

# Campo di CALPURNIA

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 .....	- 6 -
7	Modellistica previsionale di subsidenza - approfondimento .....	- 7 -
8	Survey Batimetrici .....	- 8 -
9	Monitoraggi altimetrici onshore e offshore .....	- 8 -
9.1	Livellazione .....	- 8 -
9.2	CGPS (Continuous GPS) .....	- 11 -
10	SAR (cfr. Appendice A) .....	- 15 -
11	SSU / EPSU (cfr. Appendice B) .....	- 15 -
12	Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio CGPS .....	- 15 -
13	Conclusioni .....	- 16 -
14	<b>Appendice A:</b> Analisi dei dati satellitari (2012-2022) lungo la fascia costiera compresa tra Porto Tolle (RO) e Ortona (PE) .....	- 27 -
15	<b>Appendice B:</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. ....	- 27 -

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 3 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

## 1 Introduzione

Il campo di Calpurnia è ubicato nell'offshore Adriatico circa 55 km a NE di Ancona (Figura 1), a una profondità d'acqua di circa 72 m, nella concessione B.C22.AG.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
B.C22.AG	01/10/2024	Eni	Eni	100%	Marche

## 2 Assetto geologico - minerario

Il giacimento è costituito da una blanda anticlinale con asse principale orientato NW-SE e si estende per circa 7 km<sup>2</sup>. La serie mineralizzata è compresa tra 570 m e 1015 m e interessa due diverse formazioni Pleistoceniche: F.ne Ravenna e F.ne Carola (Figura 2).

## 3 Iter autorizzativo e sviluppo del giacimento

Il campo è stato scoperto nel 1983 con la perforazione del pozzo Calpurnia 1; per delimitare la struttura sono stati perforati, in seguito, altri 2 pozzi, Calpurnia 2 nel 1984 e Calpurnia 3 nel 1994. Nel giugno 1998 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente la realizzazione della piattaforma di Calpurnia con la perforazione di 5 pozzi e la posa del relativo *sealine* di collegamento. Nel documento SIA si riportava un profilo di produzione ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento del maggio 1998. Tale profilo prevedeva riserve a vita intera pari a 1980 MSm<sup>3</sup>, producibili in 16 anni con un picco di produzione giornaliera di 1000 kSm<sup>3</sup>/g. Per lo studio di subsidenza, riportato nel SIA, è stato utilizzato un modello geomeccanico del tipo Geerstma cilindrico e un profilo di produzione ottenuto con un modello *Eclipse* del febbraio 1996 che prevedeva, invece, il recupero di 1536 MSm<sup>3</sup> di gas in 9 anni. Detto modello geomeccanico stimava dopo 9 anni dall'inizio della produzione un valore massimo di subsidenza pari a 8 cm (in corrispondenza del culmine del giacimento); alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) risultava estendersi per circa 2.5 km verso la costa. In seguito al Decreto VIA n° 4170 del 15/11/99 che approvava il programma lavori presentato, nel 1999 si è sviluppato il campo perforando cinque nuovi pozzi (Calpurnia 4, 5, 6, 7 e 8) da una piattaforma di tipo BEAF. La produzione è stata poi avviata nell'ottobre del 2000 con una portata iniziale di circa 1400 kSm<sup>3</sup>/g.

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 4 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

Nel maggio 2007 è stata fatta una revisione degli studi di giacimento (statico e dinamico) dei campi del *Clara Complex* (Clara Est, Clara Nord, Calpurnia) e di Calipso per valutare anche possibili fenomeni d'interferenza (idraulica e meccanica) fra questi campi costruendo un unico modello statico di giacimento e simulando il loro comportamento dinamico con un unico modello *Eclipse* al fine di tener conto della loro storia produttiva aggiornata al 31/12/2006.

Nel caso di Calpurnia (rel. *Eni-INPE n° 066b-07 del maggio 2007*) tale revisione ha portato ad un nuovo profilo di produzione che ha previsto un aumento delle riserve producibili a vita intera del 13% (2231 MSm<sup>3</sup> al 2016) rispetto alla stima iniziale del maggio 1998.

Per ottimizzare il recupero delle riserve restanti, nel 2010 è stata fatta un'altra revisione dello studio statico e dinamico di giacimento (rel. *Eni-INPE n° 016a\_10 del luglio 2010*) che ha individuato nei *side-track* dei pozzi Calpurnia 4 e Calpurnia 5 gli interventi necessari a tale scopo. Le riserve producibili a vita intera dal campo sono aumentate del 6% poiché il nuovo profilo di produzione ha previsto di recuperare 2382 MSm<sup>3</sup> entro il 2016 per effetto degli interventi proposti sui pozzi Calpurnia 4 e Calpurnia 5.

Tali interventi sono stati eseguiti a gennaio 2011 con la perforazione dei pozzi *side-track* Calpurnia 4 dirA e Calpurnia 5 dirA che sono entrati in produzione tra febbraio e marzo 2011. Nel 2013 e successivamente nel 2017 è stato aggiornato il modello di giacimento del campo. In particolare, 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*) con un aggiornamento delle riserve a 2316 MSm<sup>3</sup>, producibili al 2022.

Sulla base della revisione del modello di giacimento del 2017 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 Calpurnia, un valore di subsidenza massima di 14 cm al 2015 per tutti gli scenari di forecast considerati, in leggero *rebound* fino a fine simulazione (2061).

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 5 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

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.

#### 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*).

I risultati del nuovo aggiornamento hanno confermato a 2301 MSm<sup>3</sup> le riserve già prodotte del campo che risulta, ad oggi, non più produttivo.

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

Al 31/12/2022 la produzione cumulativa del campo è pari a 2301 Mm<sup>3</sup> che rappresenta il 100% delle riserve calcolate.

Nella Figura 7 è presentato il confronto del profilo di pressione calcolato dal modello *Eclipse* del dicembre 2021 con la pressione statica misurata in un livello rappresentativo del campo (livello PLQ1-C). Considerato che il campo è chiuso alla produzione e che i dati di pressione sono ben riprodotti, si ritiene che il modello *Eclipse* del dicembre 2021 abbia un buon grado di affidabilità.

#### 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 lo sviluppo del campo di Calipso con la messa in produzione di un nuovo pozzo.

I risultati mostrano, per il campo di Calpurnia, un valore di subsidenza massima di 17 cm al 2021 che diminuisce nel tempo raggiungendo il suo valore minimo di 14 cm al 2041, costante fino a fine simulazione (2050) per lo scenario FD.

Per tutti gli scenari considerati nello studio, la massima estensione della subsidenza prevista, corrispondente alla curva di iso-subsidenza dei 2 cm, si mantiene 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 sulla piattaforma di Calpurnia, per entrambi gli scenari (DN e FD).

La Tabella 1 riporta per Calpurnia e gli altri campi, 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 (m) 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

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 7 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

## 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 vari campi considerati 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.

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 prepliocenica posta talora a poche centinaia di metri di profondità – (pozzo Brezza 1) 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 dal litorale (ad es. 35 km per Calipso),
- 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).

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 8 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

## 8 Survey Batimetrici

Tra la fine del 2007 e l'inizio del 2008 è stato eseguito un rilievo batimetrico multi-beam di un'area (superficie 1662 km<sup>2</sup>) comprendente i campi del *Clara Complex*, di Calipso ed Elettra. Pur in presenza di un andamento irregolare del fondale marino, tale rilievo ha consentito di evidenziare per Calpurnia una zona di disturbo arealmente limitata e coincidente, approssimativamente, con la zona di culmine del giacimento.

Tale disturbo raggiunge circa 35 cm sul fondale (Figura 10 - rel. Eni - *Università di Urbino dell'agosto 2008 trasmessa a MATTM in data 11/11/08- prot. UGIT ET/mv 1410*), valore confermato dal modello di subsidenza del 2021, pur considerando le incertezze insite nel metodo di misura batimetrico.

## 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.

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 9 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

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).

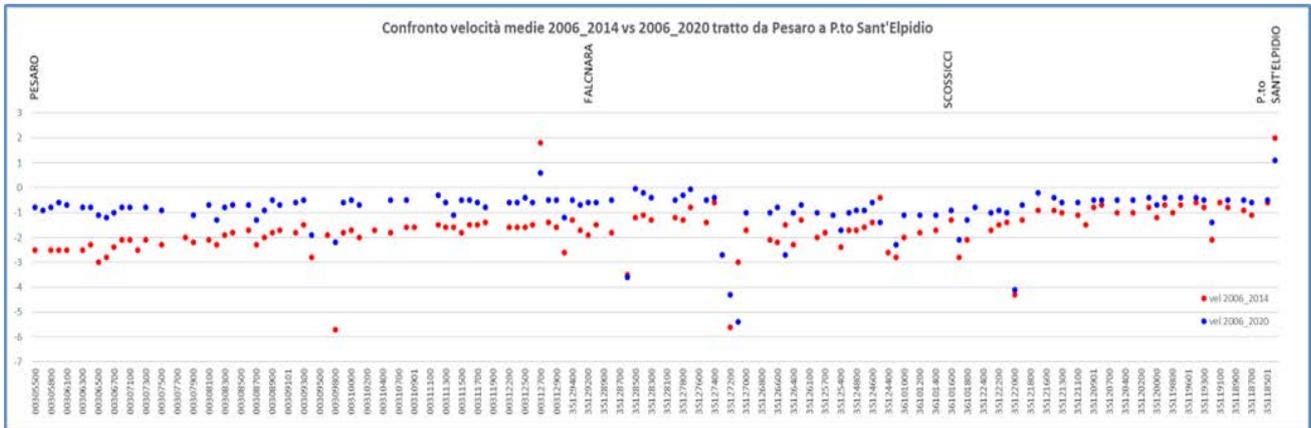
Tali stazioni costituiscono una serie di capisaldi origine omogenei, che consentono di ottenere misure di quota fra loro consistenti.

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 - Porto Sant'Elpidio/Porto S.Giorgio e Marche-Abruzzi. Nel tratto di costa da Pesaro a P.to San Giorgio, antistante alla piattaforma di Calpurnia, 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 anti-stante 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.

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.

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

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 11 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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 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

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 12 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

(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 Calpurnia e nel tratto di costa antistante il giacimento (CGPS di Fano a nord e Falconara a sud), sono elaborati con il *software* scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS e certificati fino alla fine della serie storica disponibile.

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

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 13 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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.

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 Calpurnia, dove permane la presenza di un'anomalia sul ricevitore che non è stata ancora risolta, sulla base di una serie storica di misure CGPS, aggiornata a 14/11/2019, e nell'ipotesi di linearità del fenomeno deformativo, è possibile stimare una

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 14 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

velocità media di subsidenza totale<sup>2</sup> pari a -0.44 mm/a al 2019 (Figura 11, Figura 12) senza variazioni significative rispetto al valore riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-1.02 mm/a al 2018).

Utilizzando un software realizzato dall'Università di Roma La Sapienza (software FEED – Fast Elbow Effect Detector) creato per migliorare le analisi dei dati delle serie storiche GNSS per rilevare variazioni di velocità, nell'andamento temporale di tale *dataset* di misure CGPS, inoltre, si possono osservare almeno tre significative variazioni di velocità, che sono ben correlabili con corrispondenti periodi della storia produttiva del campo (Figura 13).

In particolare:

- la velocità media di subsidenza totale è di circa -21.19 mm/a nel periodo febbraio 2008 (installazione del CGPS) - ottobre 2008;
- la velocità media di subsidenza totale è di circa -4.86 mm/a nel periodo ottobre 2008 - gennaio 2014;
- la velocità media di subsidenza totale è di circa +4.12 mm/a nel periodo gennaio 2014 - novembre 2019, che presenta quindi una inversione di tendenza, con un risollevarimento (*rebound*).

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.

---

<sup>2</sup> La "subsidenza totale GPS" 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.

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 15 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## 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  $-0.2 \pm 1.1$  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).

## 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 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.

## 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 quest'ultime siano state depurate dalla componente di subsidenza naturale.

Per il campo di Calpurnia, si può notare come le previsioni modellistiche siano in soddisfacente accordo con l'andamento misurato dal CGPS (Figura 15).

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 16 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

### 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*, (con particolare riferimento a *Calpurnia*) dai campi di Calipso e 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.

