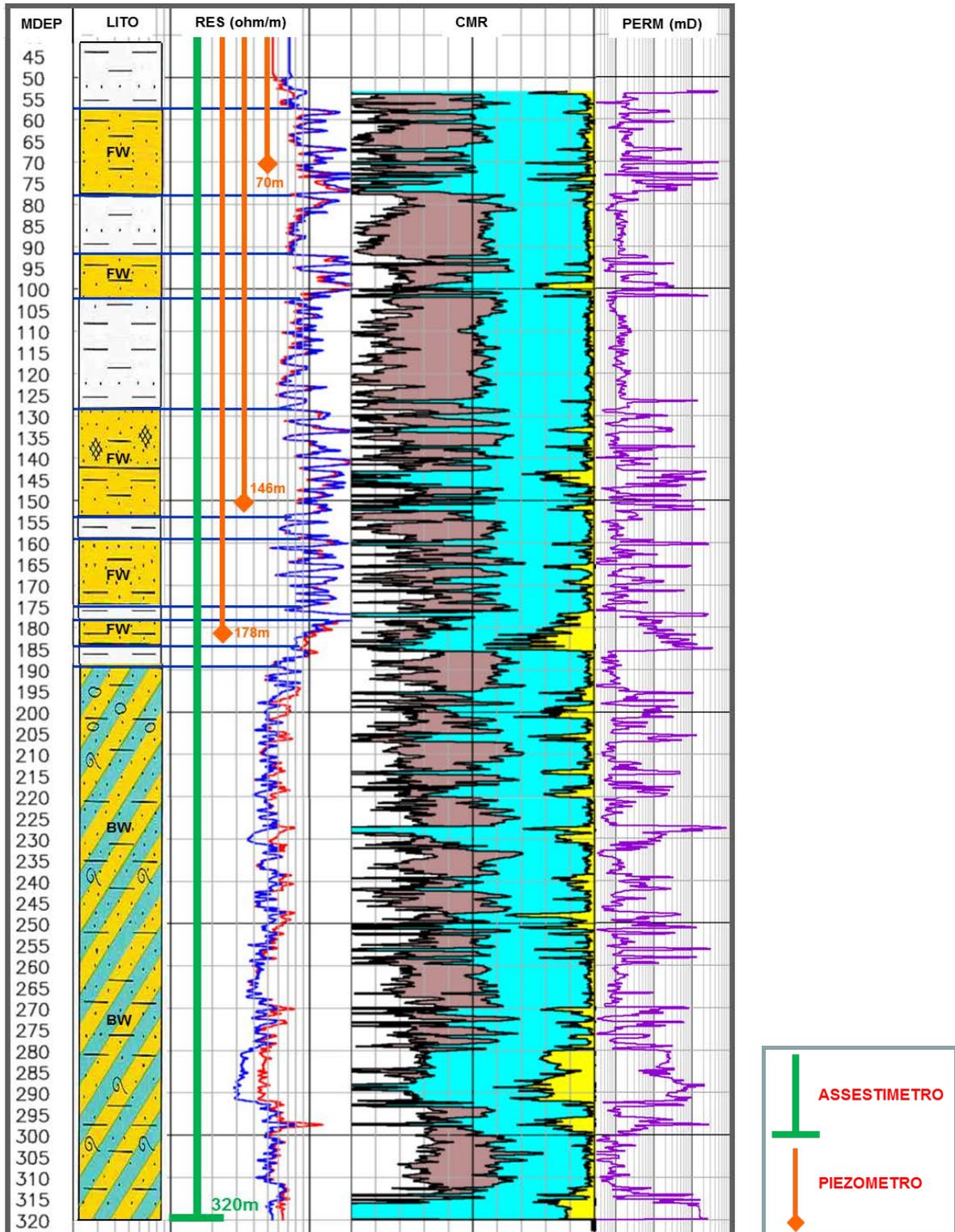


Figura 5B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone (FW=acqua dolce; BW=acqua salmastra)