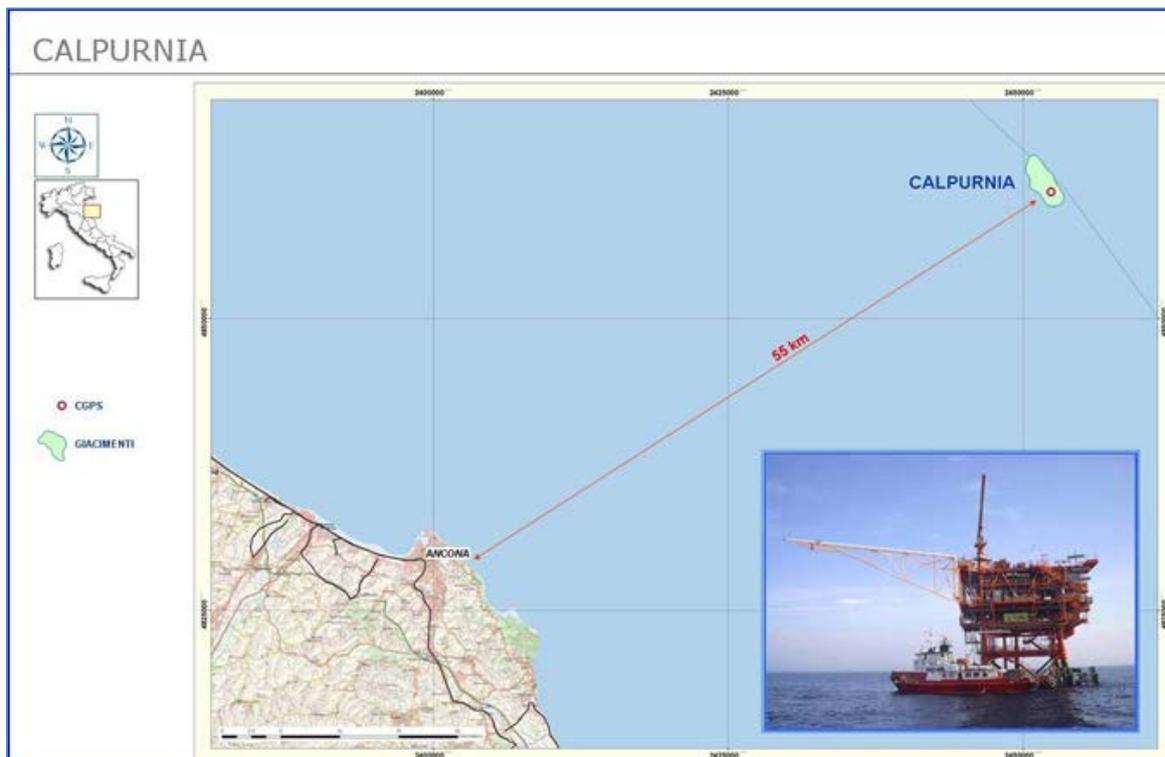


Figura 1 - Ubicazione del campo di Calpurnia

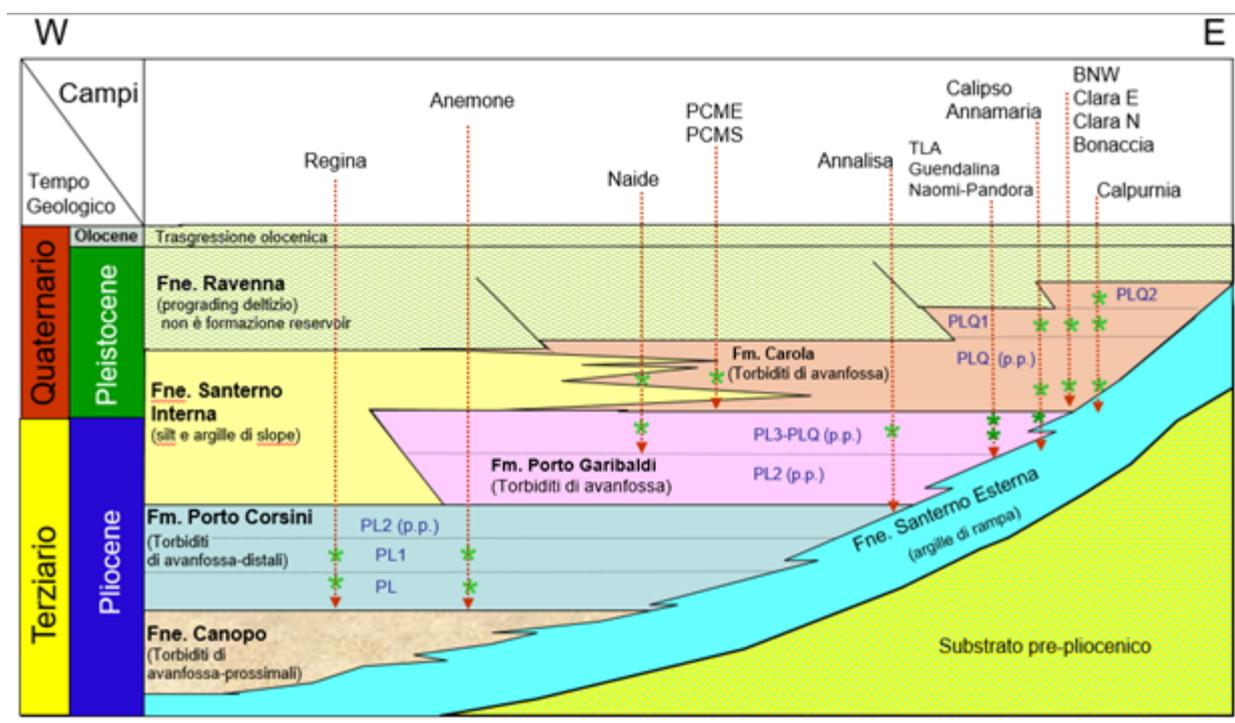


Figura 2 - Bacino Adriatico settentrionale: esempio di schema dei rapporti stratigrafici e dei principali reservoir (\*) sviluppati dai campi

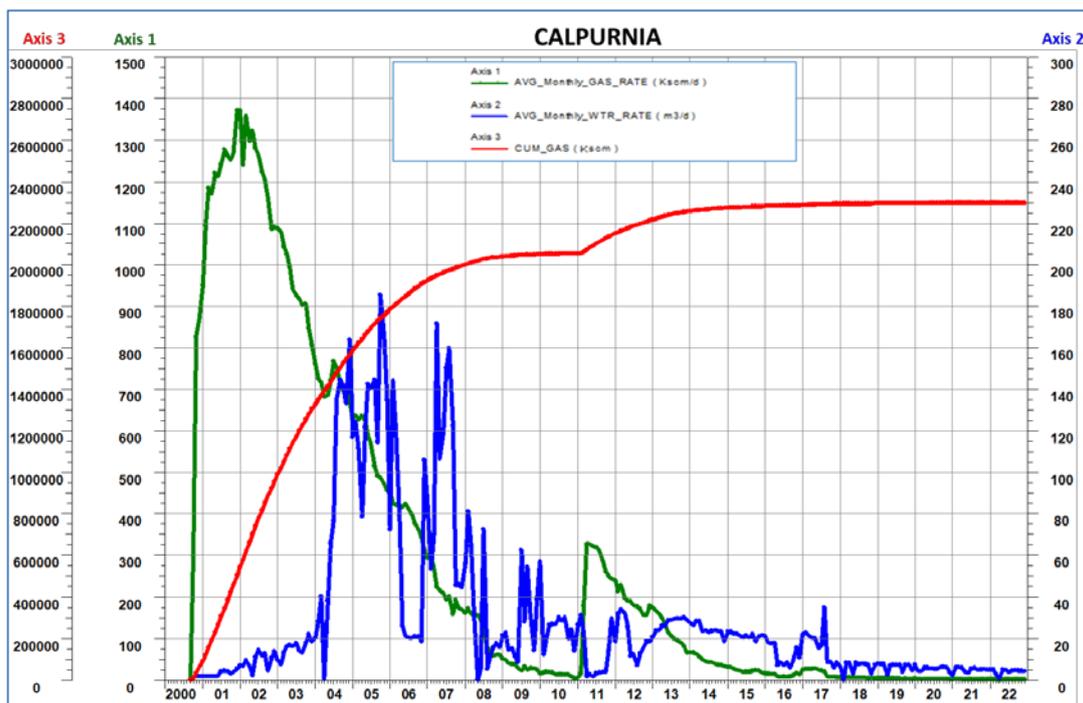


Figura 3 - Campo di Calpurnia: produzione storica

CAMPO DI CALPURNIA					
ANNO	Produzione annuale (MSm <sup>3</sup> )		Produzione cumulativa (MSm <sup>3</sup> )		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
2000	61	61	61	61	3%
2001	441	441	502	502	22%
2002	454	453	956	956	42%
2003	349	349	1305	1305	57%
2004	262	262	1567	1567	68%
2005	205	205	1771	1771	77%
2006	145	145	1916	1916	83%
2007	79	79	1995	1995	87%
2008	43	43	2038	2038	89%
2009	13	13	2050	2050	89%
2010	5	5	2056	2056	89%
2011	87	87	2143	2143	93%
2012	70	70	2212	2212	96%
2013	44	44	2256	2256	98%
2014	18	18	2274	2274	99%
2015	8	9	2282	2282	99%
2016	5	5	2287	2287	99%
2017	7	7	2294	2294	100%
2018	2	2	2296	2296	100%
2019	2	2	2298	2298	100%
2020	1	1	2299	2299	100%
2021	1	1	2300	2300	100%
2022	1	0	2301	2300	100%
2023					

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

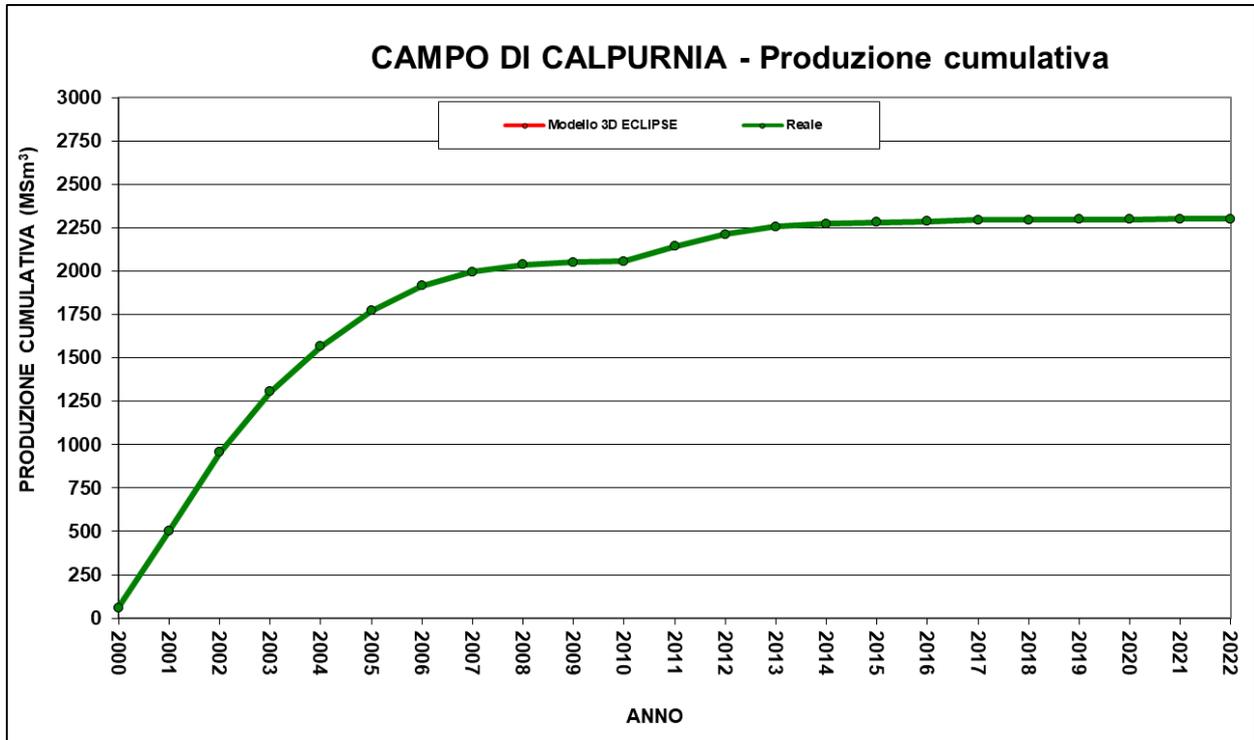


Figura 5 - Campo di Calpurnia: produzione reale e da modello *Eclipse* 2021

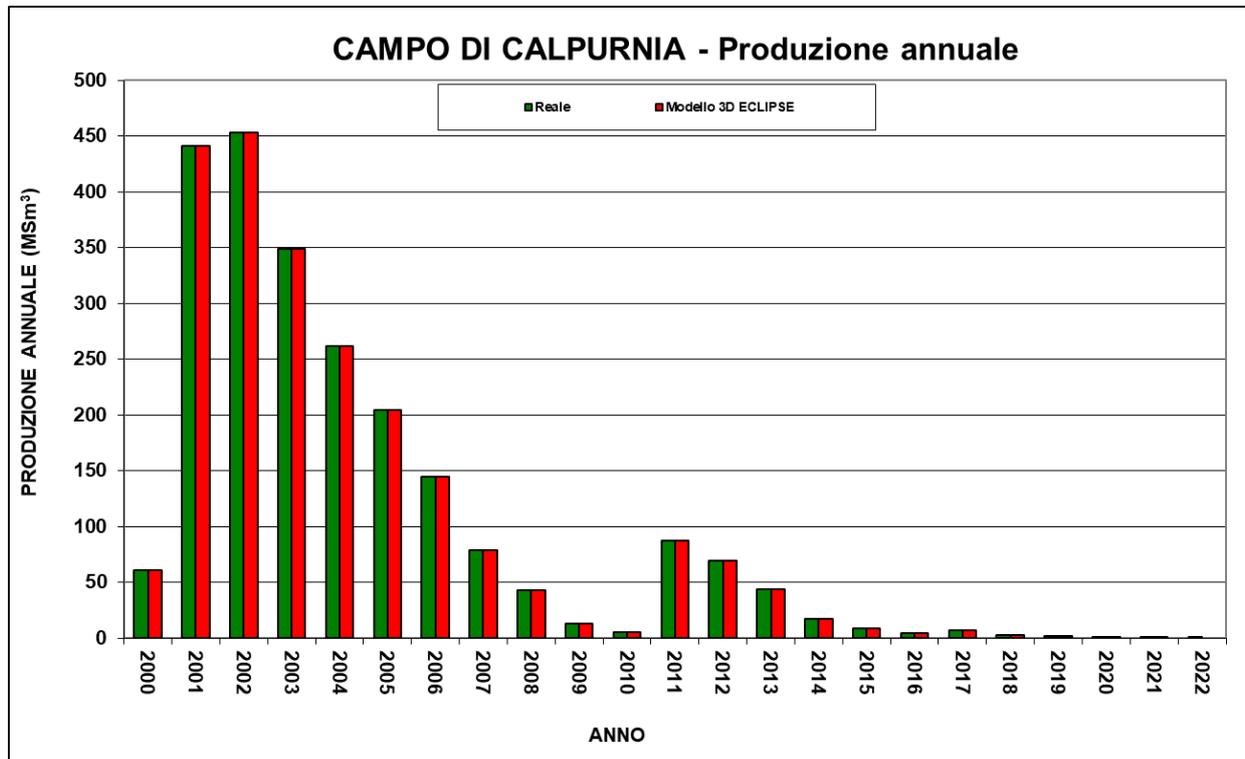
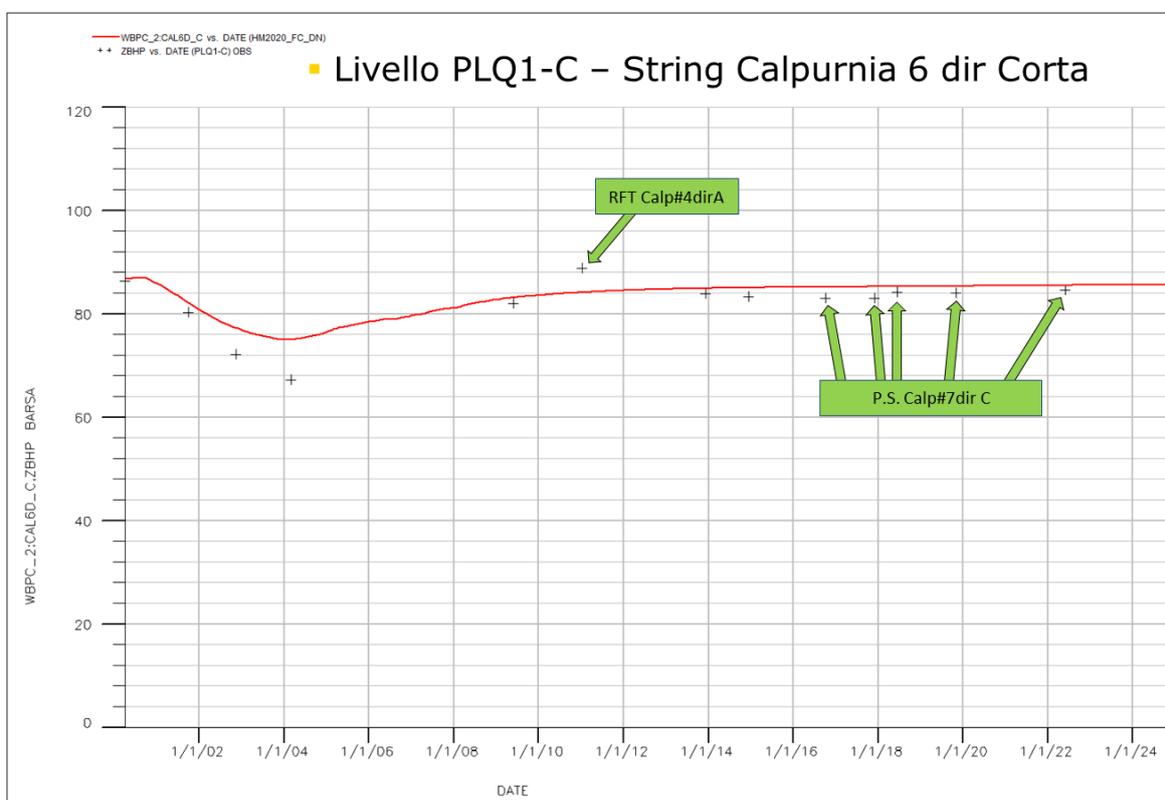


Figura 6 - Campo di Calpurnia: produzione (annuale) reale e da modello *Eclipse* 2021

CAMPO DI CALPURNIA			
Data	Livello PLQ1-C		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
01/04/2000	86		6 C
01/10/2001	80		6 C
12/11/2002	72		6 C
29/02/2004	67		6 C
01/06/2009	82		6 C
11/01/2011	89	4 dir A	
09/12/2013	84		6 C
11/12/2014	83		6 C
01/09/2015	*		6 C
03/10/2016	83		7 C
01/12/2017	83		7 C
14/06/2018	84		7 C
06/11/2019	84		7 C
03/06/2022	85		7 C



**Figura 7 - Campo di Calpurnia: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2021 (livello PLQ1-C)**

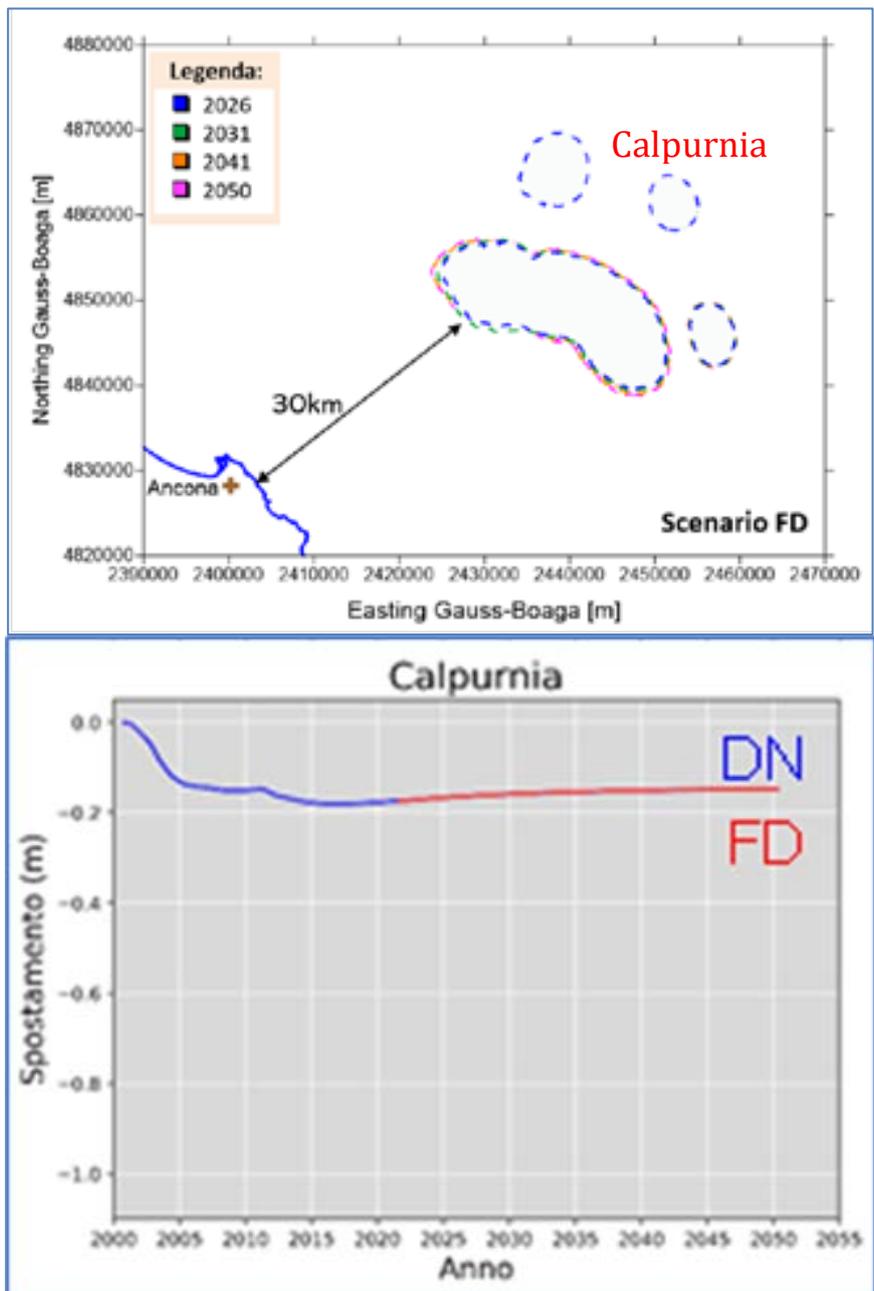


Figura 8 - Campo di Calpurnia: A sx: mappa con l'evoluzione della linea di iso-subsidenza 2 cm nel periodo 2021-2050 per lo scenario FD. La distanza minima dalla costa resta pari o superiore ai 30km, e rimane pressochè invariata per l'intera durata del periodo. A dx : evoluzione della subsidenza in corrispondenza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

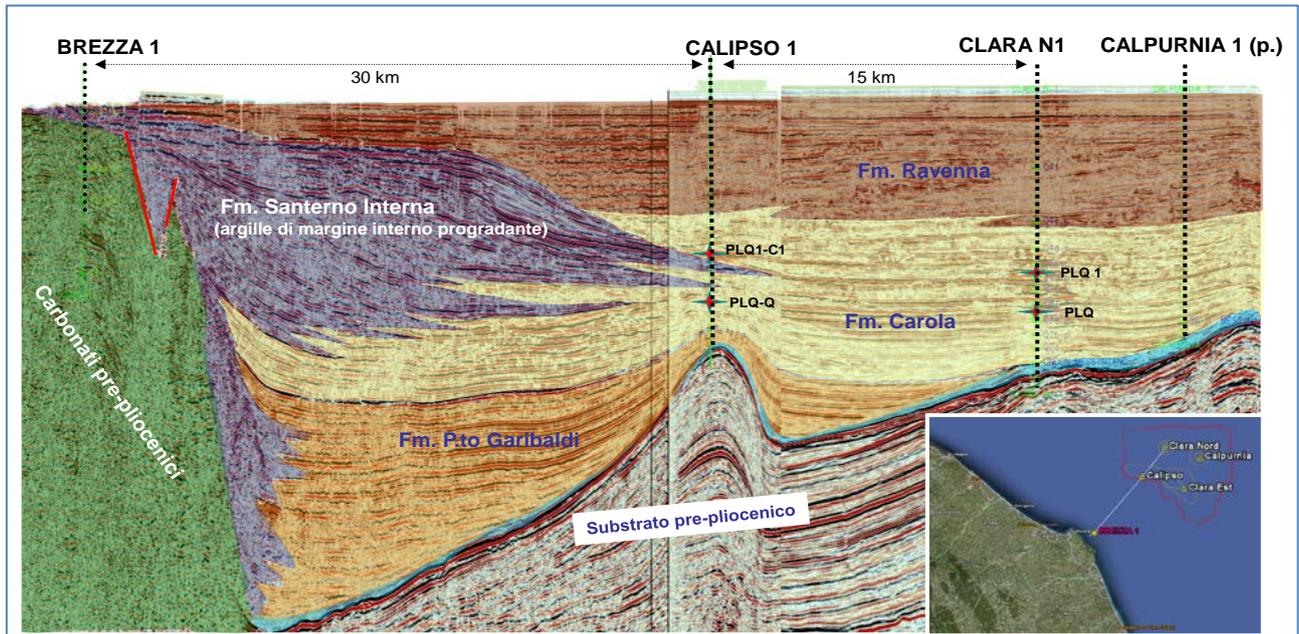


Figura 9 - Clara Complex e Calipso: sezione sismica interpretata

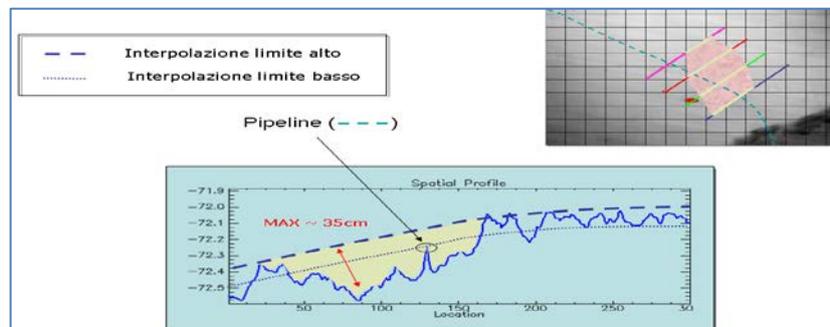
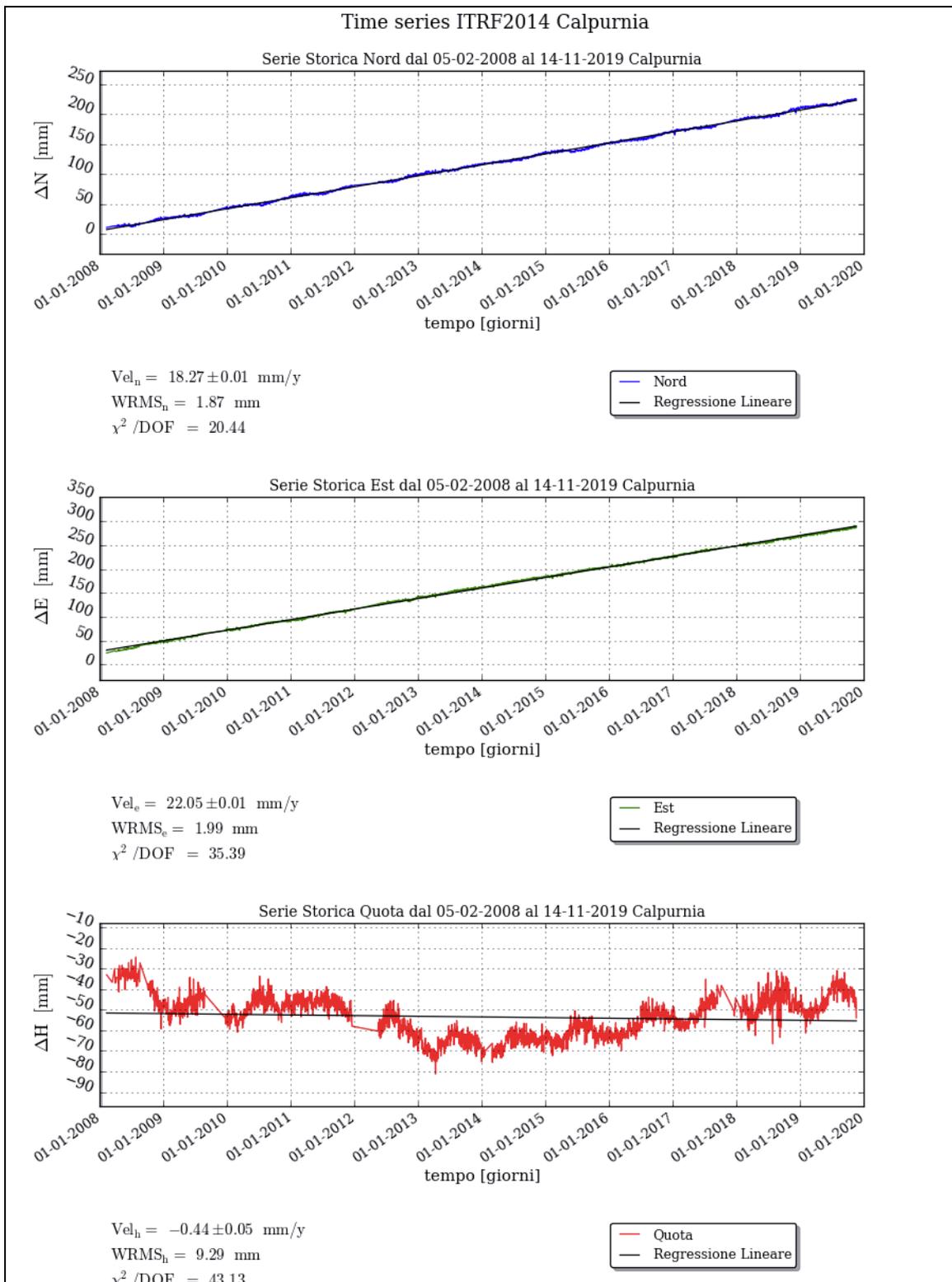


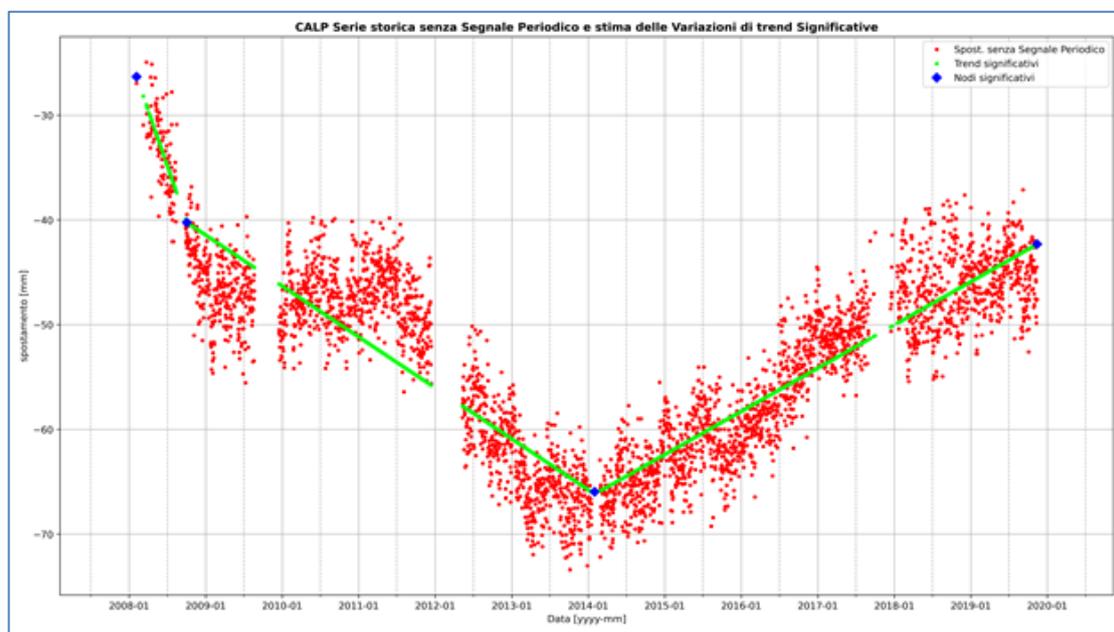
Figura 10 - Campo di Calpurnia: profilo batimetrico interpolato e differenza con la batimetria misurata