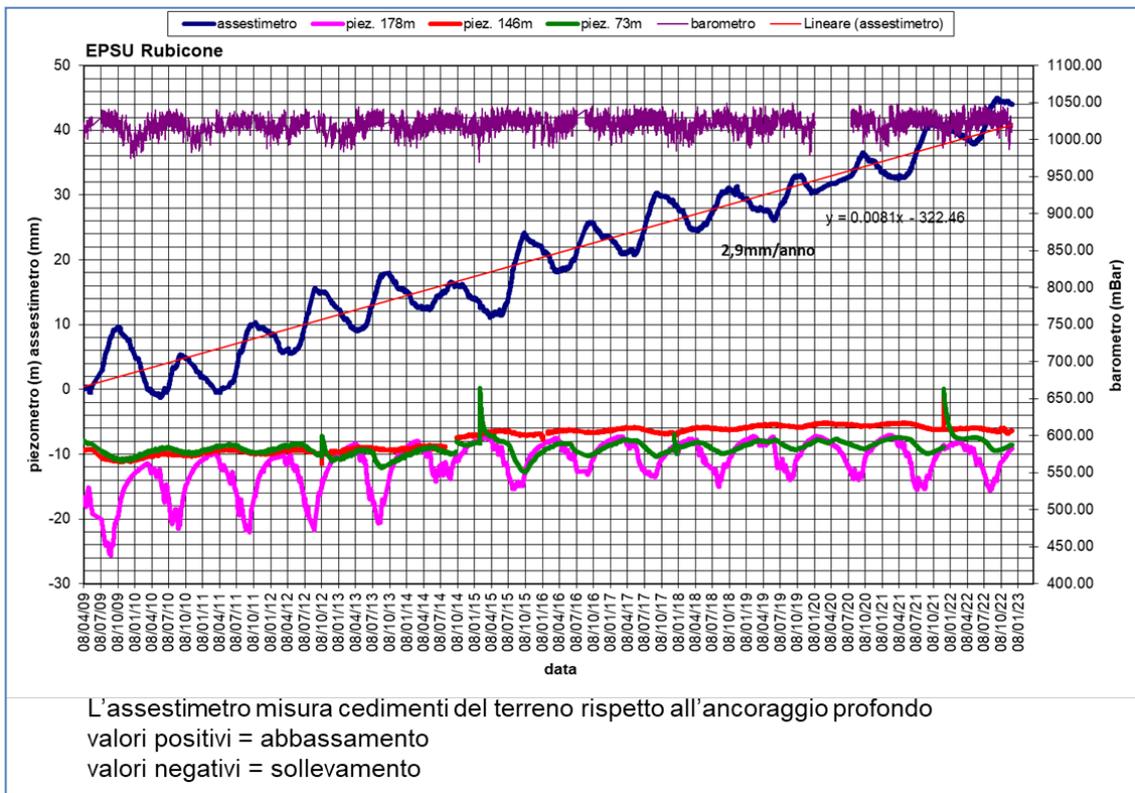


Figura 6B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche-assestometriche e barometriche

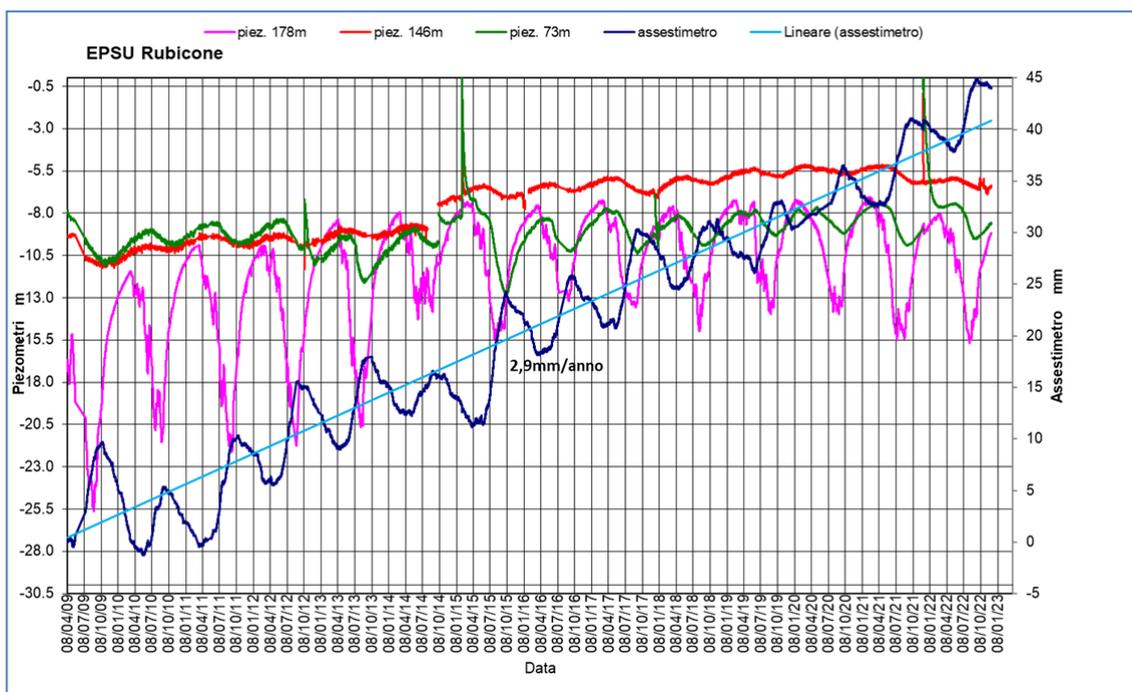


Figura 7B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche-assestmetriche.