**Figura 11 - Campo di Calpurnia: serie storica di misure CGPS**

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

Figura 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	2008-02-05	2008-10-02	-21.19	1.22
2	2008-10-02	2014-01-31	-4.86	0.05
3	2014-01-31	2019-11-13	4.12	0.04

Figura 13 - Campo di Calpurnia: analisi della serie di misure CGPS

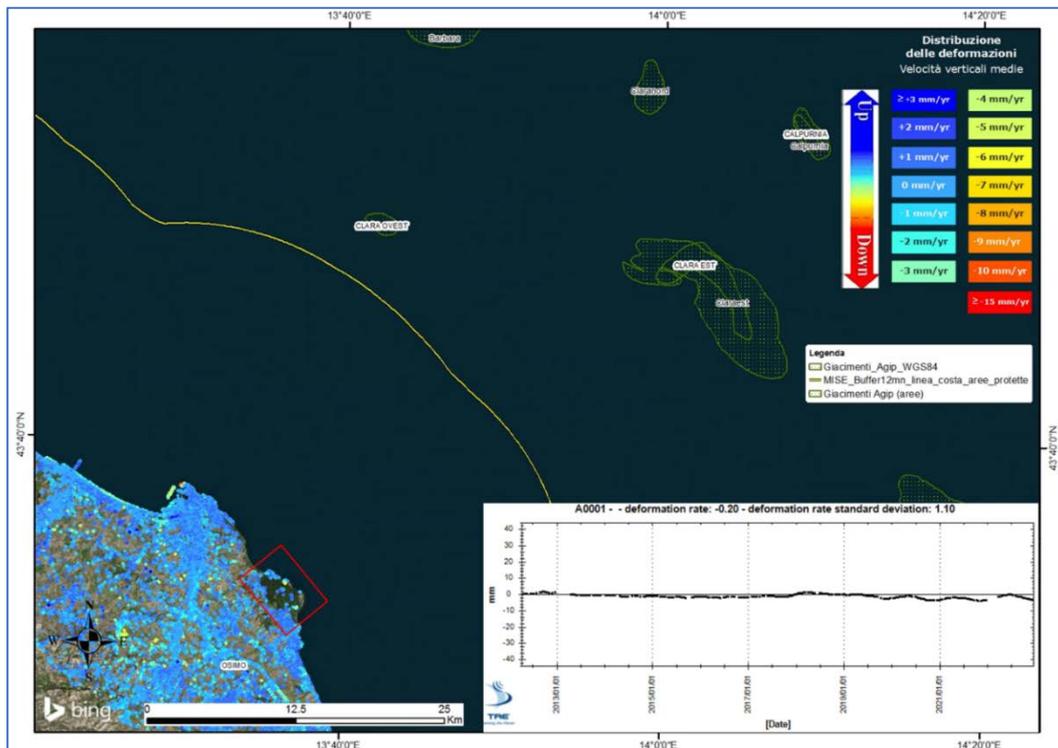


Figura 14 - Analisi dati InSAR dal 2012 al 2022 nel tratto di costa antistante il campo di Calpurnia. Serie storica media (dal 2012 al 2022) dello spostamento medio ricavata dai dati InSAR all'interno del poligono rosso.

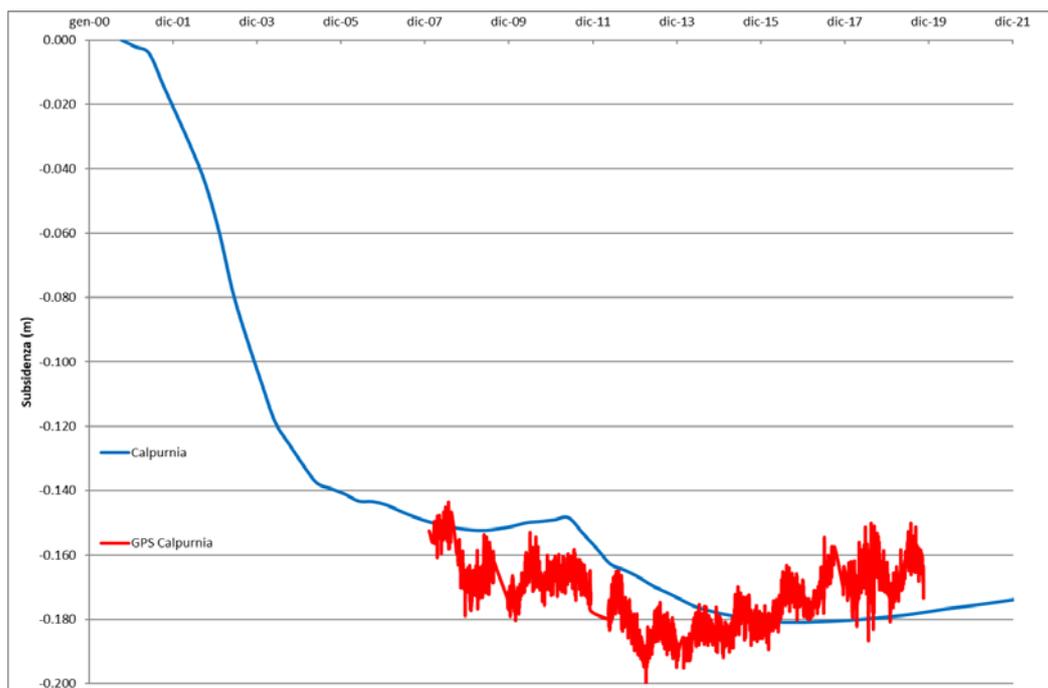


Figura 15 - Calpurnia: andamento della subsidenza misurata (CGPS in p.ma) vs.modello

campo CALPURNIA (Eni 100%)			
DATI DI CAMPO		DECRETO VIA n. 4170 del 15 novembre 1999	
UBICAZIONE	offshore - 65 km a NE di Ancona 72 m	AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (CLARA COMPLEX)	
PROFONDITA' FONDALE		SIA	
LITOLOGIA	silt-sabbie fini in livelli sottili	ULTIMO AGGIORNAMENTO	
FORMAZIONE RESERVOIR	Ravenna - Carola	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "FEBBRAIO '96" Clara Complex - Agg. studio giac. per studio geomec. Rel. IPET-2F0DE718-0 (dic. 2021)
ZONA MINERARIA	PLQ2 - PLQ1 - PLQ	RISERVE (MSm <sup>3</sup> )	1536 (su un profilo di produzione di 9 anni)
PROFONDITA' RESERVOIR	570 - 1015 (IVDSS)	MOD. GEOMECCANICO	GEERTSMA CLINDRICO
TIPO DI PIATTAFORMA	fissa - standard	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	8 (dopo 9 anni)
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi sottili	MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)	#
			> 30 Km (linea isosubsidenza -2cm)
	D.M @ nov '99 @ 31 dic 2022	STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
CONCESSIONE	B.C22.AG	LIVELLAZIONI	
DATA SCADENZA CONCESSIONE	01/10/2024	ACQUISITI DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA - PESARO-PORTO S.GIORGIO) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2014, 2017e 2020	
N. POZZI (produttori)	5	LA CAMPAGNA DEL 2020 E' STATA CERTIFICATA DAL DICAM-UNIVERSITA' DI BOLOGNA	
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm <sup>3</sup> )	1981	IL PROSSIMO RILEVO 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	
START UP PRODUZIONE	ott-00	MARKERS	
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2015	NON PRESCRITTI	
GAS PRODOTTO (MSm <sup>3</sup> )	2301	CGPS	
% RISERVE PRODOTTE	100%	NEL CORSO DEL 2007 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 DELLE P.MA CALPURNIA. NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO	
		BATMETRIE	
		ESEGUITO RILEVO BATMETRICO. DATA RILEVO SETT.2007-FEBBRAIO 2008	

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

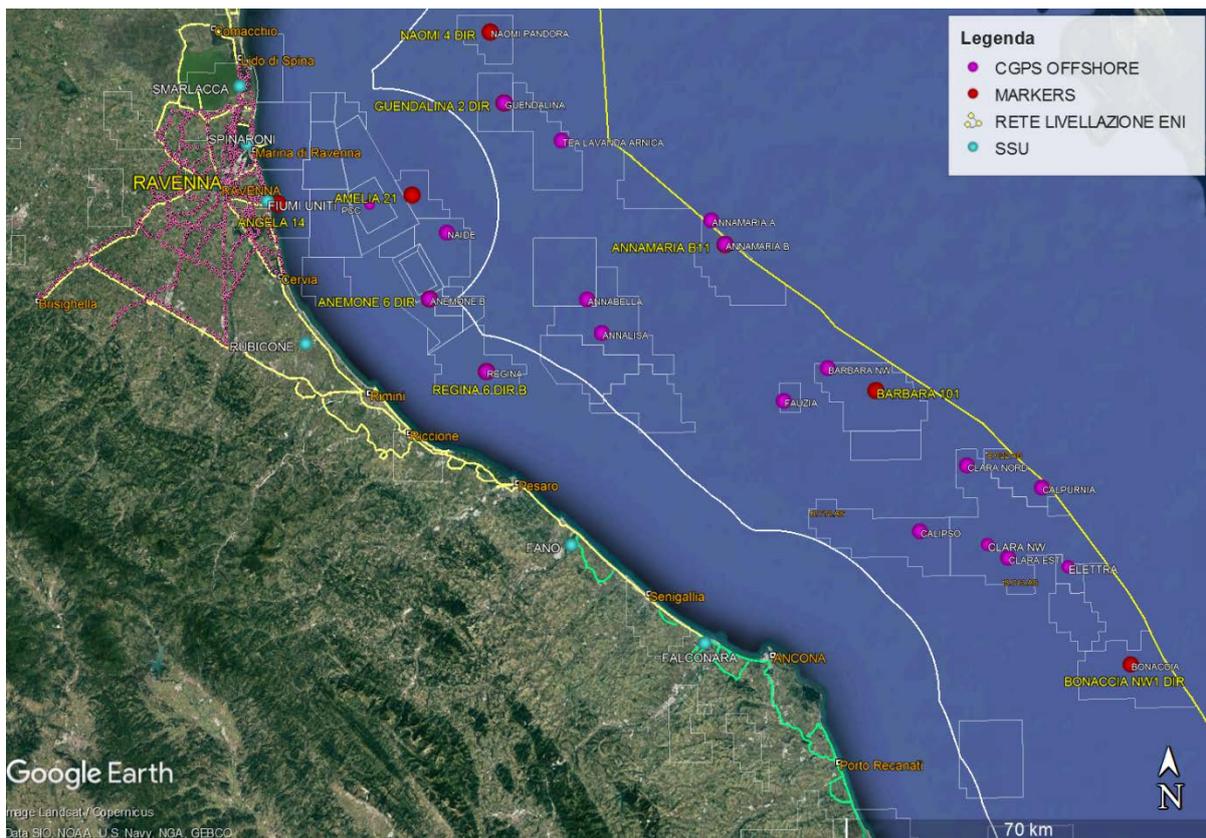


Figura 17 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

## 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 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 2 . 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

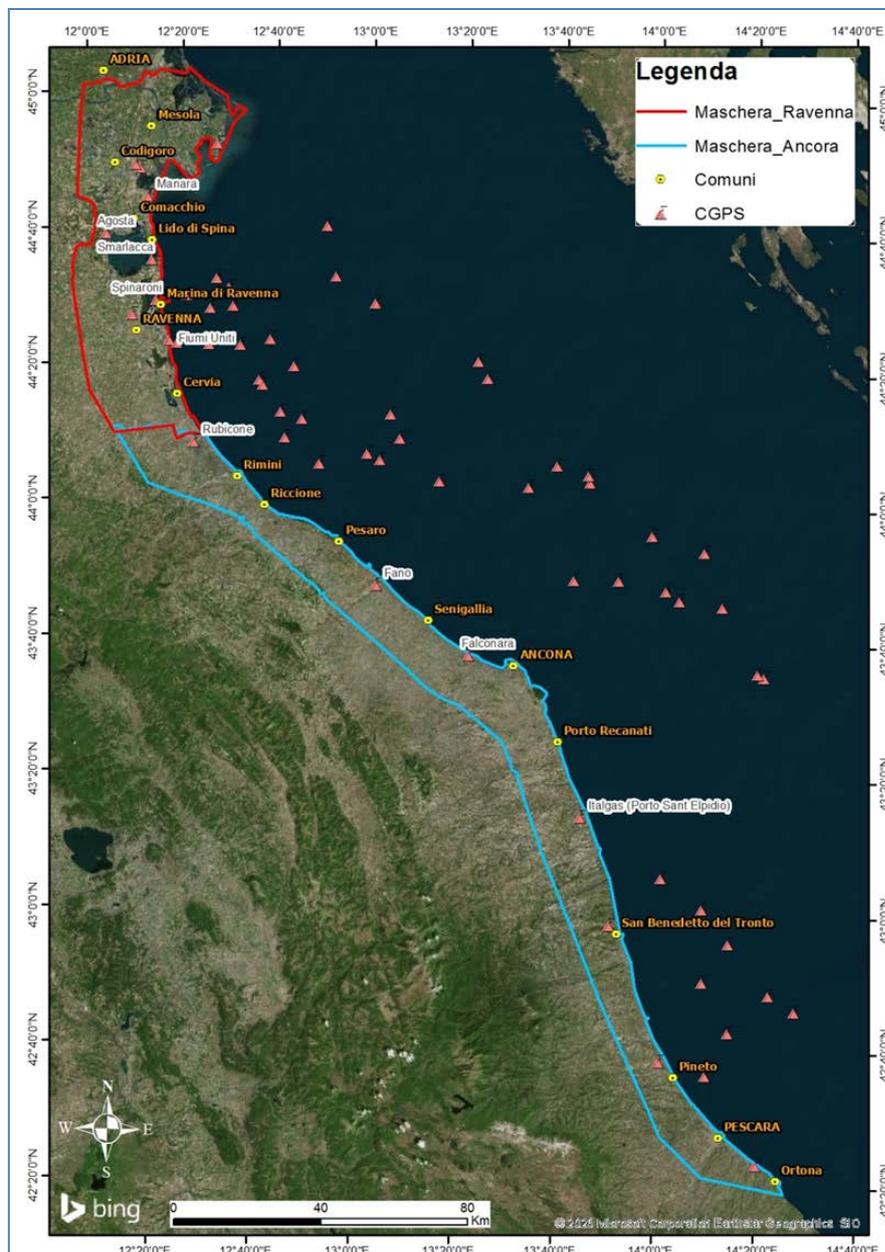


Figura 18. Mappa delle macro aree in cui sono stati raggruppati i dati SAR.