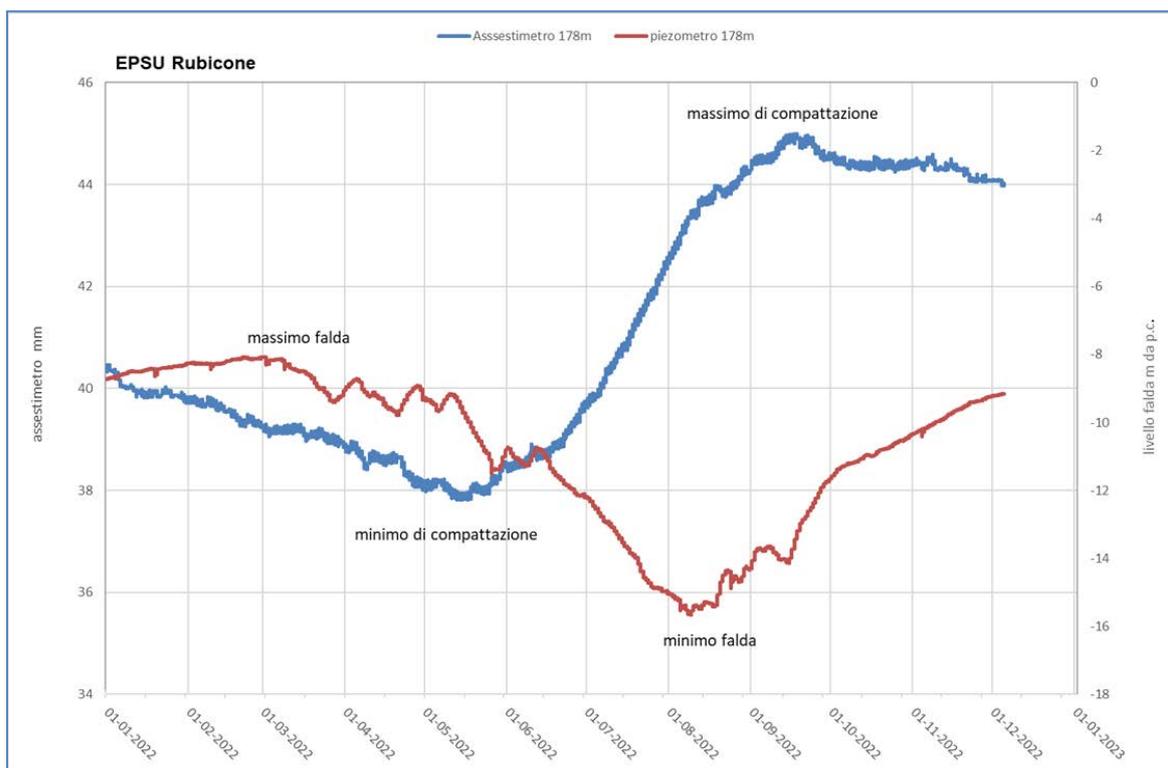


Figura 8B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

 Eni spa	Campo di ELETTRA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ELE	Page - 43 - of 56
--	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

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 ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</p>	<p>Page - 44 - of 56</p>
---	---	---	--------------------------

Analisi dei dati assestimerici

L'assestometro 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 assestimerici. 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'assestometro 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'assestometro 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 assestimerica, 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'assestometro fa registrare un salto di compattazione anomalo, circa 0.8mm non recuperati, che, per l'andamento 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

 Eni spa	Campo di ELETTRA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ELE	Page - 45 - of 56
--	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

tale evento lo strumento sembra essere rimasto stabile sugli ultimi valori di compattazione registrati (1.9mm). Comportamenti simili, della strumentazione assestometrica in occasioni di sismi, erano già stati verificati in passato in altre postazioni per la misura della compattazione superficiale (assestometro 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 assestometriche, 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 assestometrica mostra una buona correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestometrica 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 assestometrico.

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.