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 29 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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.

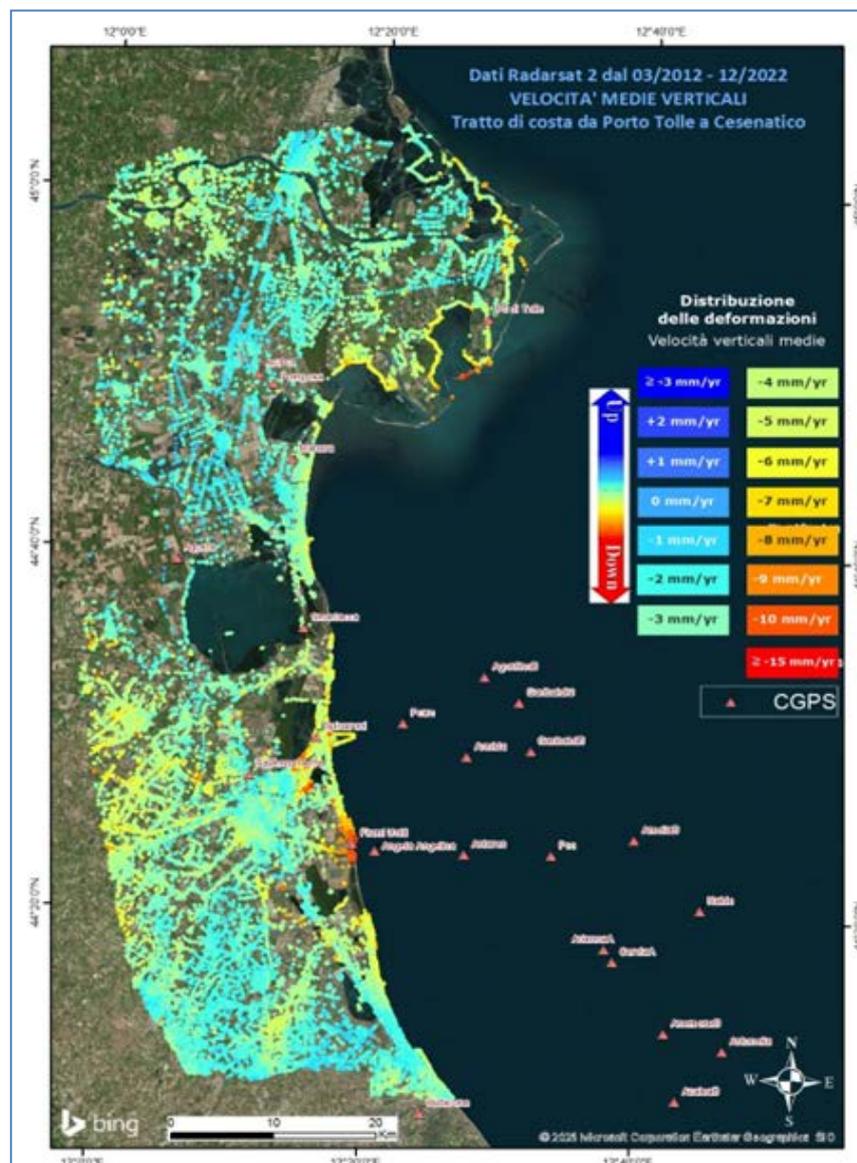


Figura 19. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

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.

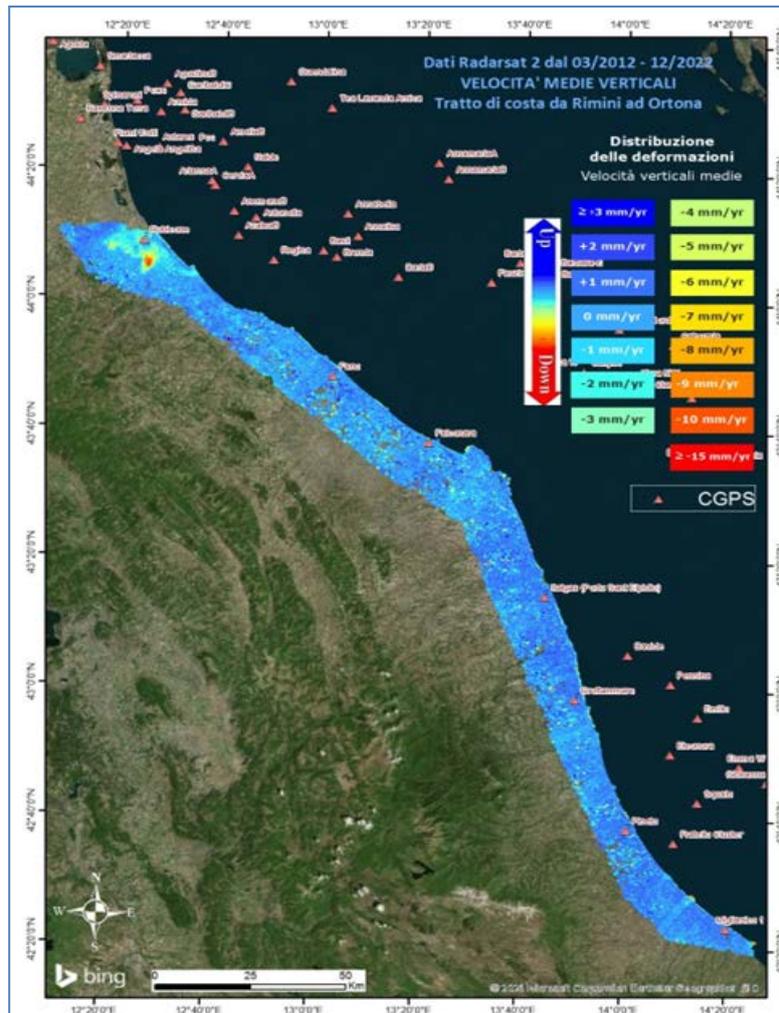


Figura 20. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.

### 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 sismici (Costantini et al., 2005). I PS corrispondono generalmente ad elementi al suolo,

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 32 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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.

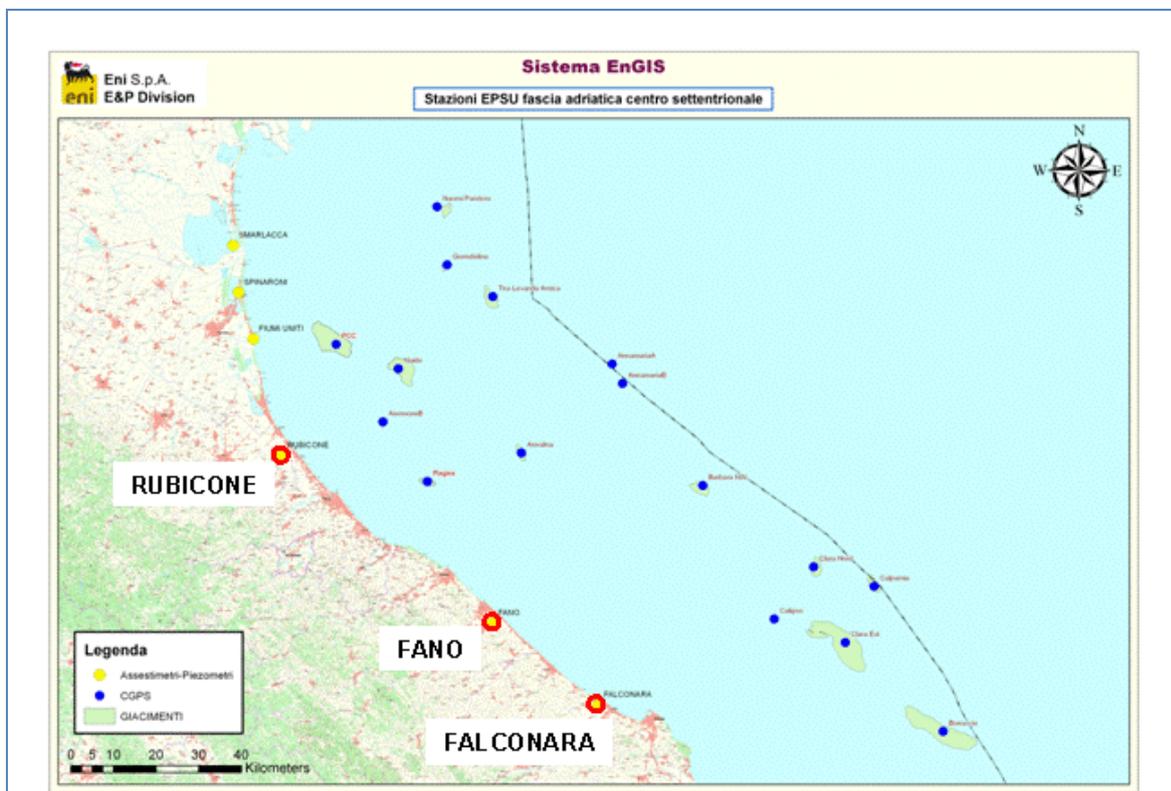


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

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

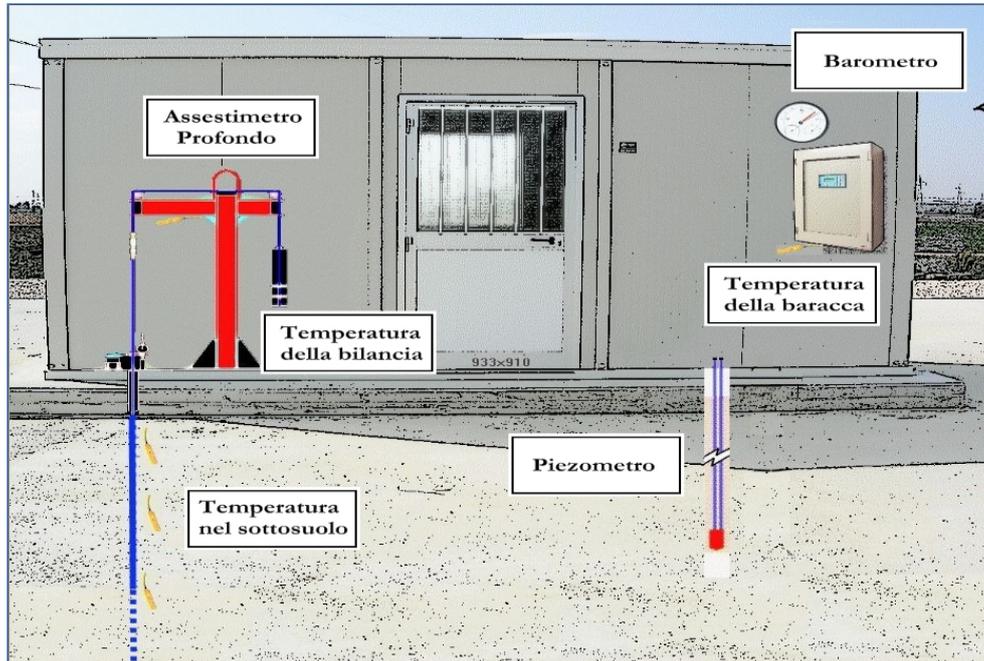


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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 CALPURNIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_CALP</p>	<p>Page - 35 - of 57</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:**

- assestometro - 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

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 36 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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 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

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 37 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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)).

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 38 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## 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.

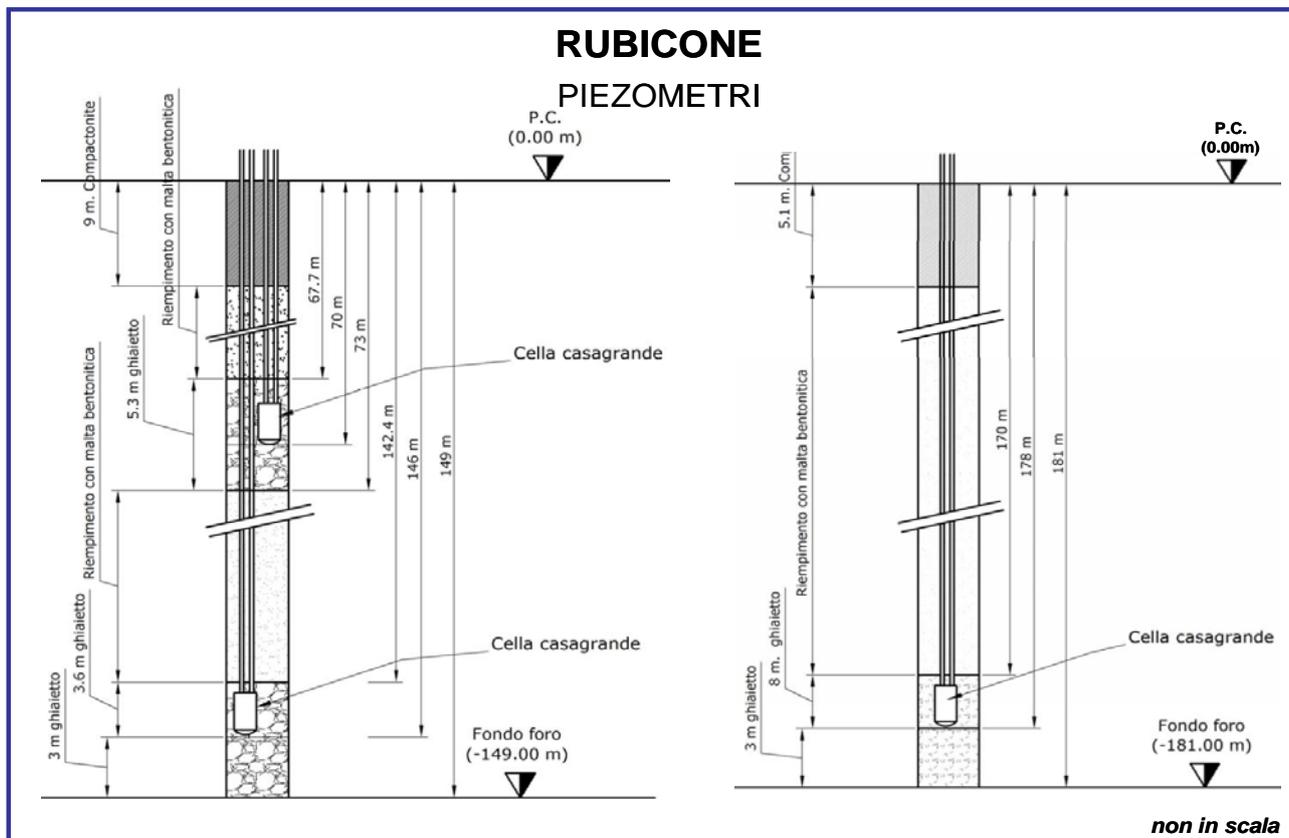


Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

## 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.

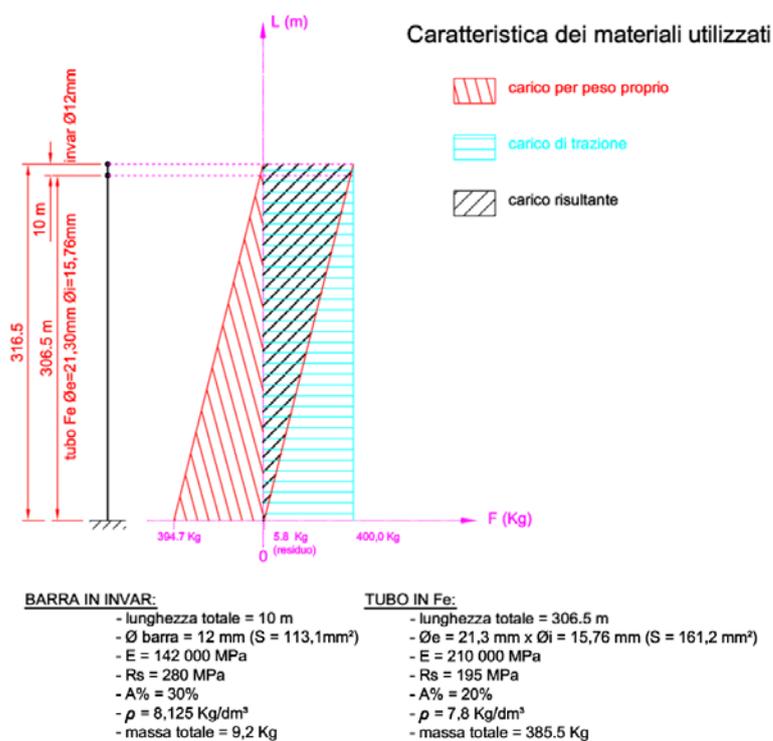


Figura 4B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone

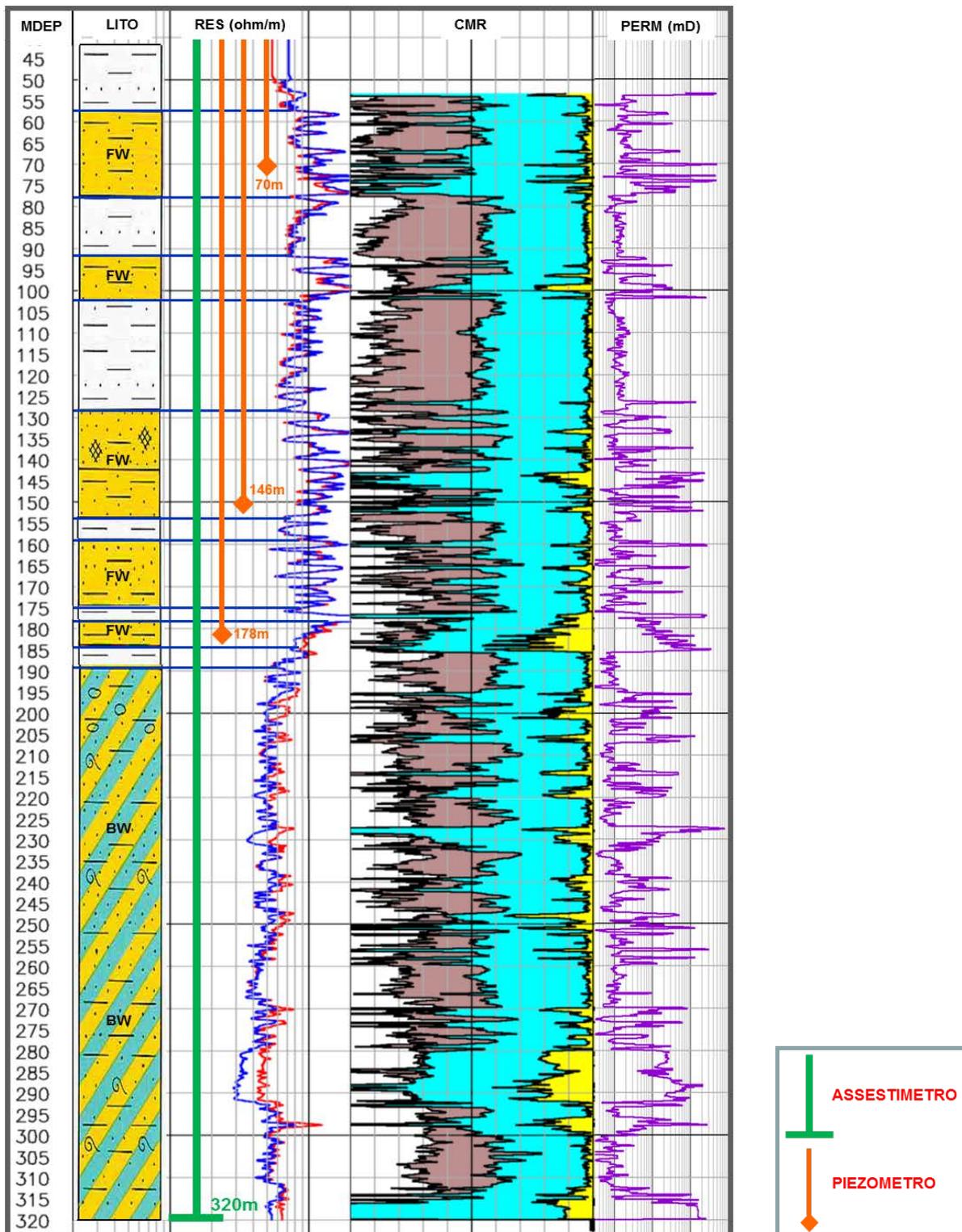
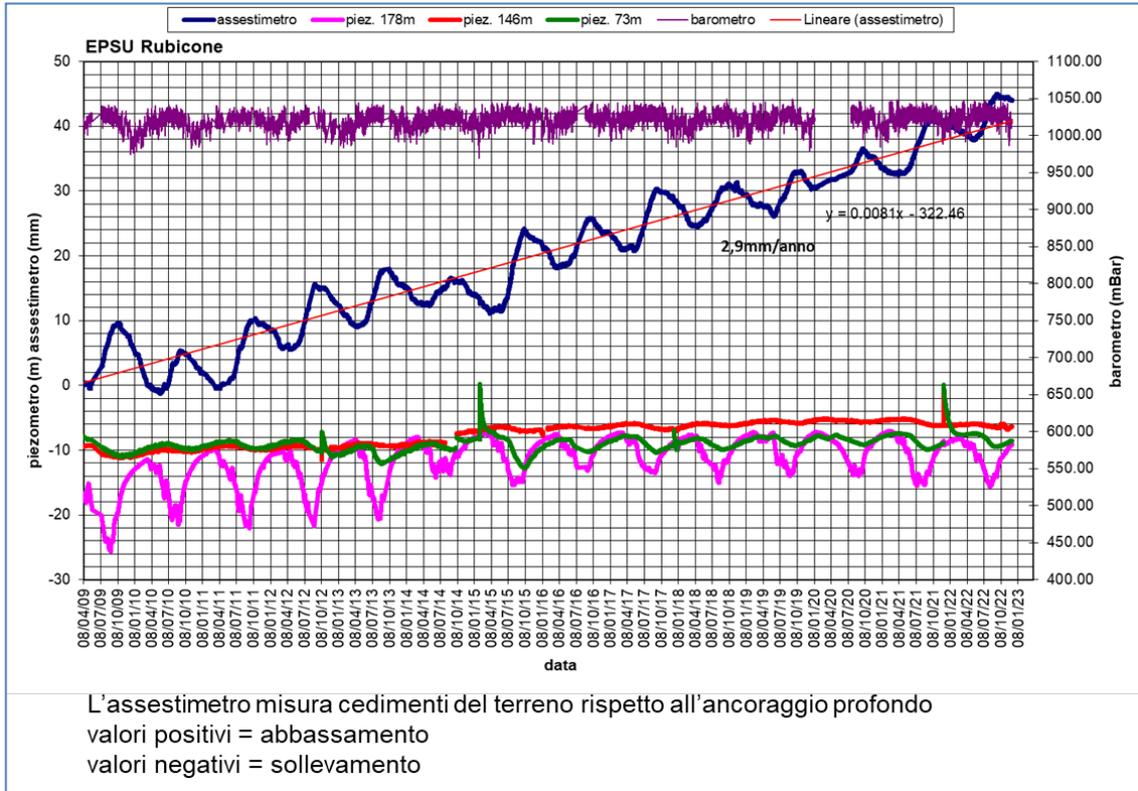
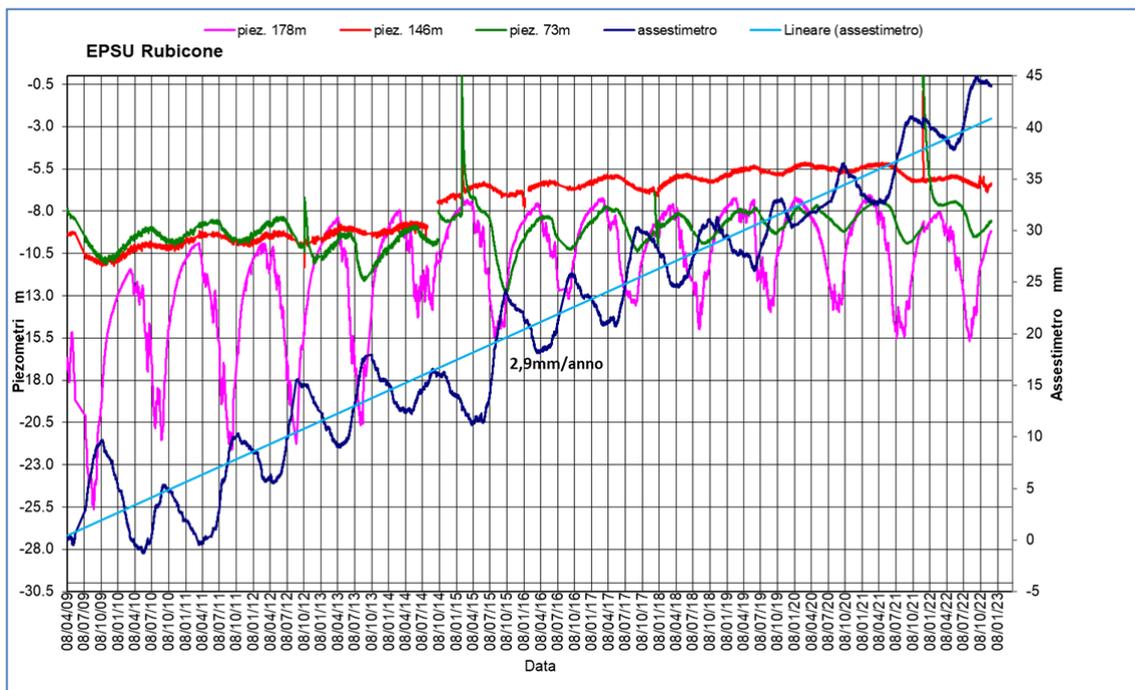


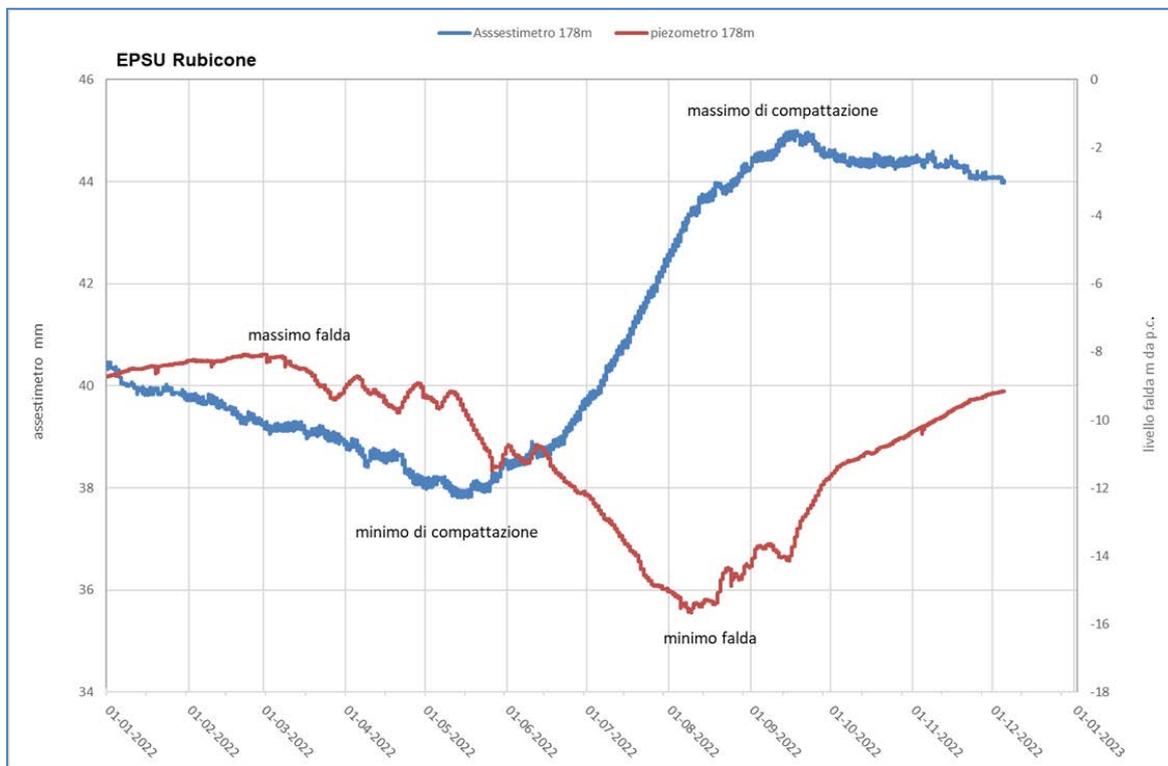
Figura 5B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone (FW=acqua dolce; BW=acqua salmastra)



**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**

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 44 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## **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.