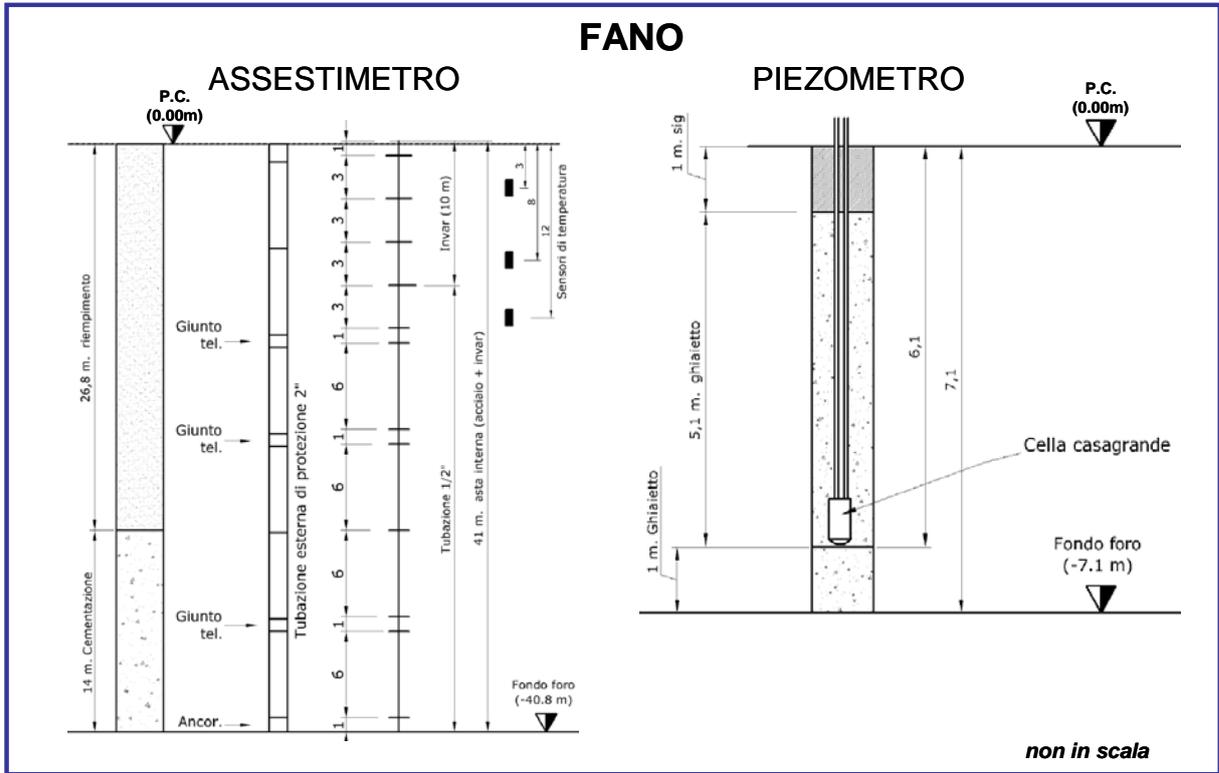


Figura 9B - Stazione EPSU di Fano

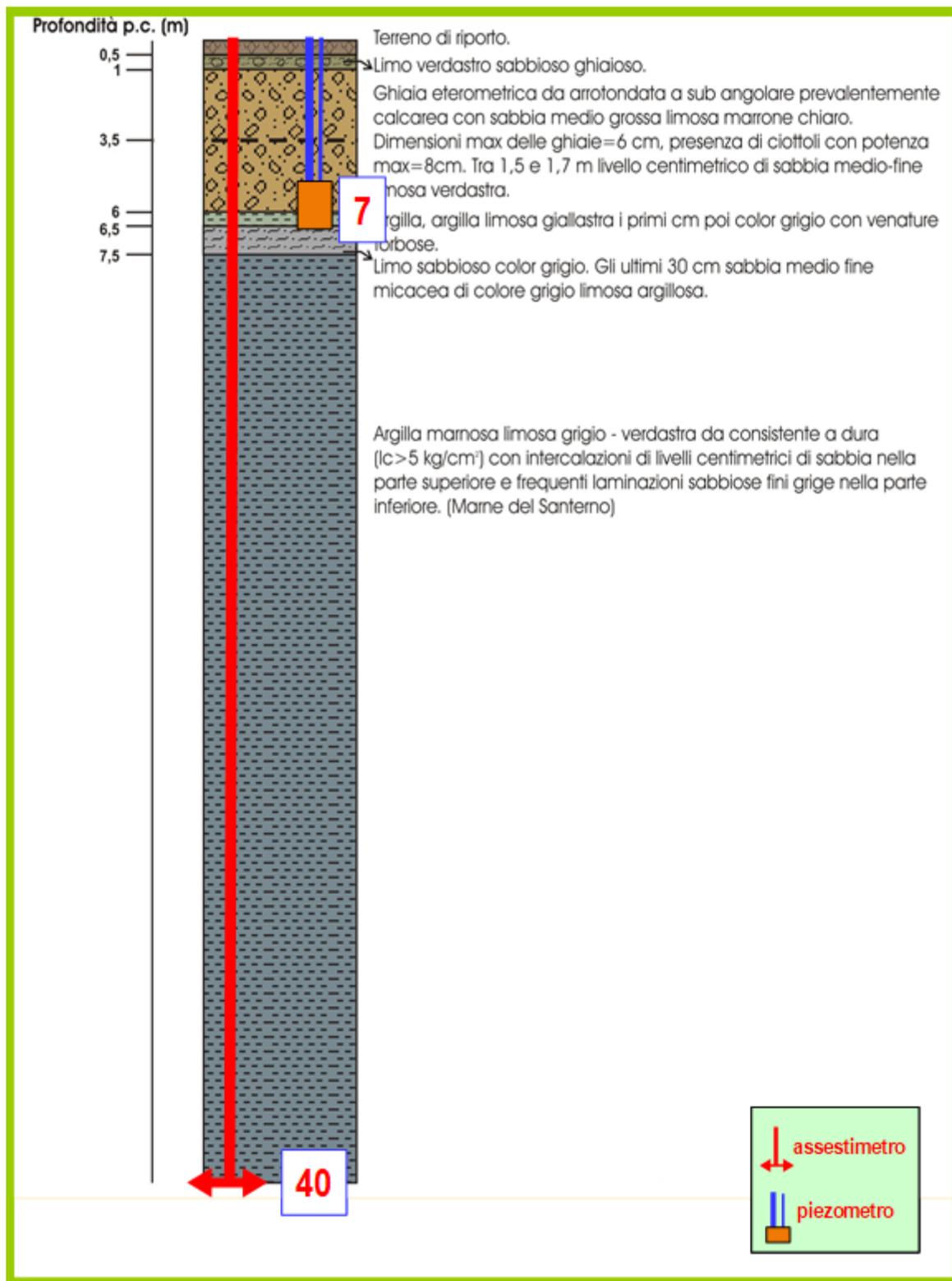


Figura 10B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano

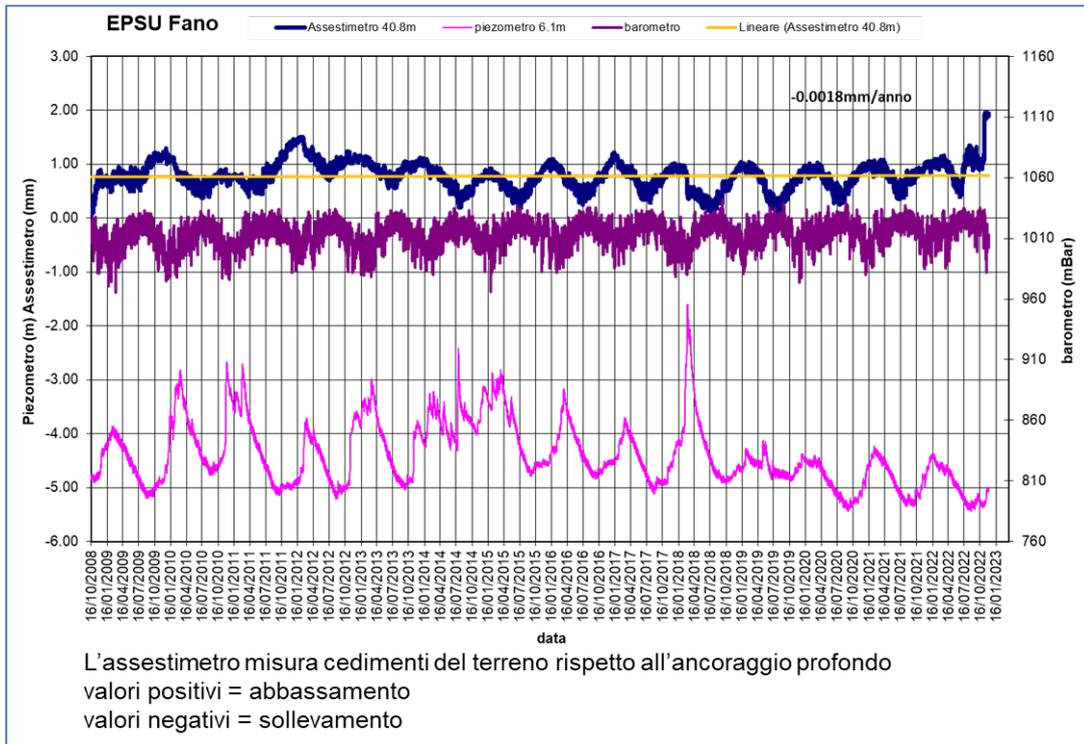


Figura 11B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche-assestimetriche e barometriche.