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 45 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## 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  $\pm 1$  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'andamento che ha sempre caratterizzato questo strumento, è degno di nota. Il salto di compattazione si è verificato in corrispondenza dell'evento sismico che

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 46 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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 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  $\pm 7$  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.

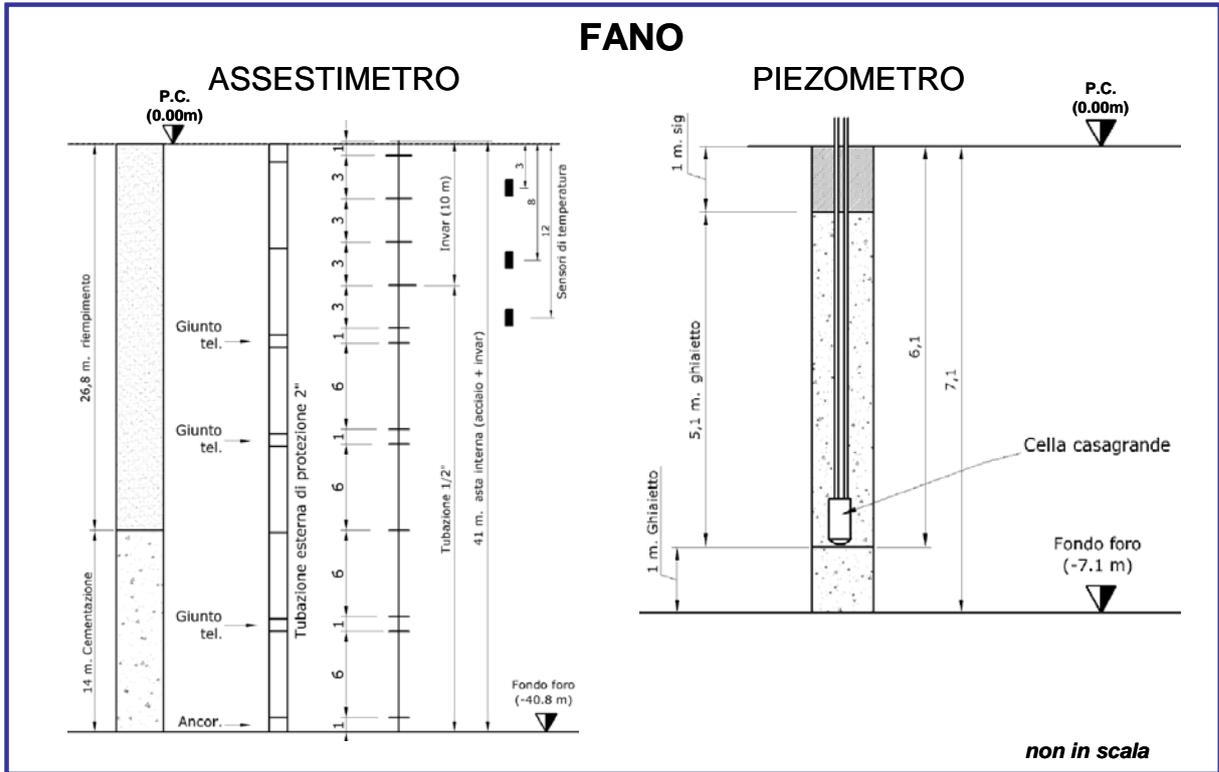


Figura 9B - Stazione EPSU di Fano

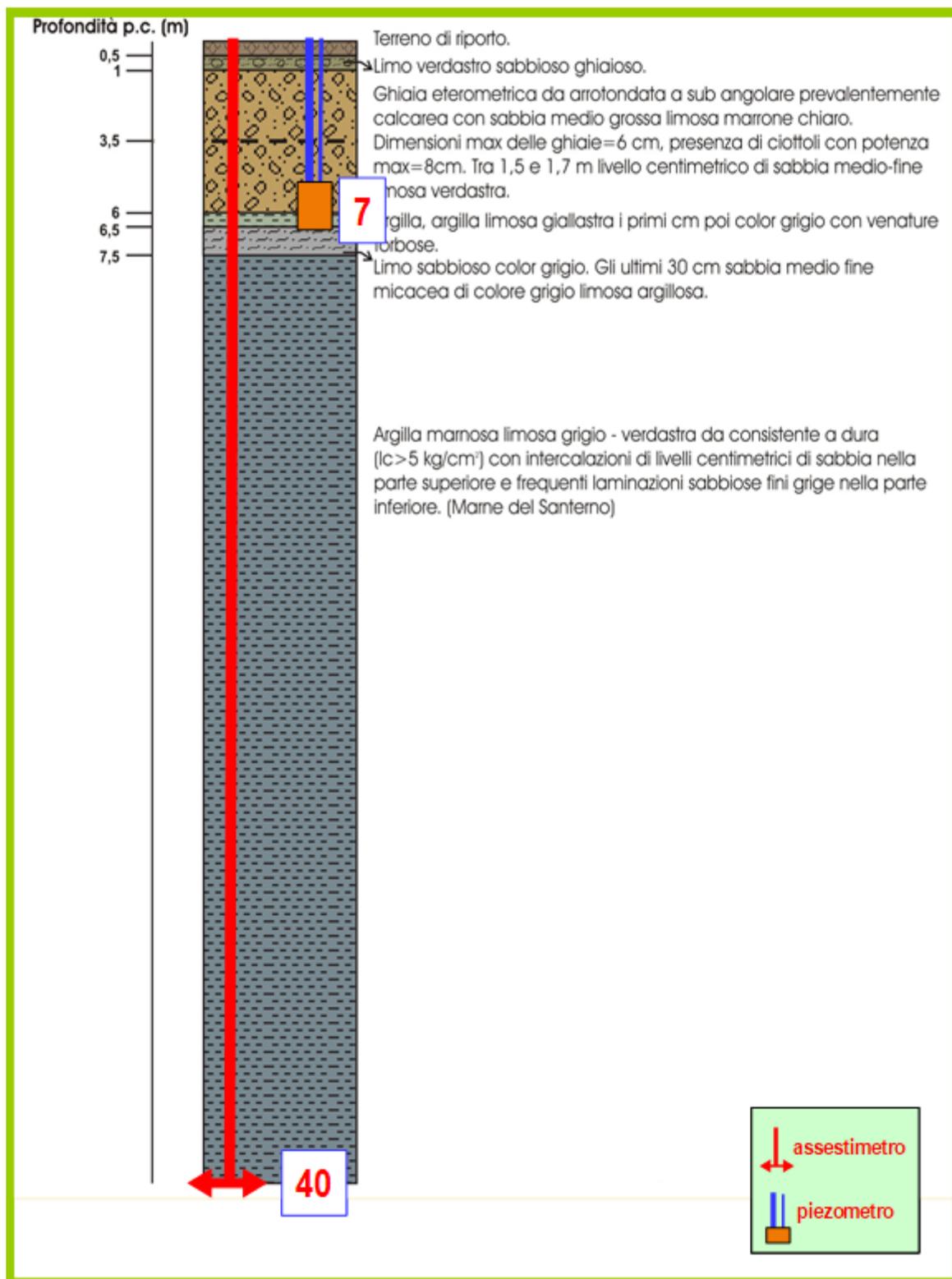
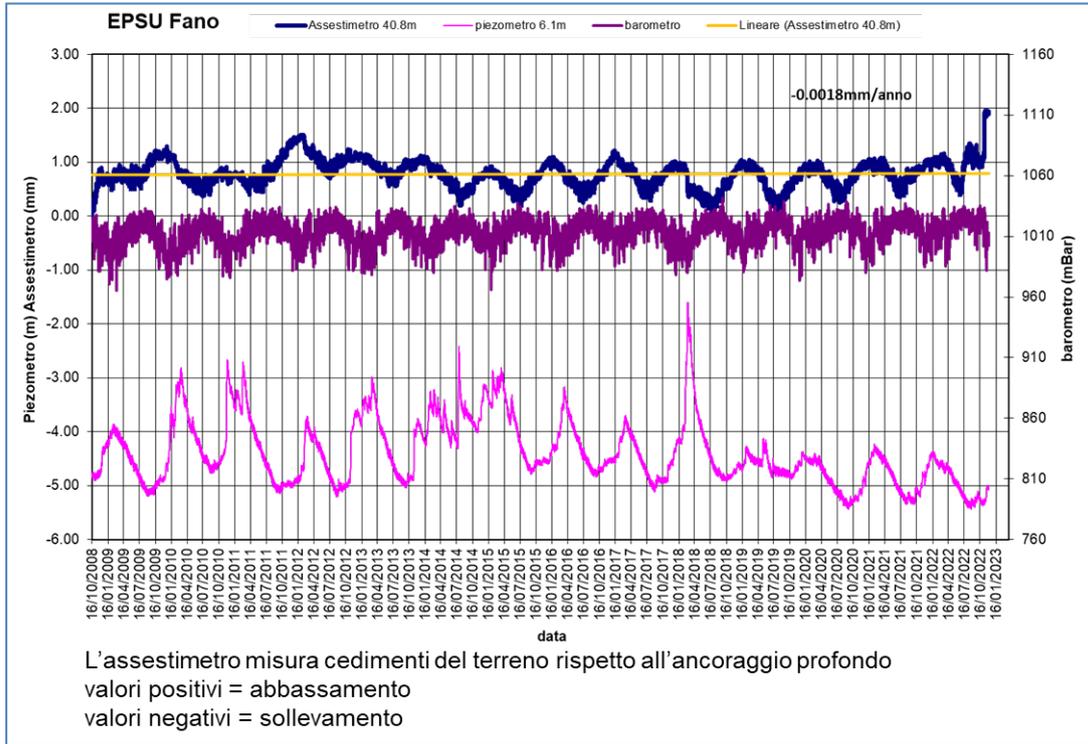
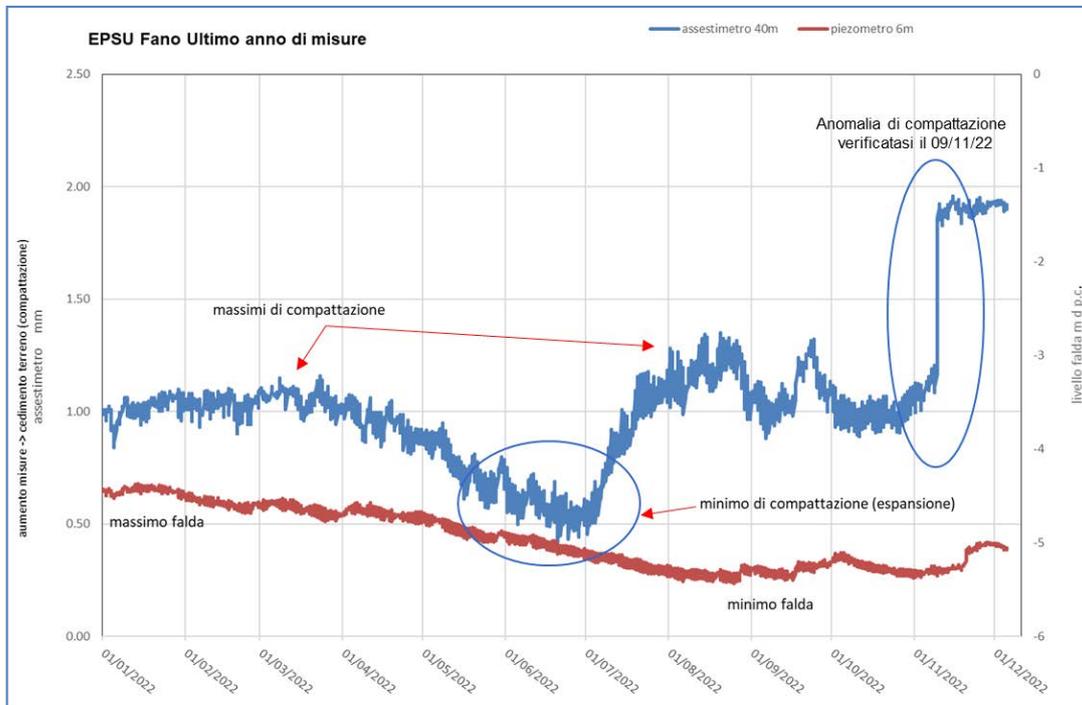


Figura 10B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano



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



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

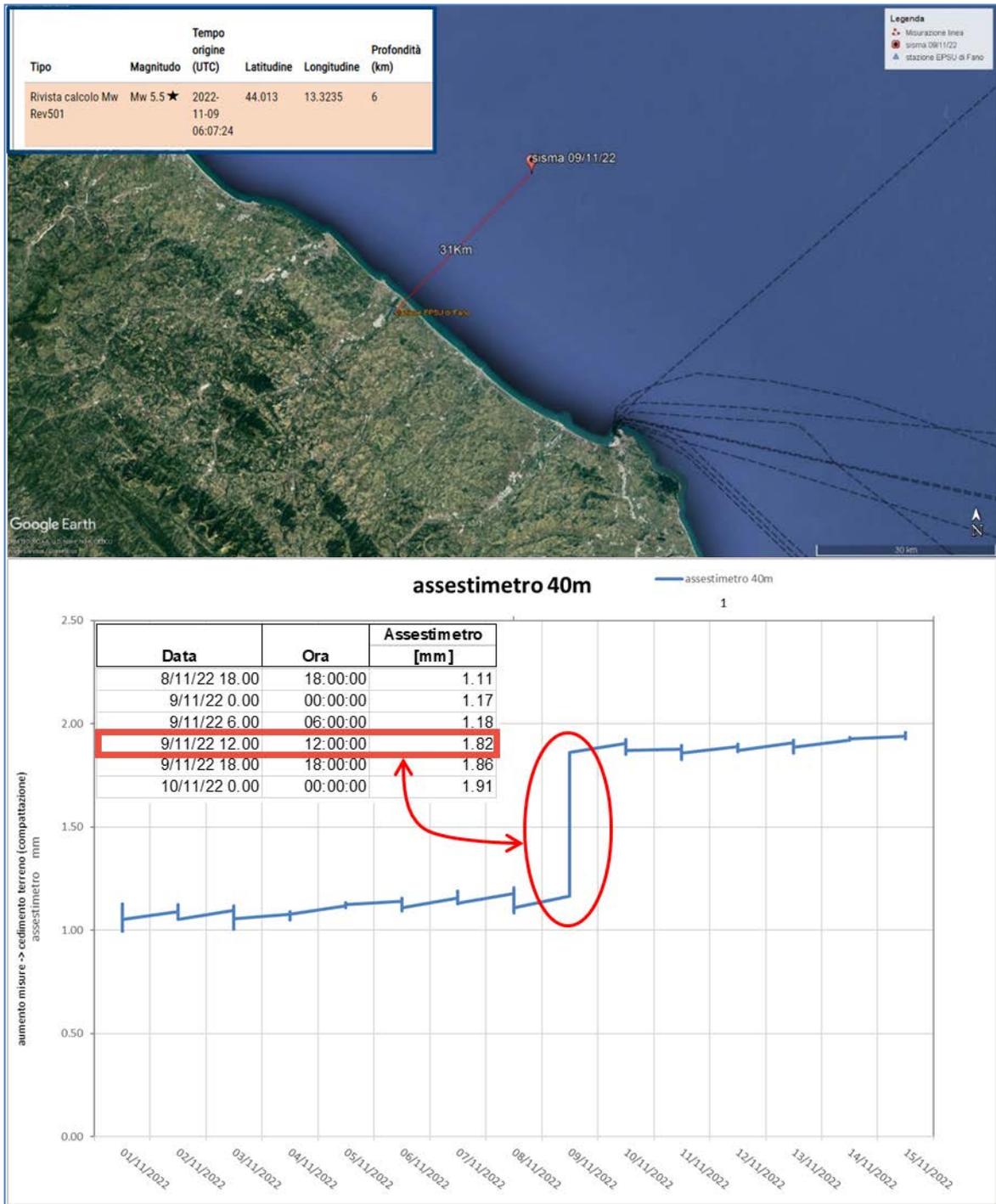


Figura 13B – In alto, ubicazione dell’evento sismico nell’offshore di Fano del 09/11/22 (coordinate ed ora evento da INGV); in basso relativo comportamento della strumentazione assestimetrica.