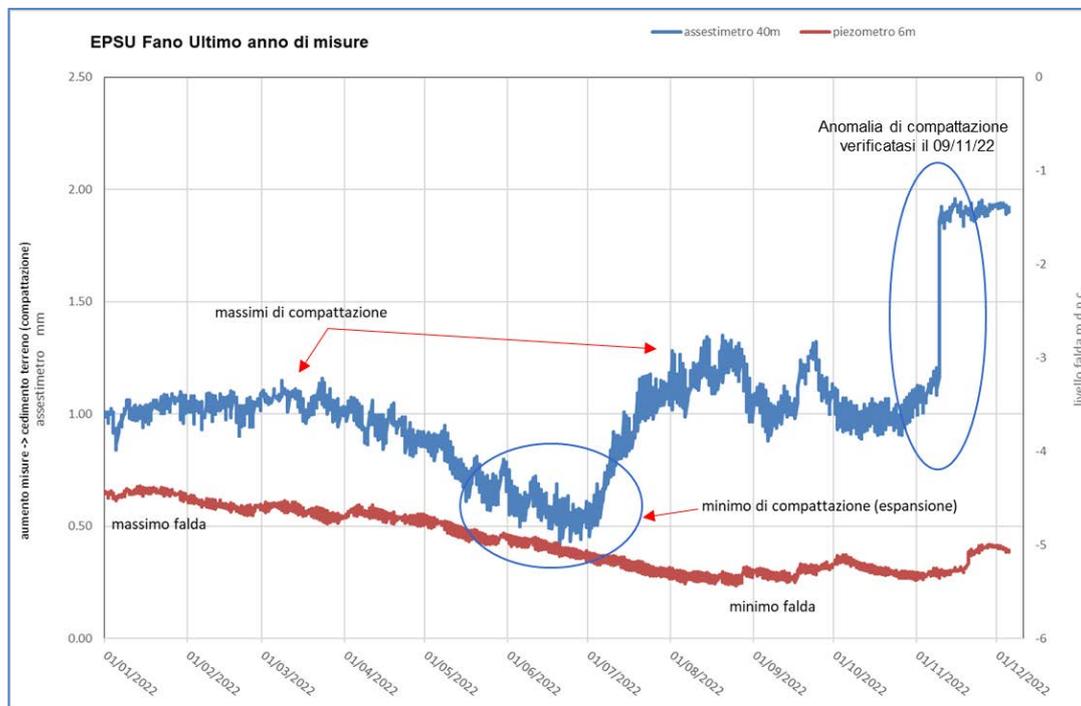


Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati.

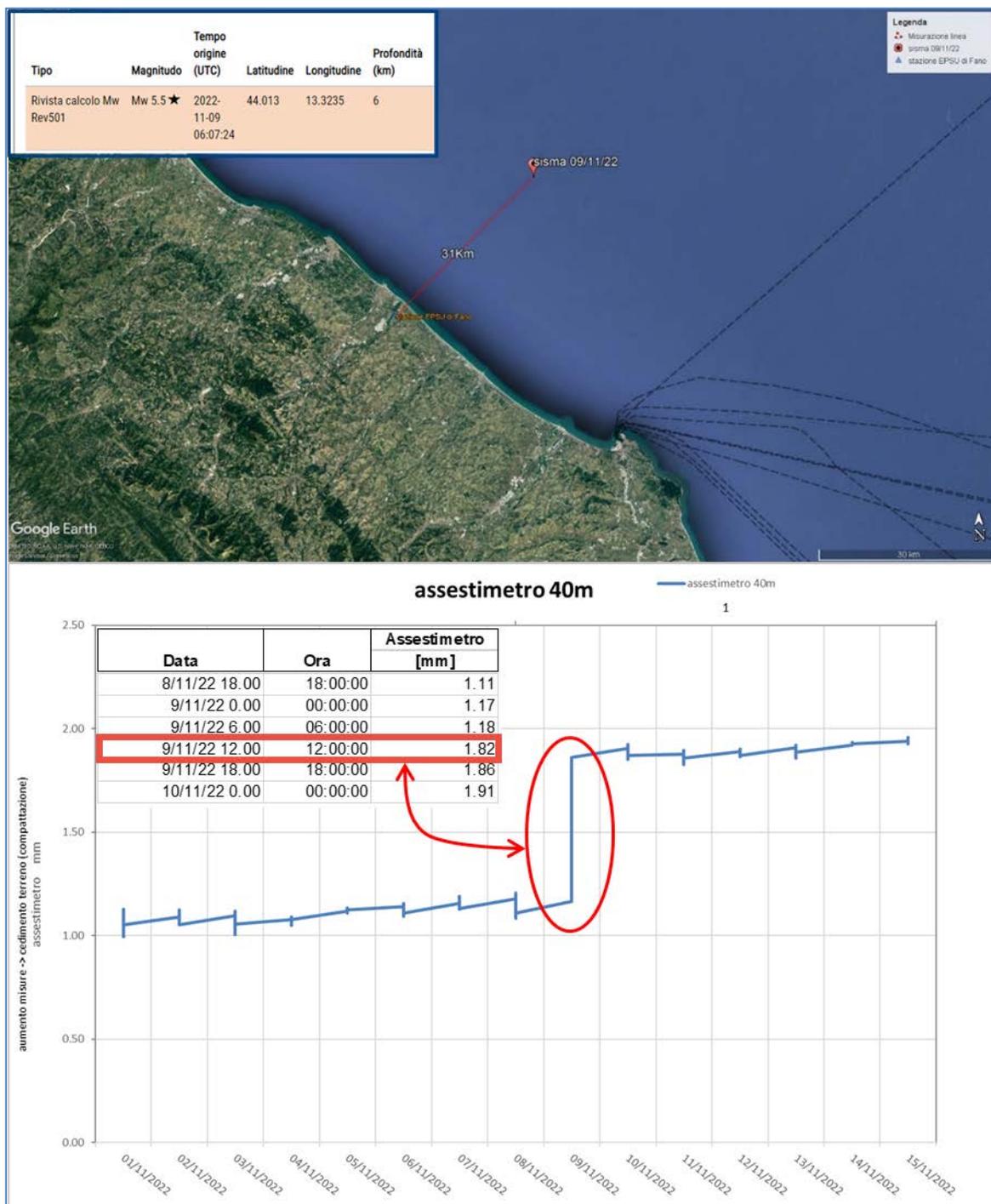


Figura 13B – In alto, ubicazione dell’evento sismico nell’offshore di Fano del 09/11/22 (coordinate ed ora evento da INGV); in basso relativo comportamento della strumentazione assestimetrica.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</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 ELETTRA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ELE</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

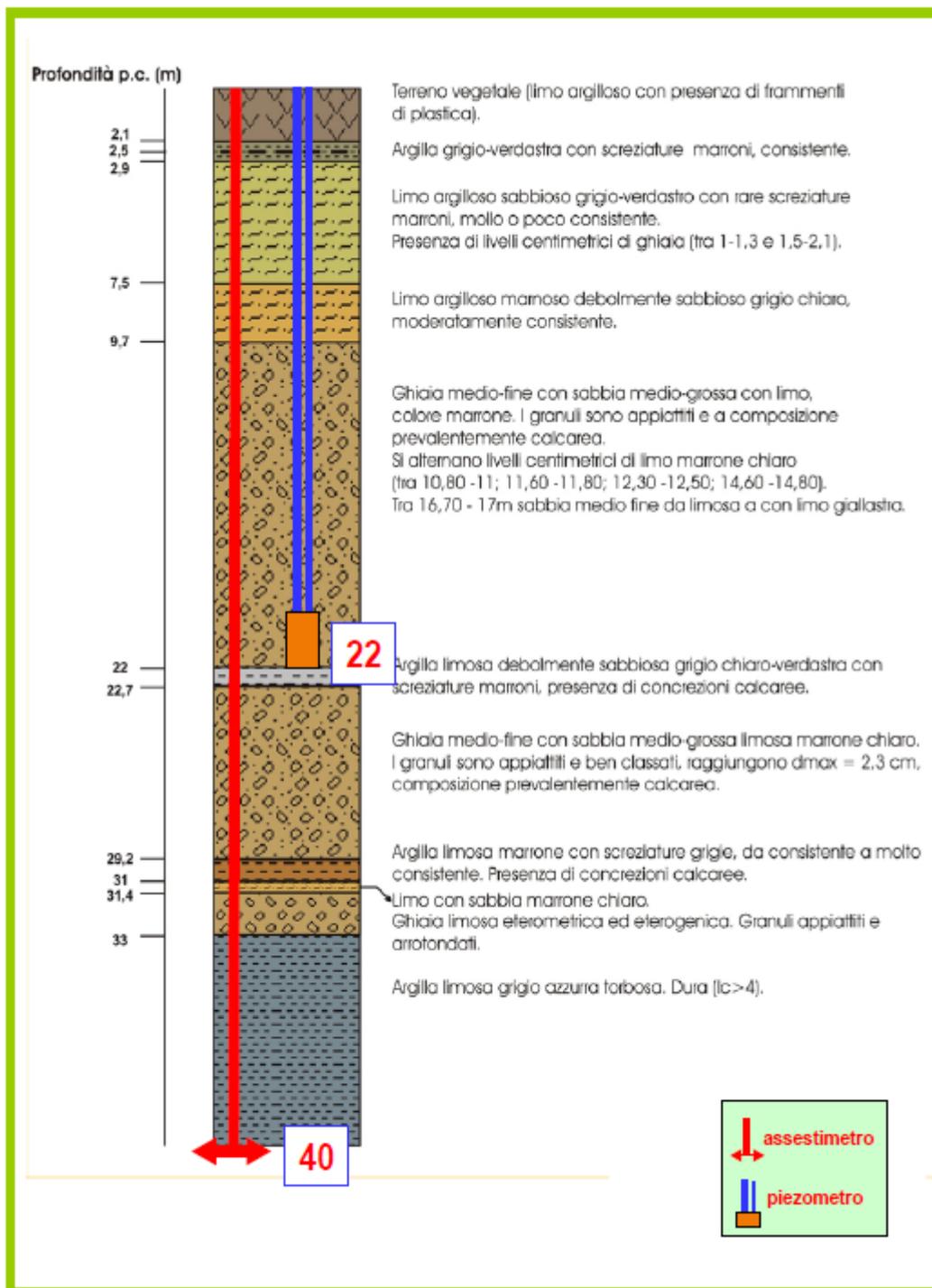


Figura 15B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

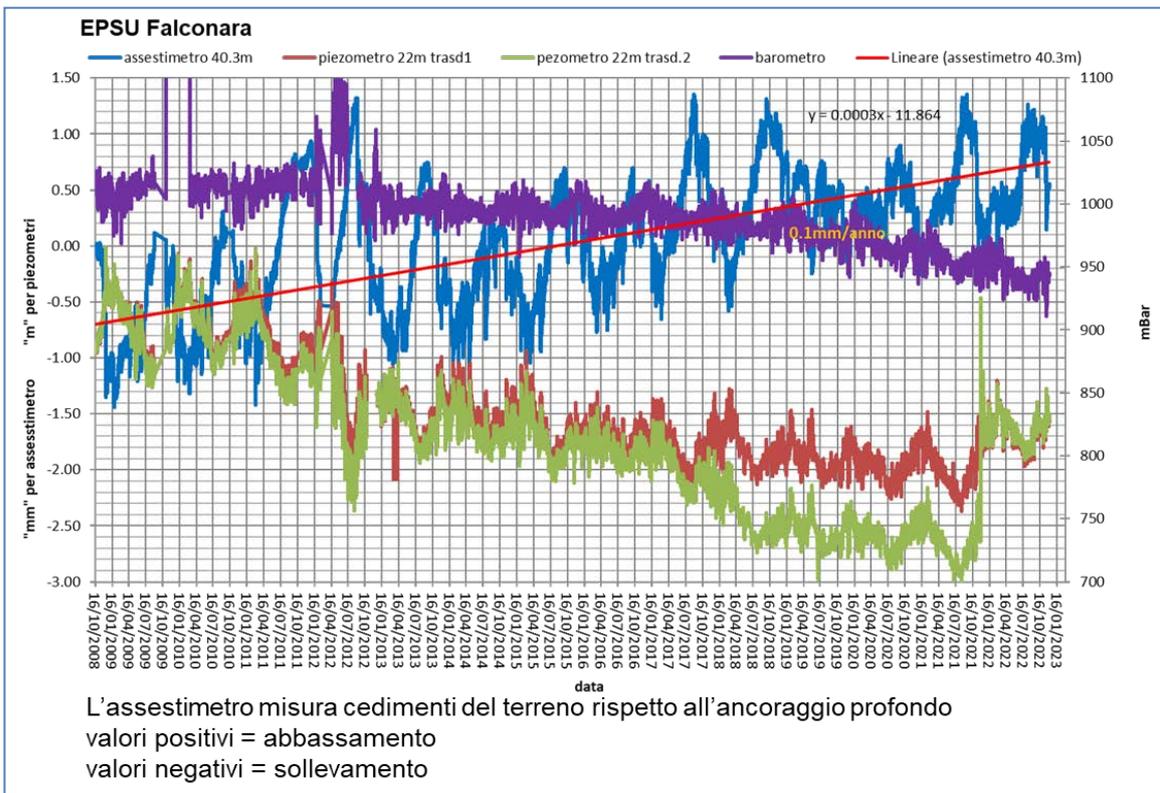


Figura 16B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche-assestimetriche e barometriche.

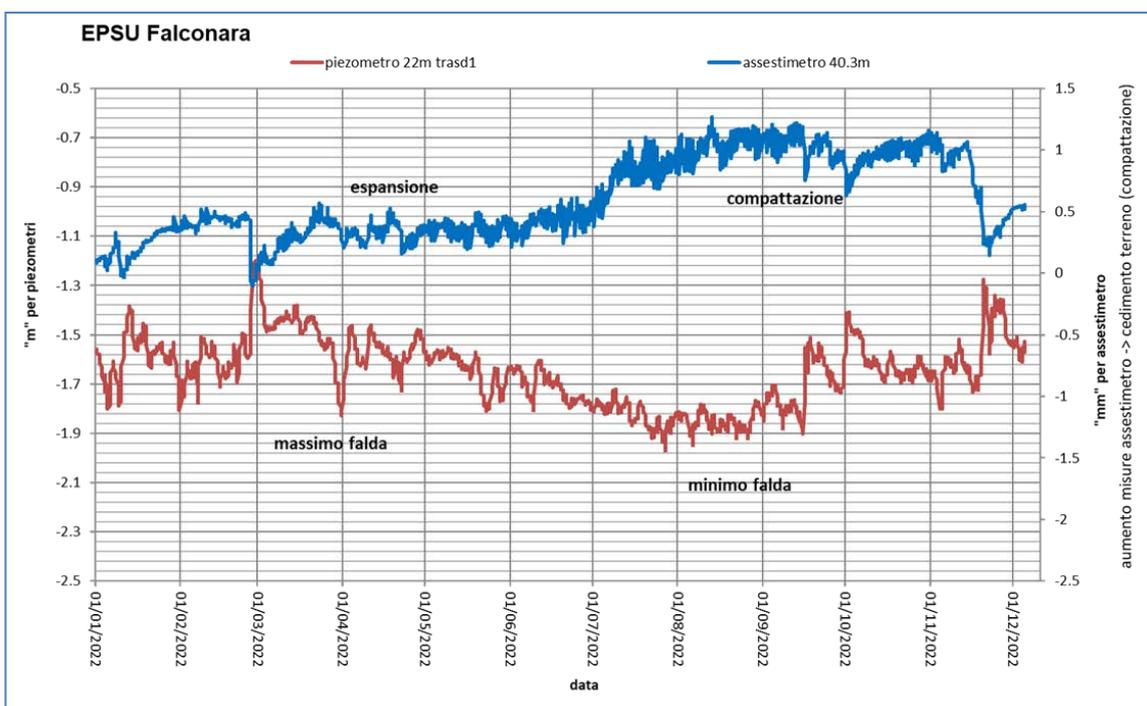


Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

 Eni spa	Campo di ELETTRA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ELE	Page - 55 - of 56
---	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

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