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 51 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## **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.

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 52 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## 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.

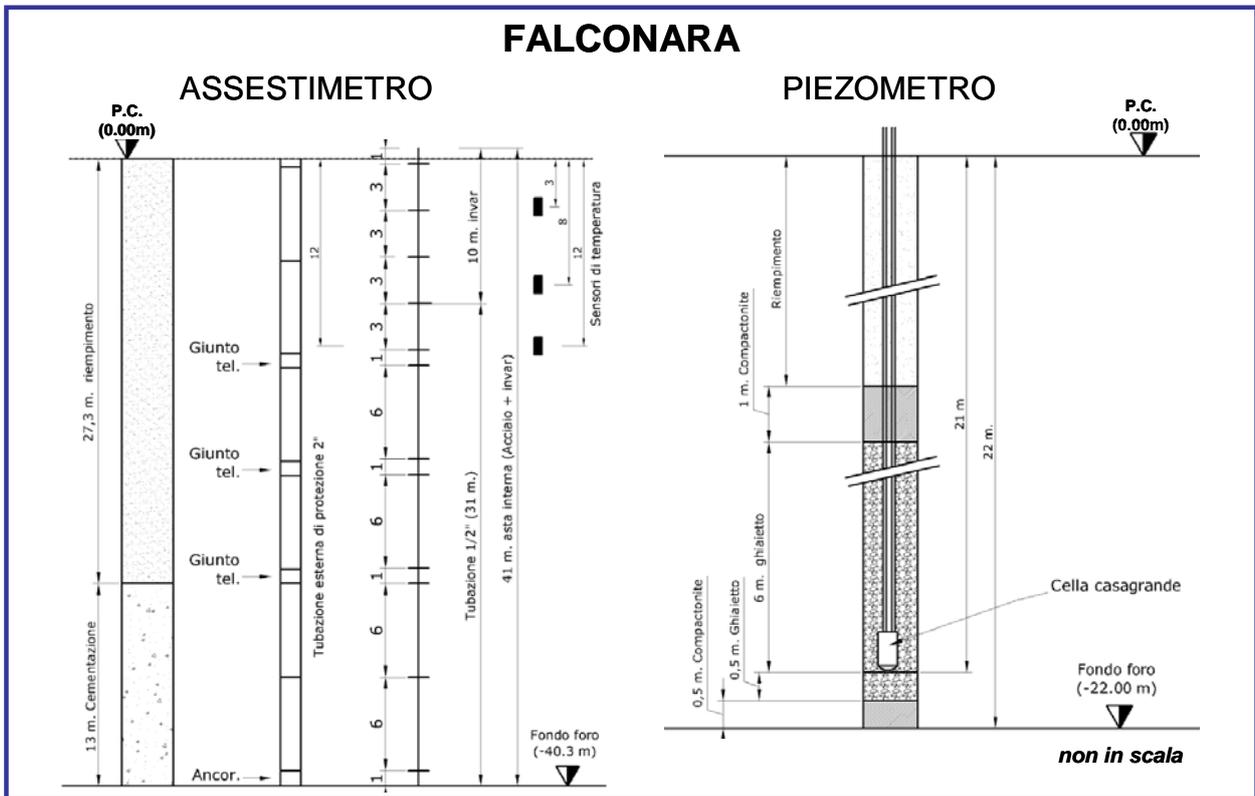


Figura 14B - Stazione della stazione EPSU di Falconara

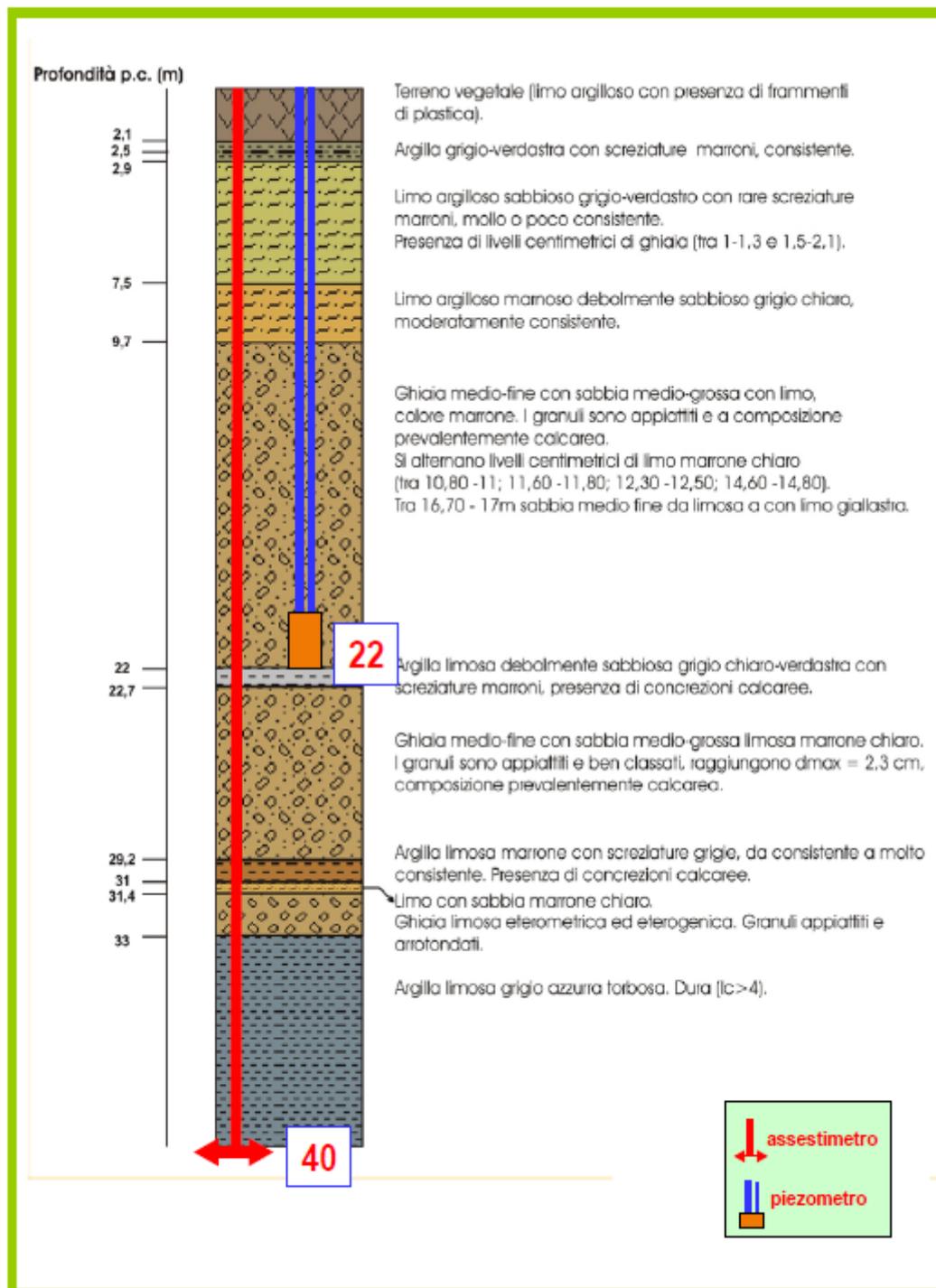
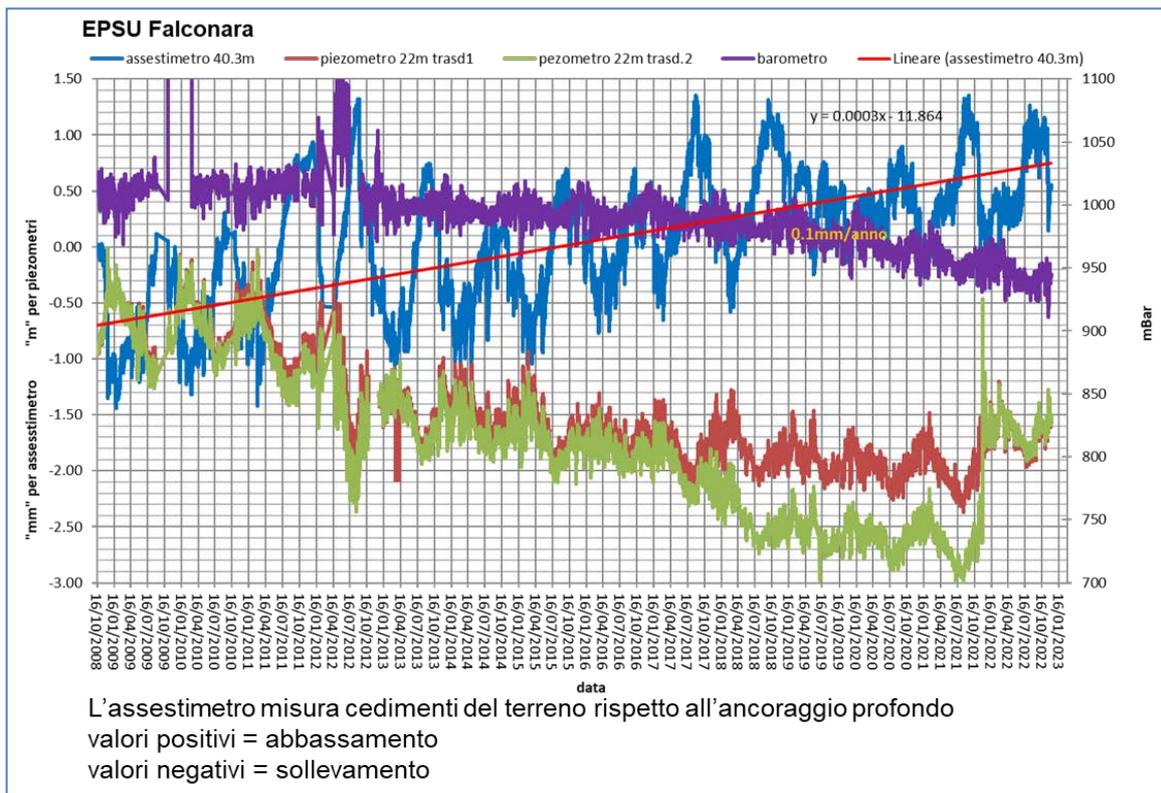
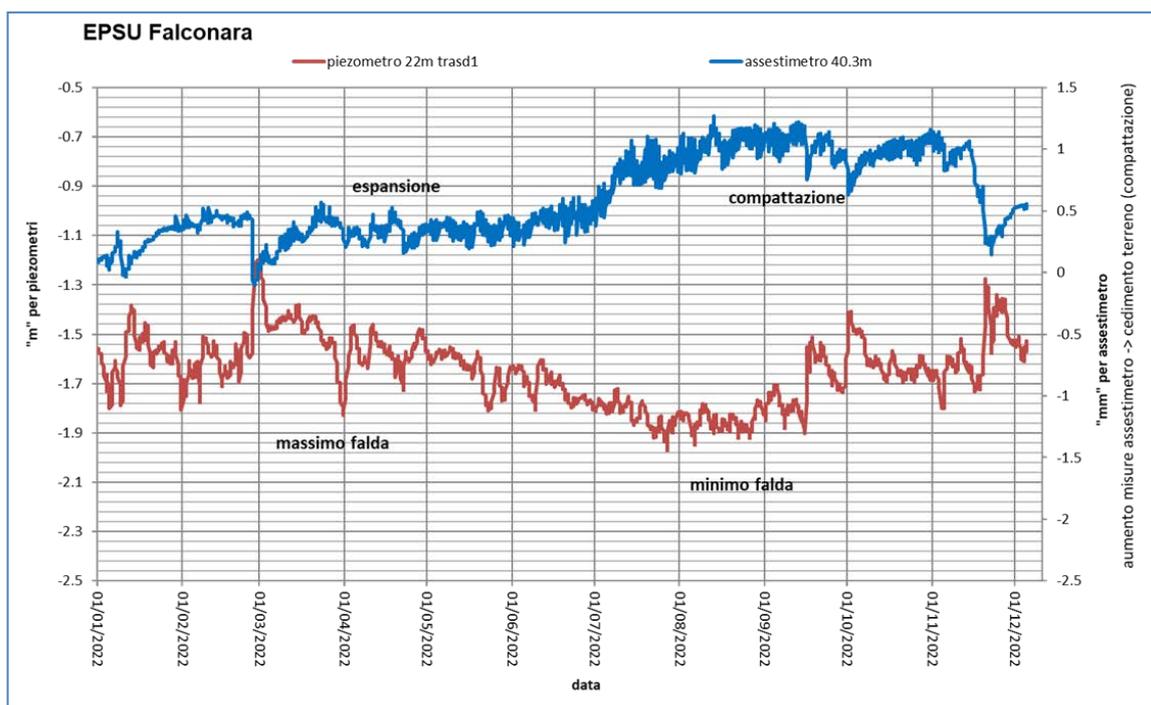


Figura 15B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara



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



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

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_CALP	Page - 56 - of 57
------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## 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)
<b>Rubicone</b>	13.73	44	3.2	n.i.	-
<b>Fano</b>	14.21	n.i.	-	1.92	n.v.
<b>Falconara</b>	14.21	n.i.	-	0.52	n.v.

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile