

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 1 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

## Campo di CALPURNIA

Aggiornamento al 31/12/21

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

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).

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 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 2 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

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 detti campi.

A tale proposito si è proceduto a:

- costruire un unico modello statico di giacimento per i 4 campi dell'area; modello che è stato esteso anche agli acquiferi idraulicamente connessi ai livelli produttivi;
- simulare il comportamento dinamico di tali campi con un unico modello Eclipse sia per calibrarne il modello statico, sia per tener conto di possibili interferenze dinamiche fra loro. Per la calibrazione si sono utilizzate le informazioni acquisite durante lo sviluppo e tutta la loro storia produttiva (aggiornata al 31/12/06).

Nel caso di Calpurnia (rel. *Eni-INPE n° 066b-07 del maggio 2007*) tale revisione ha portato a un aumento del 32% del GOIP totale rispetto al volume inizialmente stimato (*GOIP studio statico dell'ottobre 1998 pari a 3710 MSm<sup>3</sup>, GOIP revisione studio statico del maggio 2007 pari a 4900 MSm<sup>3</sup>*). Il nuovo profilo di produzione ha previsto, inoltre, un aumento delle riserve producibili a vita intera del 13% (i.e. 2231 MSm<sup>3</sup> al 2016) rispetto alla stima iniziale del maggio 1998. Tale incremento delle riserve è risultato però inferiore a quello calcolato per il GOIP per la presenza di un acquifero attivo in alcuni livelli delle formazioni PLQ2 e PLQ1 con conseguente previsione di una chiusura anticipata di alcune *string* completate negli stessi.

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. La nuova valutazione del GOIP è stata pari a 4164 MSm<sup>3</sup>, con una riduzione, quindi, del 15% rispetto a quanto stimato in precedenza (*GOIP del maggio 2007 pari a 4900 MSm<sup>3</sup>*). Le riserve producibili a vita intera dal campo sono però 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 nel mese di 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.

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 3 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

Nel 2013, allo scopo di aggiornare il modello geomeccanico dei campi del *Clara Complex* e del campo di Calipso, è stata fatta un'altra revisione degli studi statico e dinamico di tali giacimenti (*rel.Eni-GISE-11/2013\_CLARACOMPLEX-Aggiornamento modello di giacimento per modello geomeccanico - Scheda riassuntiva - aprile 2013*).

Nel caso di Calpurnia tale revisione ha portato a un profilo di produzione con riserve producibili al 2020 pari a 2382 MSm<sup>3</sup>.

Nel 2017 è stato eseguito uno studio di giacimento integrato che ha rivisto sia il modello statico che dinamico dei giacimenti dell'area del Clara Complex, Calipso ed Elettra (*Eni-IPET-8056D689-0 - Clara Complex – Aggiornamento Studio di Giacimento per geomeccanica - Scheda integrativa- dicembre 2017*) che aggiorna le riserve di Calpurnia a 2316 MSm<sup>3</sup> producibili al 2022.

A partire dai risultati degli studi (statico e dinamico) di giacimento fatti nel corso delle varie revisioni sopra descritte, di volta in volta si sono aggiornate le previsioni di subsidenza del campo di Calpurnia e degli altri campi dell'area.

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). Per tutti gli scenari considerati nello studio, inoltre, la massima estensione della subsidenza prevista - corrispondente alla curva di iso-subsidenza dei 2 cm - si mantiene a oltre 29 km dalla costa e dalla città di Ancona, per l'intera durata della simulazione di tutti gli scenari di produzione considerati.

Lo studio di giacimento del 2017 è stato, quindi, aggiornato nel corso del 2021 (*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 confermano a 2300 MSm<sup>3</sup> le riserve già prodotte del campo. Il campo risulta, ad oggi, non più produttivo.

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 4 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

In Figura 3 è riportato l'andamento storico della produzione di gas del campo ( $\text{kSm}^3/\text{g}$ ) e di acqua ( $\text{m}^3/\text{g}$ ). 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 31/12/2021 la produzione cumulativa del campo è pari a  $2300 \text{ Mm}^3$  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. 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.

Il nuovo studio di giacimento 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:

- **DO NOTHING (DN):** prevede di proseguire lo sviluppo del giacimento 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 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 su 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**

	<b>Clara Est</b>	<b>Clara Nord</b>	<b>Calipso</b>	<b>Calpurnia</b>	<b>Elettra</b>
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

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 pre-pliocenica 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

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 6 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

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). 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.

A partire dai primi anni '70, Eni ha progettato e realizzato lungo la costa adriatica una rete di livellazione geometrica che, su richiesta degli Enti di Controllo a livello regionale e nazionale (Regione Emilia-Romagna, Provincia di Ravenna, Comune di Ravenna e Ministero dell'Ambiente), è rilevata con cadenza periodica. A partire dalla campagna 2011, dopo un intervallo di un anno nel 2010 (anno in cui non sono state fatte livellazioni), tale periodicità ha una cadenza triennale come raccomandato 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.

Le specifiche tecniche adottate sono quelle ora in uso per i rilievi della rete Eni e rispettano le indicazioni contenute nelle già citate linee guida emesse dall'Università di Padova.

Eni, inoltre, ha affidato la certificazione della documentazione e della metodologia utilizzata a un ente esterno, che attualmente è l'Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM.

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 7 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

La rete di livellazione rilevata nel 2020 (ultimo rilievo eseguito), integrata nel 2017 con l'aggiunta dell'area del campo di Agosta, è suddivisa nelle seguenti aree di attività:

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

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

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

Si ritiene opportuno sottolineare, inoltre, che, sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti, a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine delle tre reti di livellazione. Per ovviare a tale situazione, determinata da fattori ambientali (grandi distanze), su suggerimento dell'ente certificatore è stata realizzata una linea di stazioni permanenti CGPS disposte a distanze regolari tra Pineto e P.to Sant'Elpidio che, con il consolidamento dei dati CGPS, costituiranno una serie di capisaldi origine omogenei, tali da consentire d'ottenere misure di quota fra loro consistenti da Treviso a Pescara.

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.

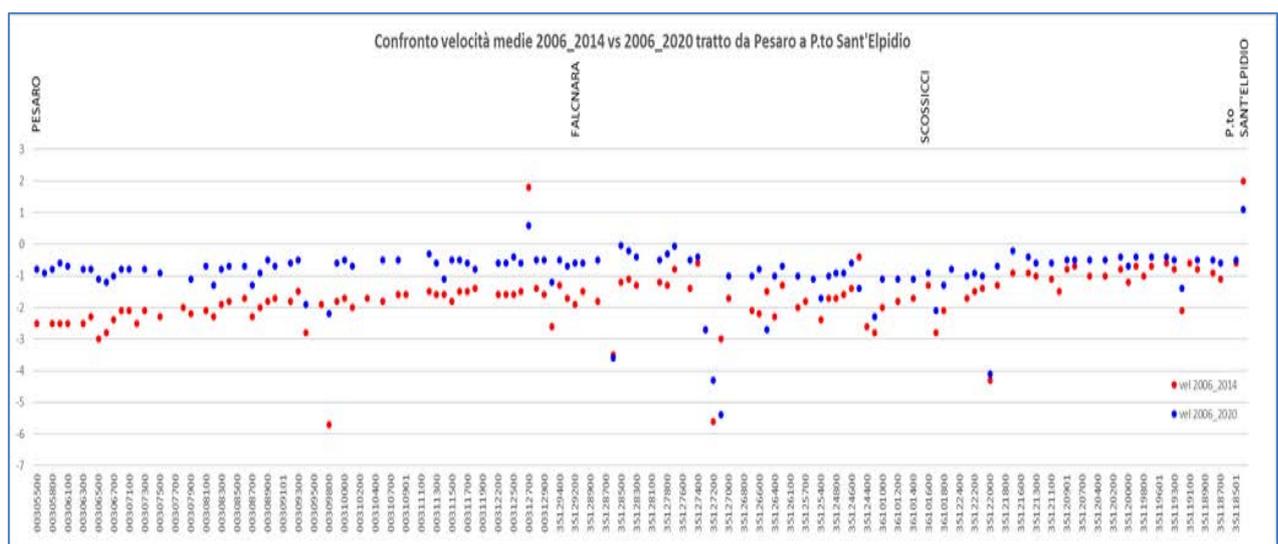
I dati rilevati rappresentano, sebbene per valori molto bassi, un trend di generale abbassamento della zona analizzata. Il grafico che segue (figura A), riporta per confronto le serie storiche 2006-2014 e 2006-2020 elaborate nel tratto da Pesaro a P.to Sant'Elpidio e consente di apprezzare graficamente 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 P.to Sant'Elpidio. Nei prossimi anni, con nuove campagne di misura

(il prossimo rilievo è previsto nel 2023) 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 notare, 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 d’ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione in opportune classi di valori, come di seguito specificato. A questo proposito si sono stimate con regressione lineare le velocità medie annue d’abbassamento del suolo  $V_a$  dei singoli capisaldi della tratta Pesaro - P.to Sant’Elpidio, raggruppandole poi nelle seguenti 5 classi:

- 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).

**Figura A – Tratta Pesaro – P.to Sant’Elpidio:  
velocità medie di subsidenza nei periodi 2006-2014 e 2006-2020**



 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 9 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	------------------

L'elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 2006-2014, mostra un trend di generale abbassamento di questo tratto di costa, per valori di velocità media, come detto molto contenuti: il 2% dei punti ricade nella classe "0", il 93% nella classe 1, il 4% nella classe 2 e, infine, meno dell'1% nella classe 3.

Nel periodo 2006-2020, la distribuzione delle velocità secondo la classificazione proposta, mostra, per quanto possibile dati i valori molto piccoli, il rallentamento delle velocità di subsidenza, infatti: il 2% dei punti ricade nella classe "0", il 94% nella classe 1, il 3% nella classe 2 e meno dell'1% nella classe 3. I capisaldi per i quali si osservano relativamente alte velocità d'abbassamento (es. 5.4 mm/a nella zona 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 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 mostra andamenti che, fatte salve le diverse precisioni in termini di ripetibilità, sono assolutamente compatibili.

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (dicembre 2021) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice A) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 11).

Le attività di monitoraggio sono state progressivamente potenziate mettendo in opera un numero crescente di stazioni CGPS sulle piattaforme offshore operate da Eni.

Dal 2007, infatti, ne sono state installate sulle piattaforme di Regina e Calpurnia (giugno 2007), di Anemone B (agosto 2007), di Annalisa (ottobre 2007), di Calipso, Tea-Lavanda-Arnica, Clara Est e Clara Nord (novembre 2007), di Barbara NW (gennaio 2008), di Bonaccia (febbraio 2008), di Annamaria A e Annamaria B (gennaio 2010), di Clara W (ottobre 2010) e di Guendalina (agosto 2011). Le stazioni CGPS di Naide e PCC sono, invece, operative dal luglio 2005, mentre la postazione Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002. In tempi più recenti sono state installate anche le nuove stazioni CGPS di Elettra (luglio 2014), di Fauzia (settembre 2014), di Barbara E (novembre 2014), di Bonaccia NW (settembre 2015), e, infine di Clara NW (marzo 2016). Il sistema di monitoraggio è stato, poi, ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 nuove stazioni altimetriche *SSU (Satellite Survey Unit)* equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo

di livellazione geometrica e 2 bersagli radar solidalmente connessi tra loro tramite un basamento di cemento armato. Le 3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007 (Appendice B); negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche tre pozzi assestometrici per il monitoraggio della compattazione superficiale del terreno. Tali stazioni si sono aggiunte a quelle preesistenti, installate più a Nord lungo la costa ravennate, nelle località di Fiumi Uniti, di Smarlacca e di Spinaroni. Inoltre, come detto in precedenza, sono state monumentate altre 4 stazioni CGPS in Ortona, Pineto, Grottammare e P.to Sant'Elpidio, il cui completamento è avvenuto nel dicembre 2009, tutte equipaggiate con 2 bersagli radar e con un caposaldo di livellazione.

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

Nel corso del 2018, sono state installate due nuove postazioni CGPS, entrambe nella configurazione S.S.U. sulle postazioni di Pomposa (ACPO – installata a settembre 2018) e di Po di Tolle (POTO – installata nel mese di 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, certificati fino al 2020 e in fase di certificazione per gli anni successivi, sono stati elaborati con il software scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS. Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2021 (Figura 12), si sono utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati come mostrato in Tabella 2.

**Tabella 2 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2020**

Stazione	Dati Non Certificati			Dati Certificati			Delta (Non Cert.-Cert.)		
	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	D-N mm/a	D-E mm/a	D-H mm/a
Calpurnia	18.27	22.05	-0.44	18.19	22.55	-2.13	0.08	-0.5	1.69

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 11 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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 di poter disporre di un numero sufficiente di osservazioni per il corretto inquadramento delle componenti periodiche, della loro incidenza sulle misure e per 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 di 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 < 12mesi: solo *follow up* per monitoraggio dei dati acquisiti;
- dataset di 12÷36 mesi e
  - piccoli valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno e monitoraggio delle anomalie verso il *trend* previsionale;
  - grandi valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno per calibrazione del modello previsionale;
- dataset > 36 mesi: analisi di *trend* e calibrazione dei modelli geomeccanici confrontando il dato di velocità di subsidenza misurato (depurato dalla velocità di subsidenza naturale) e i valori dei modelli previsionali.

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

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

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 12 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

Per il campo di Calpurnia, dove permane la presenza di un'anomalia sul ricevitore che non è stata ancora risolta a causa delle limitazioni operative connesse al perdurare della situazione pandemica, sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore ai 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale<sup>1</sup> misurata pari a -0.44 mm/a al 2019 (Figura 12, Figura 14) senza variazioni significative rispetto al valore riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-1.02 mm/a al 2018).

Tuttavia, tale andamento medio non è però rappresentativo dell'evoluzione temporale del fenomeno (Figura 12)

E' stato, perciò, utilizzato 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'ambito della serie storica dei dati CGPS disponibile è, inoltre, possibile individuare alcune variazioni di velocità correlabili con la storia produttiva del campo (Figura 13).

In particolare:

- periodo che va dall'installazione del CGPS a ottobre 2008, in cui la velocità media di subsidenza totale di circa -21.19 mm/a;
- periodo ottobre 2008 - gennaio 2014, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -4.86 mm/a, con una netta diminuzione della velocità di subsidenza;
- periodo da gennaio 2014 a novembre 2019, che presenta, invece, una inversione di tendenza con un sollevamento (*rebound*) mediamente dell'ordine di 4.13 mm/a.

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>1</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 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 13 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

Si sono, poi, confrontate le previsioni di subsidenza del modello geomeccanico del 2021 con le misure di subsidenza totale<sup>1</sup> 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).

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*) dal campo di Calipso e dal campo di Elettra possa avere qualche impatto sull'andamento altimetrico del tratto di litorale monitorato.

Si segnala infine che:

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



Figura 1 - Ubicazione del campo di Calpurnia

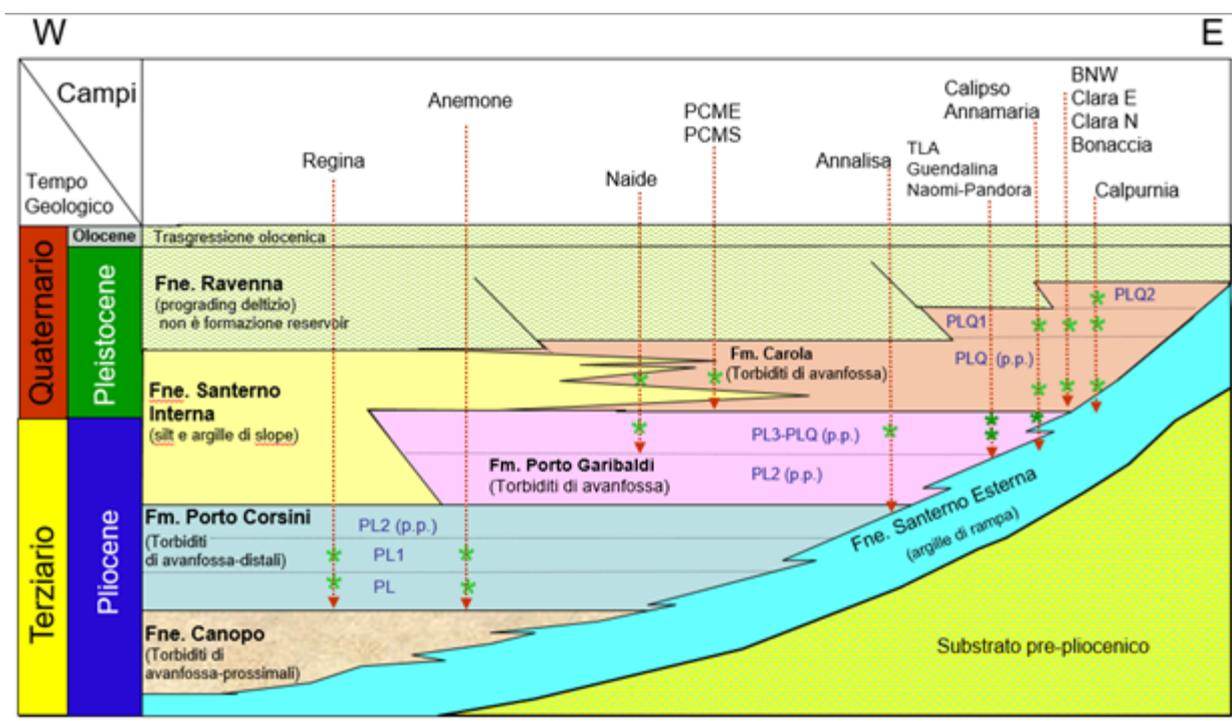


Figura 2 - Bacino Adriatico settentrionale: esempio di schema dei rapporti stratigrafici e dei principali reservoir (\*) sviluppati dai campi

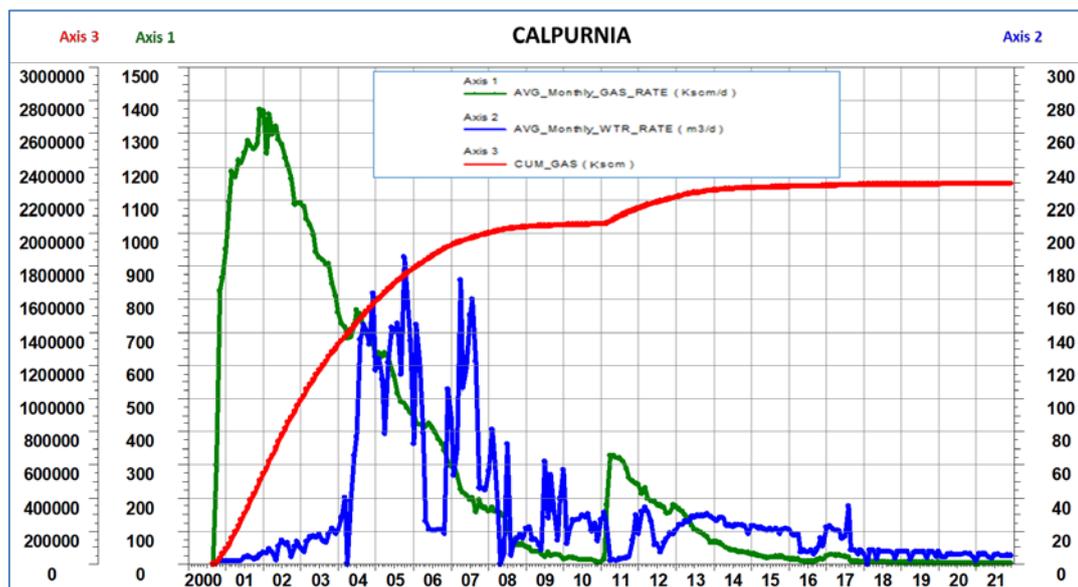


Figura 3 - Campo di Calpurnia: produzione storica

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%

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

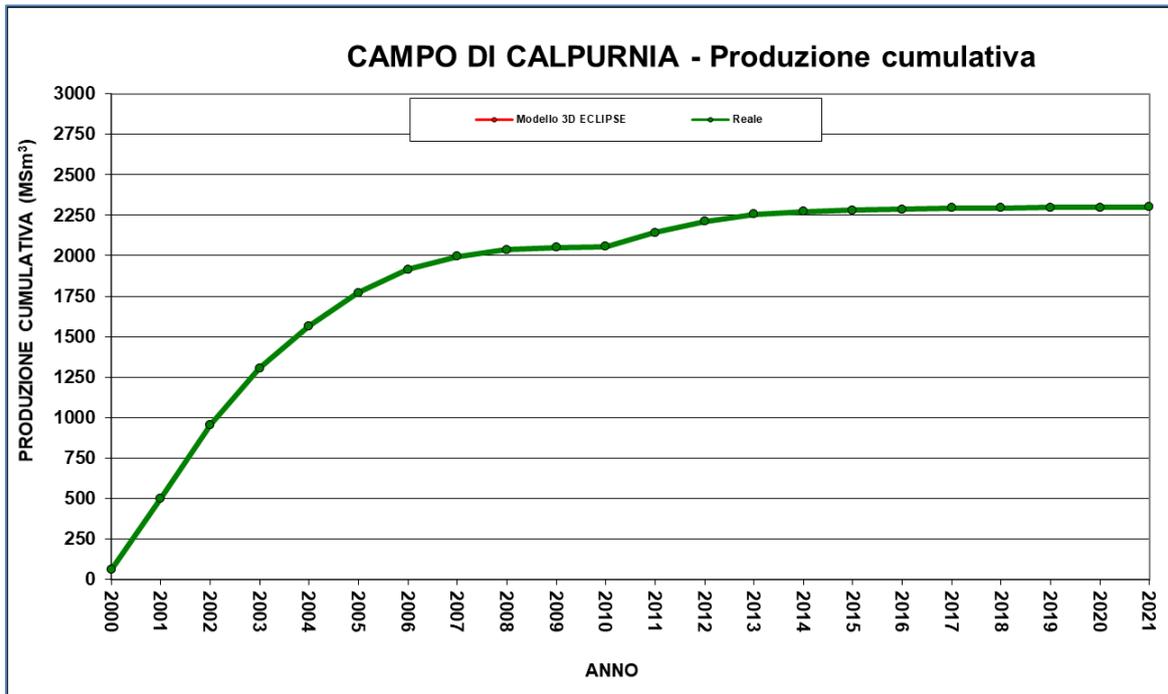


Figura 5 - Campo di Calpurnia: produzione reale e da modello Eclipse 2021

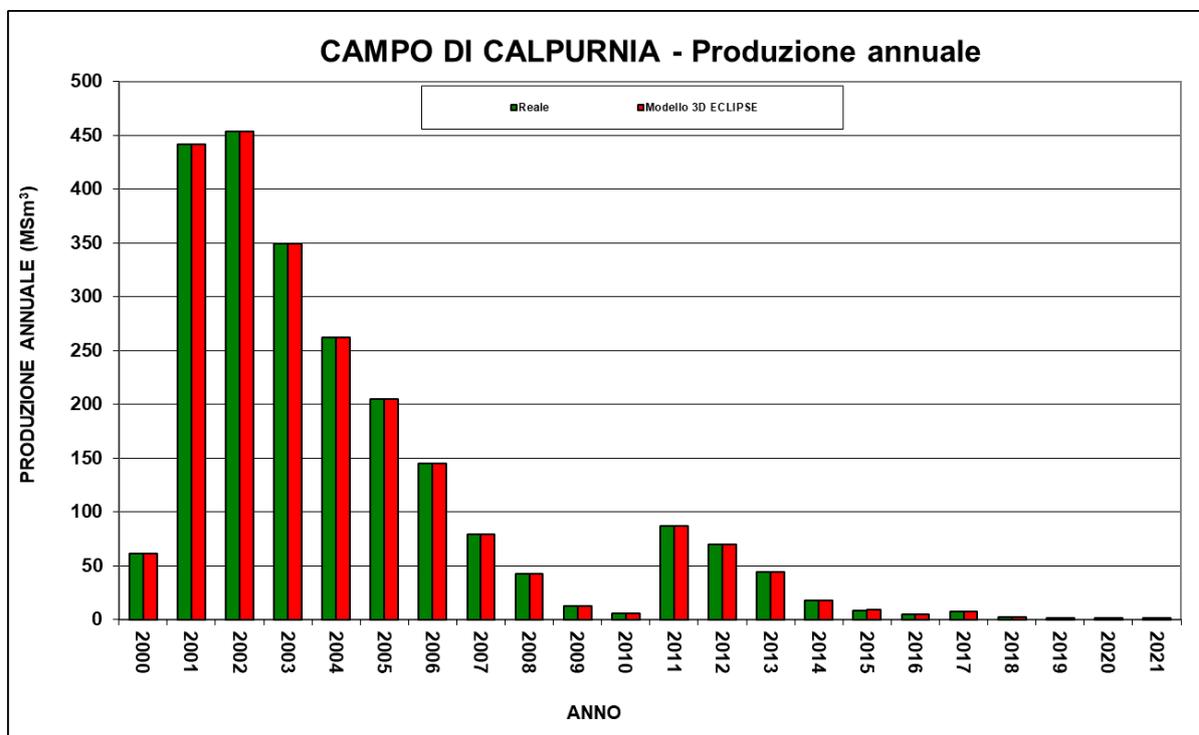


Figura 6 - Campo di Calpurnia: produzione (annuale) reale e da modello Eclipse 2021

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

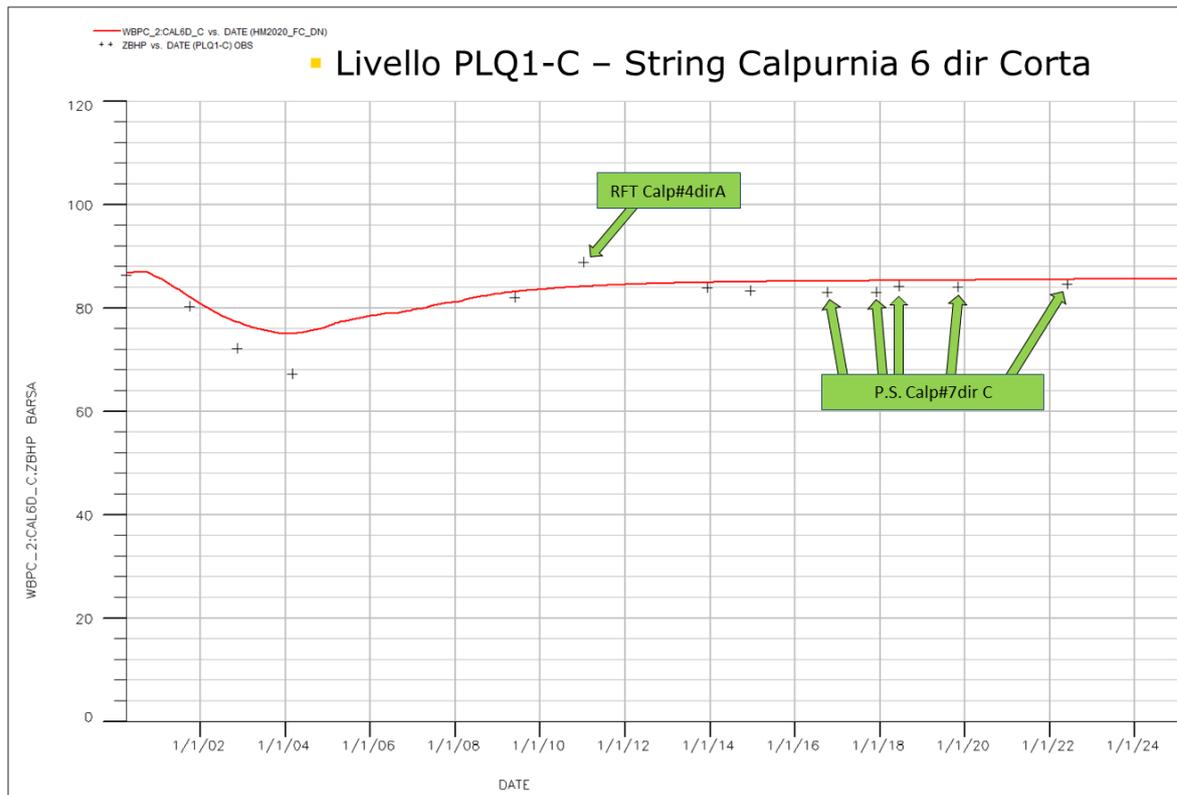
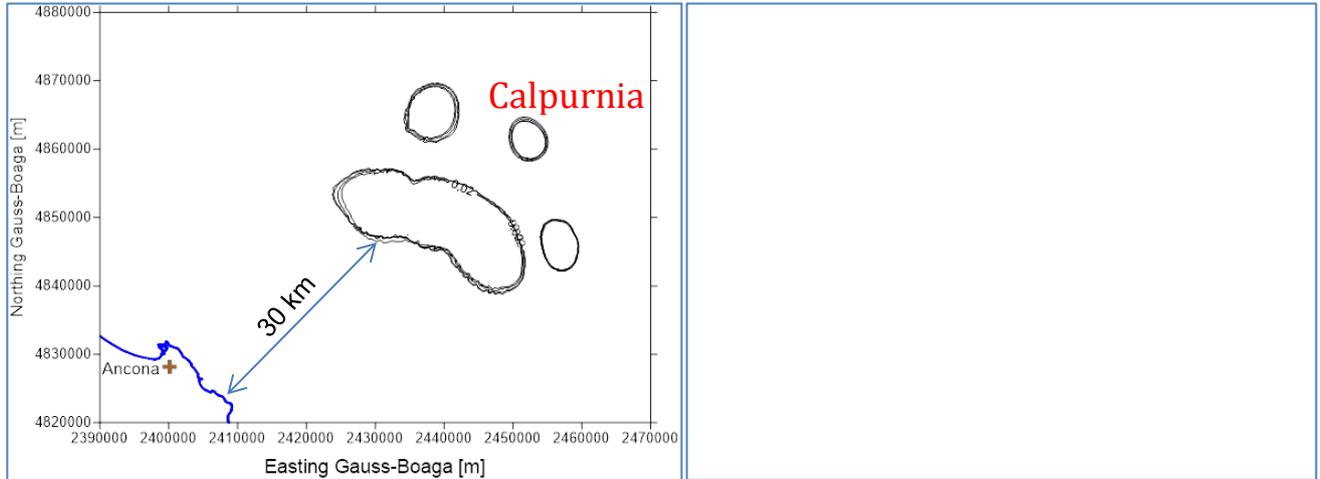
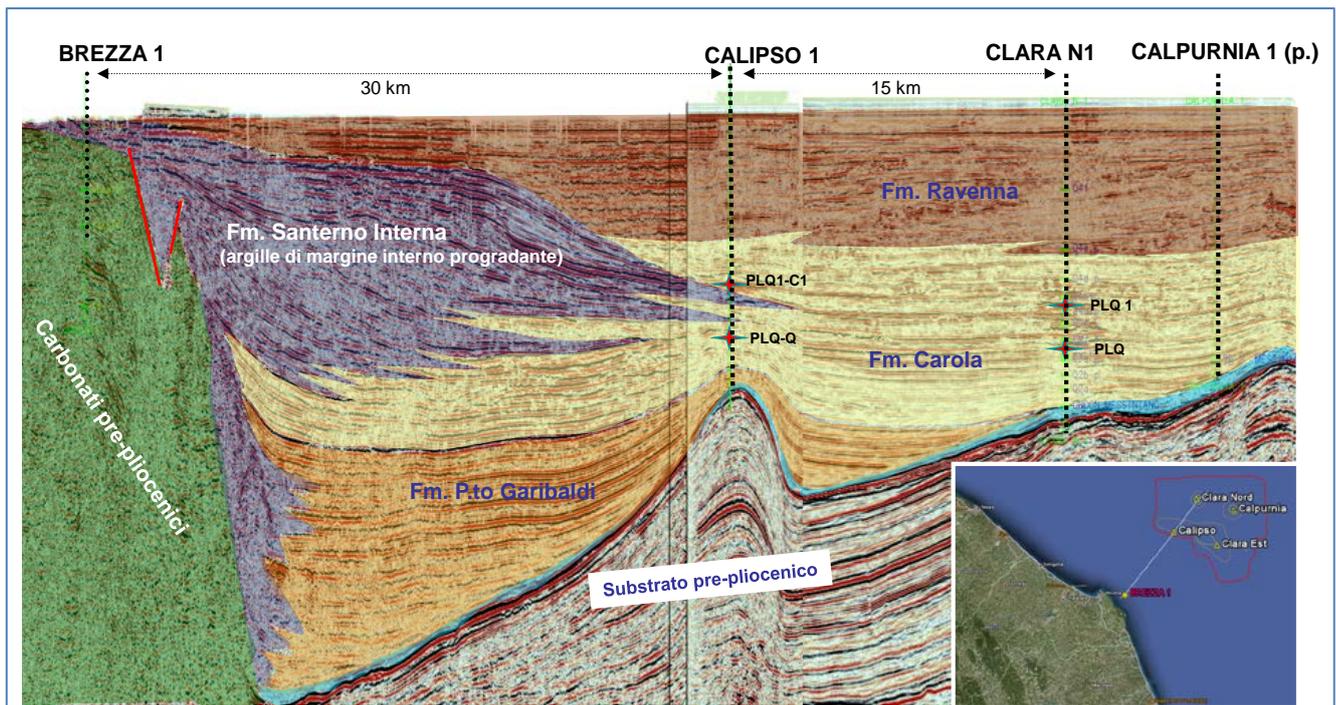


Figura 7 - Campo di Calpurnia: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2021 (livello PLQ1-C)



**Figura 8 - Campo di Calpurnia: A sx: mappa con la posizione della linea di iso-subsidenza 2cm nel periodo 2021-2050 per entrambi gli scenari considerati (DN e 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**

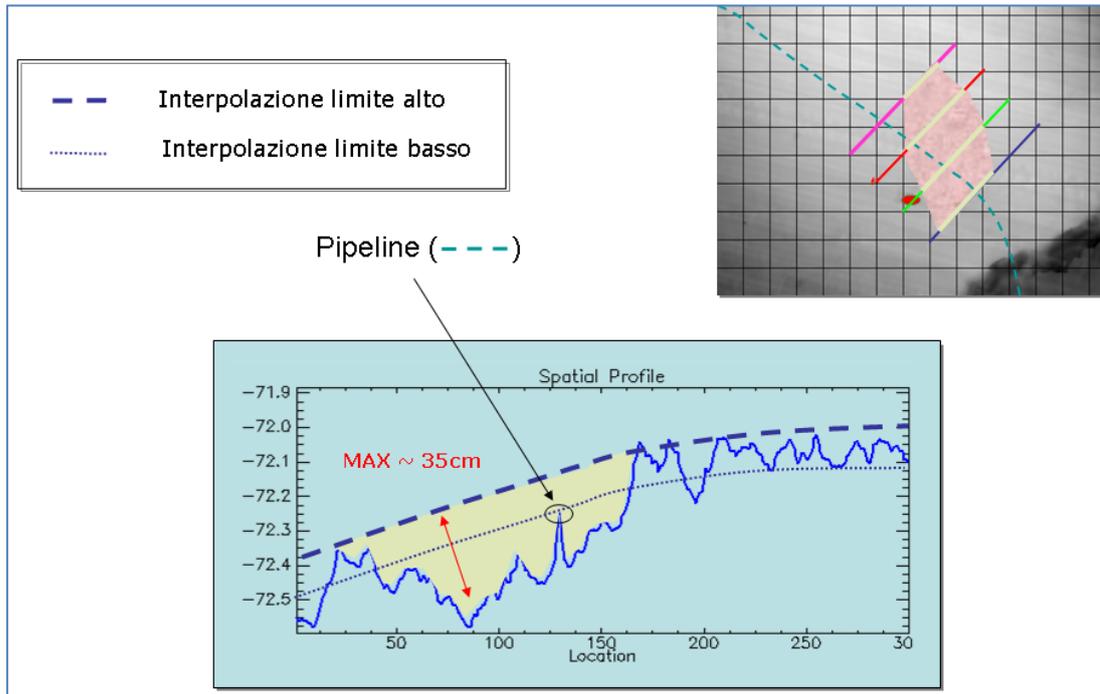


Figura 10 - Campo di Calpurnia: profilo batimetrico interpolato e differenza con la batimetria misurata

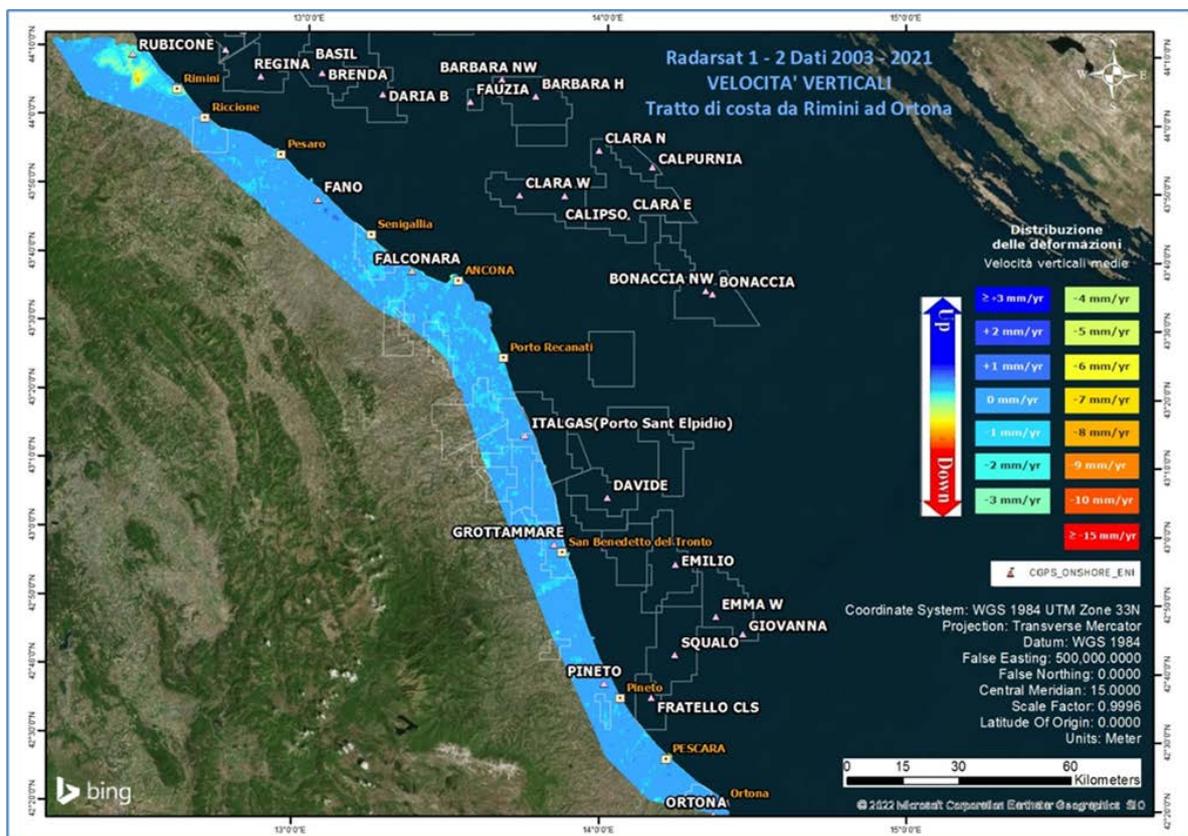
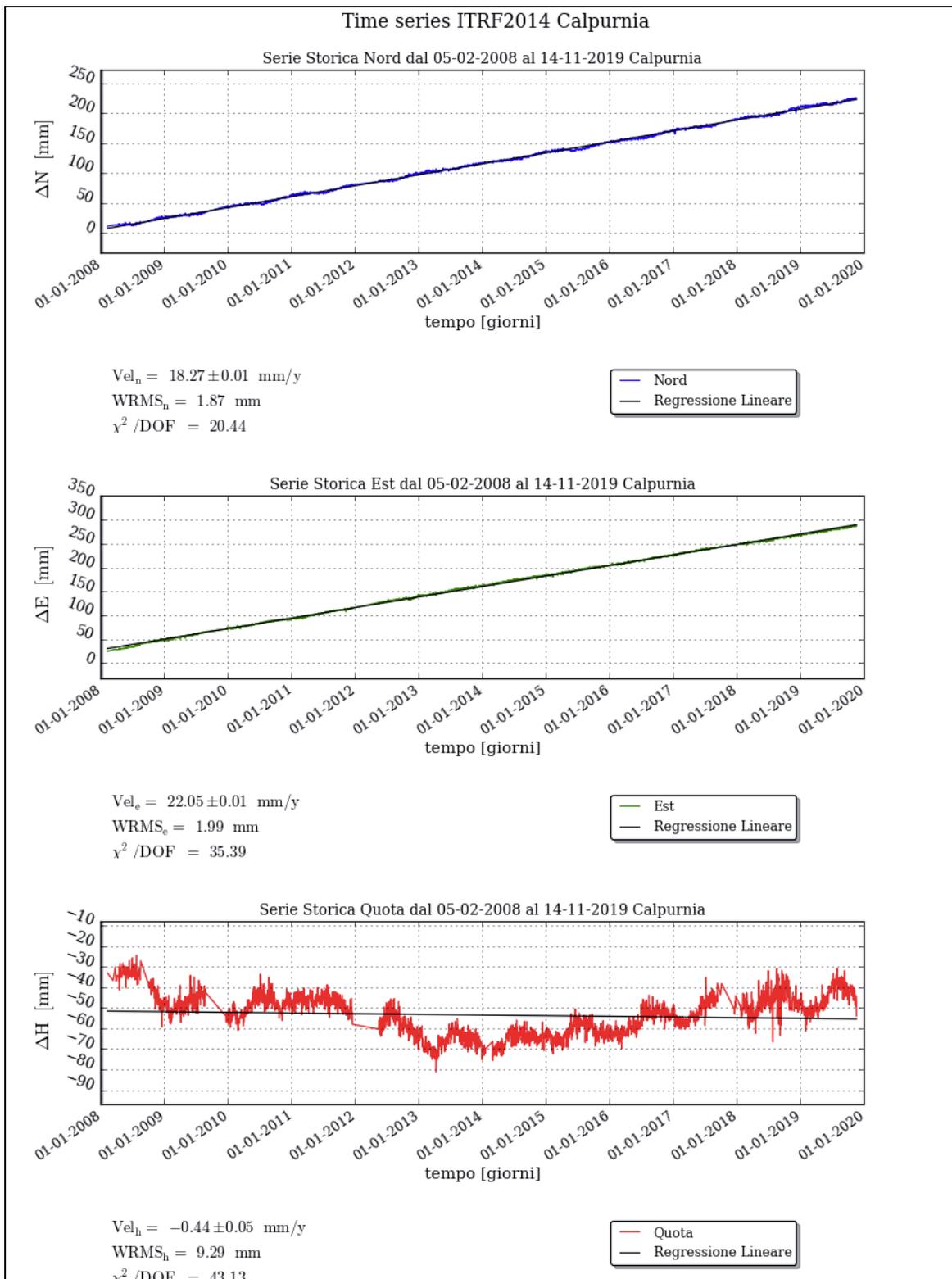
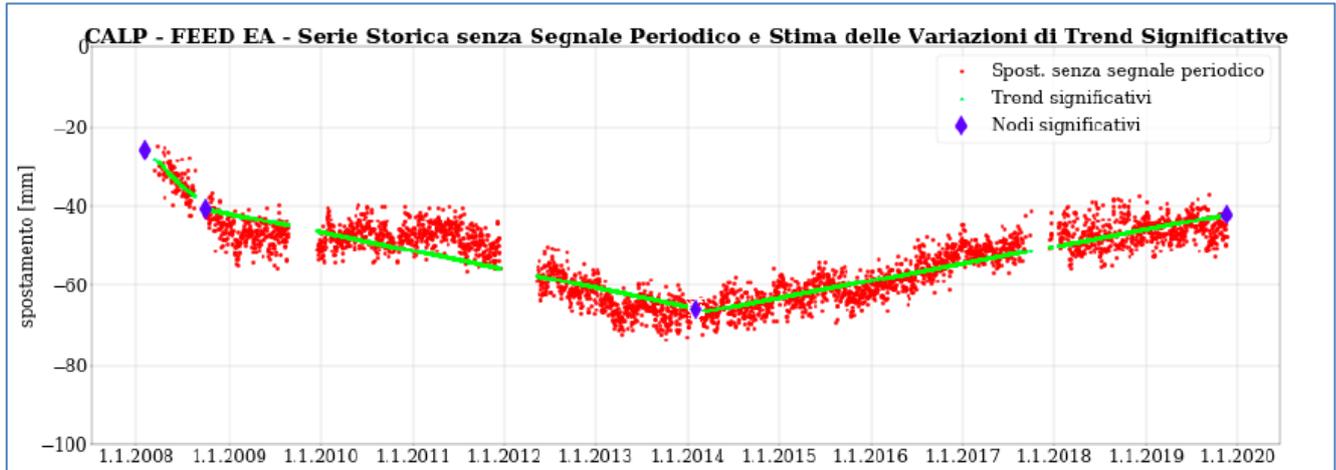


Figura 11 - Campo di Calpurnia: analisi dati SAR dal 2003 al 2021



**Figura 12 - Campo di Calpurnia: serie storica di misure CGPS**



FEED PP - MODELLO EMPIRICO				
Periodo		velocità	sigma	
		[mm/y]	[mm/y]	
05/02/2008	- 02/10/2008	-21.19	1.22	
02/10/2008	- 31/01/2014	-4.86	0.05	
31/01/2014	- 15/11/2019	4.13	0.04	

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

CAMPO	Inizio produzione	Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ dic.2021	Max subsidenza prevista (scenario di riferimento)	Ultimo aggiornamento studio geomeccanico	CGPS			
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2020	vel.media (mm/a) @ dic.2021	Variazione velocità di subsidenza 2021 vs. 2020
ANEMONE	1978	2019	100%	-49cm al 2049	2019	2007	-4,54	-4,45	0,09
ANNALISA	2000	> 2021	101%	-9cm al 2027	2018	2007	-3,5	-3,08	0,42
ANNAMARIA B	2009	2038	86%	-138cm al 2051	2021	2005	-94,17	-87,78	6,39
BARBARA NW	1999	2026	97%	-66cm al 2023	2021	2008	-25,91	-25,05	0,86
BONACCIA	1998	2026	99%	-233cm al 2073	2018	2008	-64,94	-63,13	1,81
BONACCIA NW	2015					2015	-38,64	-35,18	3,46
CALIPSO	2002	2031	80%	-113cm al 2041	2021	2007	-13,51	-13,51	0
CALPURNIA	2000	2021	100%	-17cm al 2021	2021	2008	-0,44	-0,44	0
CLARA EST	2000	2042	72%	-112cm al 2050	2021	2007	-14,47	-14,39	0,08
CLARA NW	2016					2016	-23,78	-23,27	0,51
CLARA NORD	2000	2018	100%	-48cm al 2021	2021	2007	-16,35	-15,47	0,88
ELETTRA	2014	2027	87%	-27cm al 2041	2021	2014	-15,37	-13,18	2,19
FAUZIA	2014	2024	84%	-6cm al 2062	2021	2014	-3,65	-3,21	0,44
GUENDALINA	2011	2022	92%	-8,5cm al 2055	2018	2011	-6,1	-5,99	0,11
NAIDE	2005	2027	93%	-13cm al 2060	2021	2005	-3,58	-3,56	0,02
NAOMI - PANDORA	2001	2040	68%	-9cm al 2040	2022	2002	-2,13	-2,06	0,07
PCME (PCMS)	2001	2014	100%	-4,0cm al 2025	2020	2005	-3,8	-3,7	0,1
REGINA	1997	2022	100%	-131cm al 2053	2021	2007	-21,76	-20,67	1,09
TEA - LAVANDA - ARNICA	2007	2023	100%	-5cm al 2023	2019	2007	-3,55	-3,45	0,1

Figura 14 - Velocità medie di "subsidenza totale" calcolate su tutta la serie storica CGPS (agg. dic.2021). Dal confronto con i dati 2020 si nota come nel corso del 2021 tutte le velocità di subsidenza siano stabili o in diminuzione



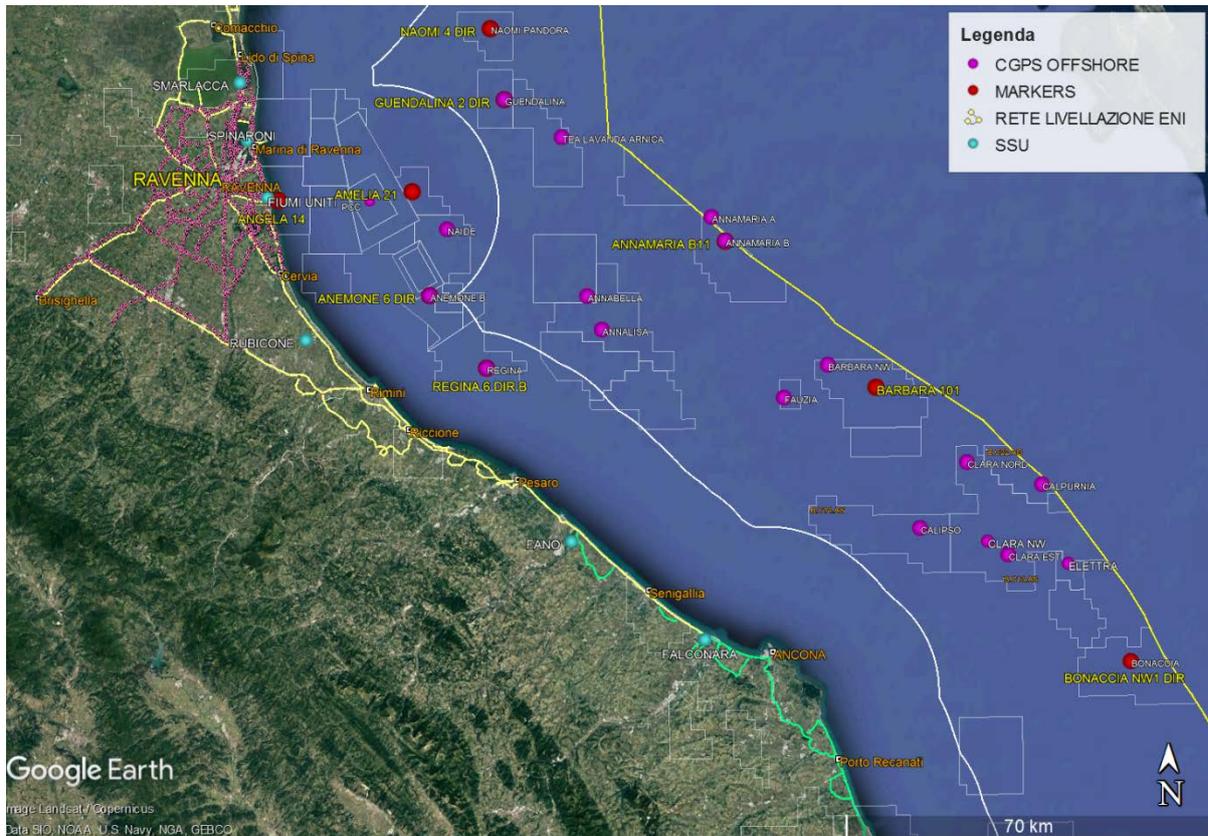


Figura 17 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

## Appendice A: aggiornamento dati SAR 2003-2021

Le elaborazioni dei dati InSAR per il periodo 2003 – 2021 sono state effettuate con lo stesso algoritmo utilizzato per le analisi dei dati dell’anno precedente.

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 2003 – 2021

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 presenti nell’area di interesse e quelle dei PS (Permanent Scatterer) presenti in un intorno di circa 300 m di raggio centrato nel corrispondente CGPS (Tab. 1), si è scelto di accorpare i data-set in 2 macro-aree, in modo tale che la taratura del dato InSAR minimizzi le differenze tra quest’ultimo e le misure CGPS.

In Tab. 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.

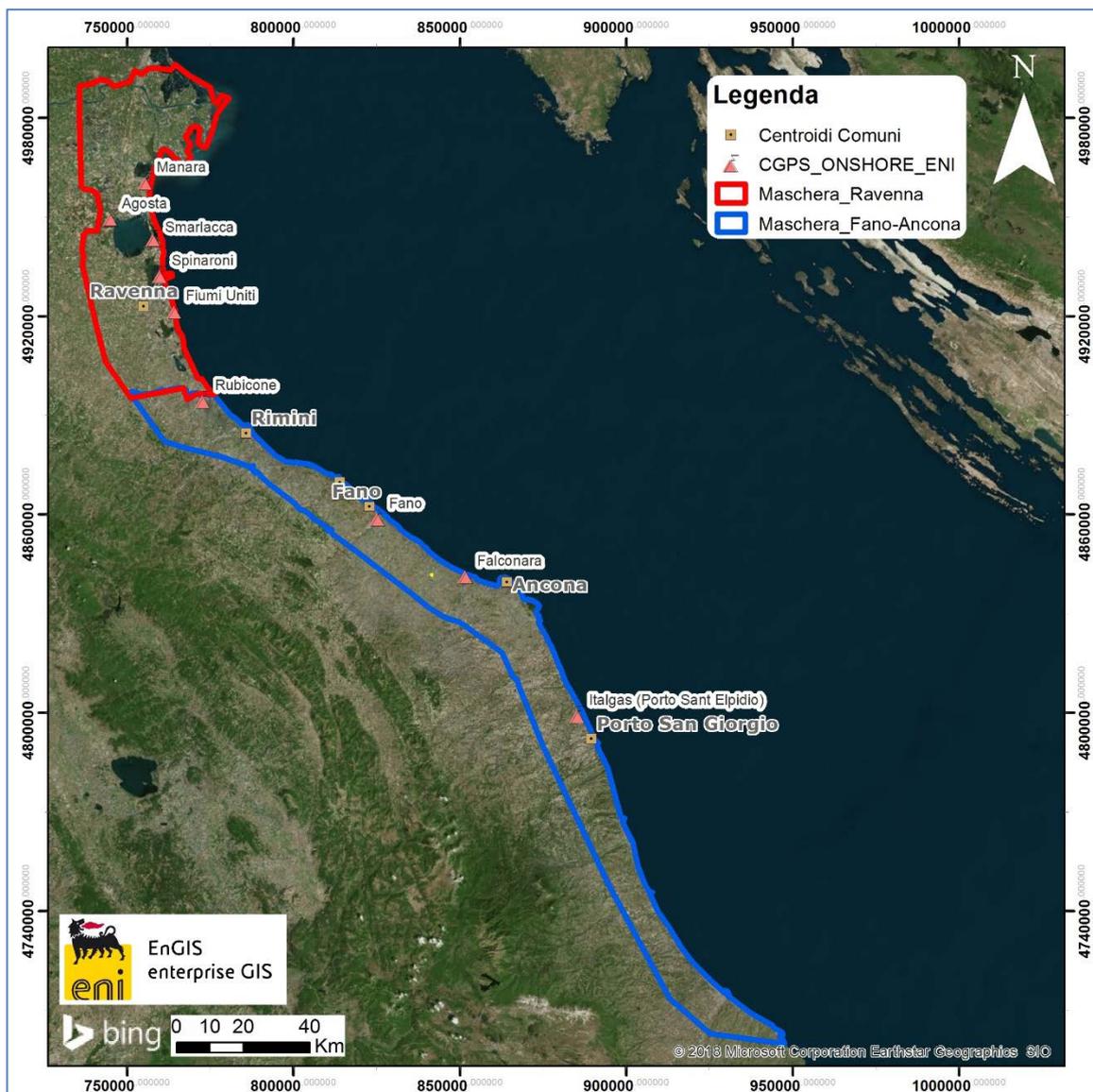
	CGPS	$V_{vert\_CGPS}$ [mm/yr]	$sqm\_CGPS$ [mm/yr]	$Media\_V\_SAR$ [mm/yr]	$sqm\_SAR$ [mm/yr]	$Diff\_VEL$ $CGPS-SAR$ [mm/yr]	$sqm\_diff$ [mm/yr]
RAVENNA	SMARLACCA	-6,02	0,01	-3,02	2,07	-3,00	2,08
	SPINARONI	-6,91	0,01	-3,72	1,89	-3,19	1,93
	FIUMI UNITI	-13,15	0,02	-10,38	5,78	-2,77	5,80
FANO-AN- CONA	RUBICONE	-2,21	0,03	-2,91	1,94	0,70	1,97
	FANO	-0,2	0,02	0,12	0,87	-0,32	0,89
	FALCONARA	-0,3	0,02	-0,18	1,39	-0,12	1,41
	ITALGAS	-0,09	0,02	0,30	1,09	-0,39	1,11

Tab. 1. Taratura dato InSAR con misure CGPS

Come si può vedere in Tab. 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 2.98 mm/anno di media per i primi 3 CGPS, mentre per gli ultimi 4 CGPS si notano differenze medie intorno a -0,03 mm/anno.

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

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



**Fig. 1 – Mappa mosaatura dati InSAR**

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 26 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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

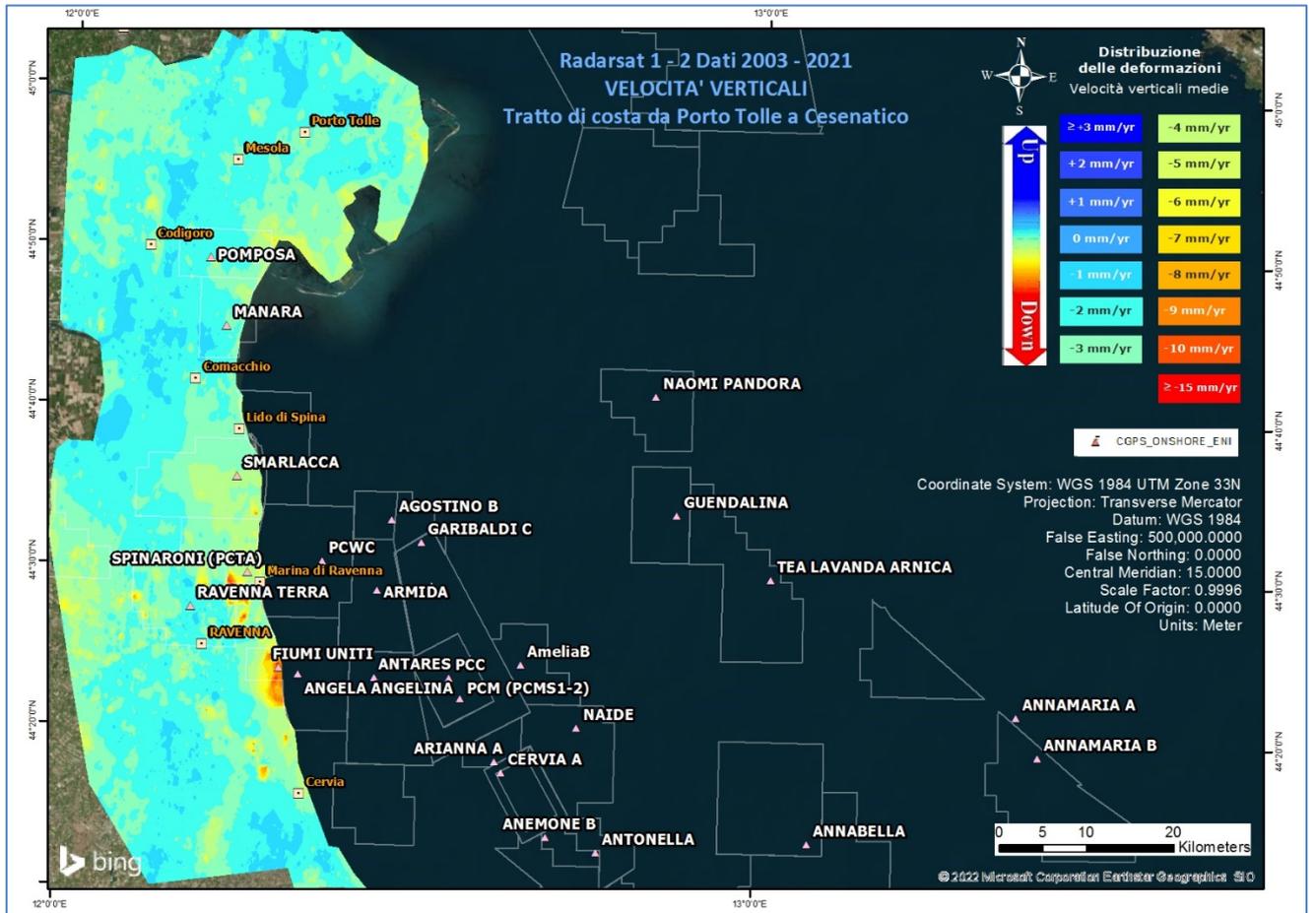
1. **Area Ravenna:** Smarlacca, Spinaroni, Fiumi Uniti
2. **Area Fano-Ancona:** Rubicone, Fano, Falconara, Italgas

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  $-3,02 \pm 2,07$  mm/anno. Considerando la velocità determinata con il CGPS di  $-6,02 \pm 0,01$  mm/anno, si rileva una differenza di  $-3,00 \pm 2,08$  mm/anno. Per questo motivo ai valori di velocità media della componente verticale determinata con il monitoraggio SAR, è stato aggiunto il valore di  $-3,00 \pm 2,08$  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 Fig. 2 si possono visualizzare i dati InSAR ottenuti a valle del processo di calibrazione, interpolati con un algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) con Tool ArcGis Spatial Analyst® per l'area di Ravenna nel tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.



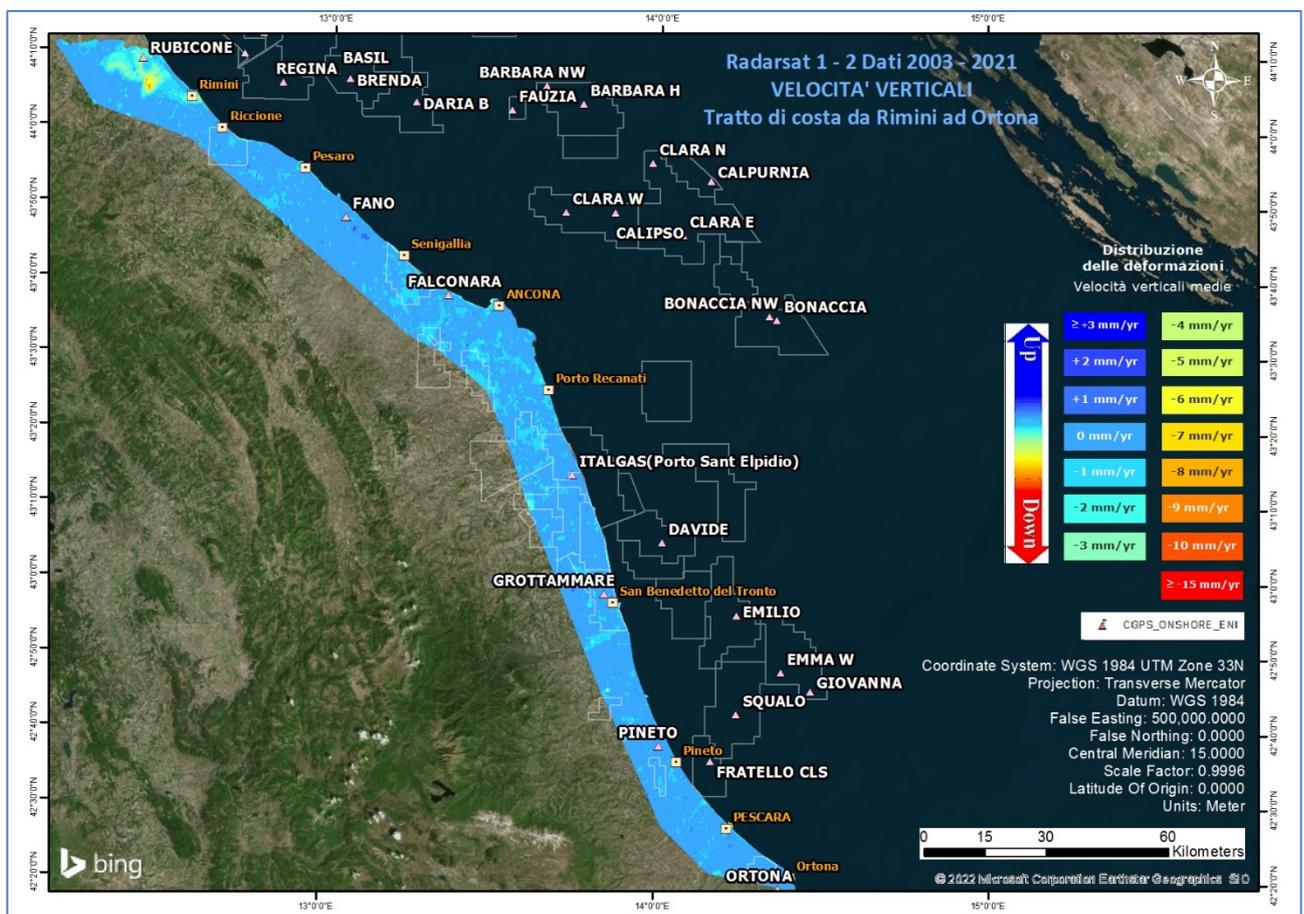
**Fig. 2 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2021, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.**

Come già effettuato precedentemente, il data set dell'area di Fano-Ancona (Fig. 1) 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 una differenza inferiore a 1 mm (Tab. 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 differenza tra il valore misurato dal CGPS di FANO e quella del dato SAR

(-0,32 ± 0,89 mm/anno), non si è ritenuto necessario eseguire una calibrazione. Come è possibile notare in Tab.1 per i vari CGPS presenti nell'area, il confronto mostra delle differenze rispetto ai dati SAR puri di circa 0,03 mm/anno in media.

In Fig. 3 è visualizzata l'interpolazione dei dati raggruppati, per l'area Fano-Ancona nel tratto di costa da Rimini ad Ortona. L'interpolatore utilizzato è l'algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) con Tool ArcGis Spatial Analyst®.



**Fig. 3 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1-2, per il periodo 2003 – 2021Tratto di costa da Rimini ad Ortona, con Tool ArcGis Spatial Analyst®.**

### Confronto dati SAR 2003 – 2020 vs 2003 – 2021

Il processo di sottrazione tra IDW 2020 e IDW 2021 permette di evidenziare graficamente eventuali differenze nell'andamento medio delle velocità verticali.

Come mostrato in Fig. 4 e Fig. 5 la sottrazione tra i due IDW non mostra differenze importanti, ed in ogni caso rientranti all'interno della deviazione standard dichiarata. Per quanto riguarda punti spot che mostrano differenze più marcate si è riscontrato come si tratti di aree di recente edificazione, o zone in cui i dati SAR sono assenti o molto esigui, per cui l'interpolazione IDW ha generato un dato non attendibile per un anno o il successivo, da cui derivano differenze non realistiche.

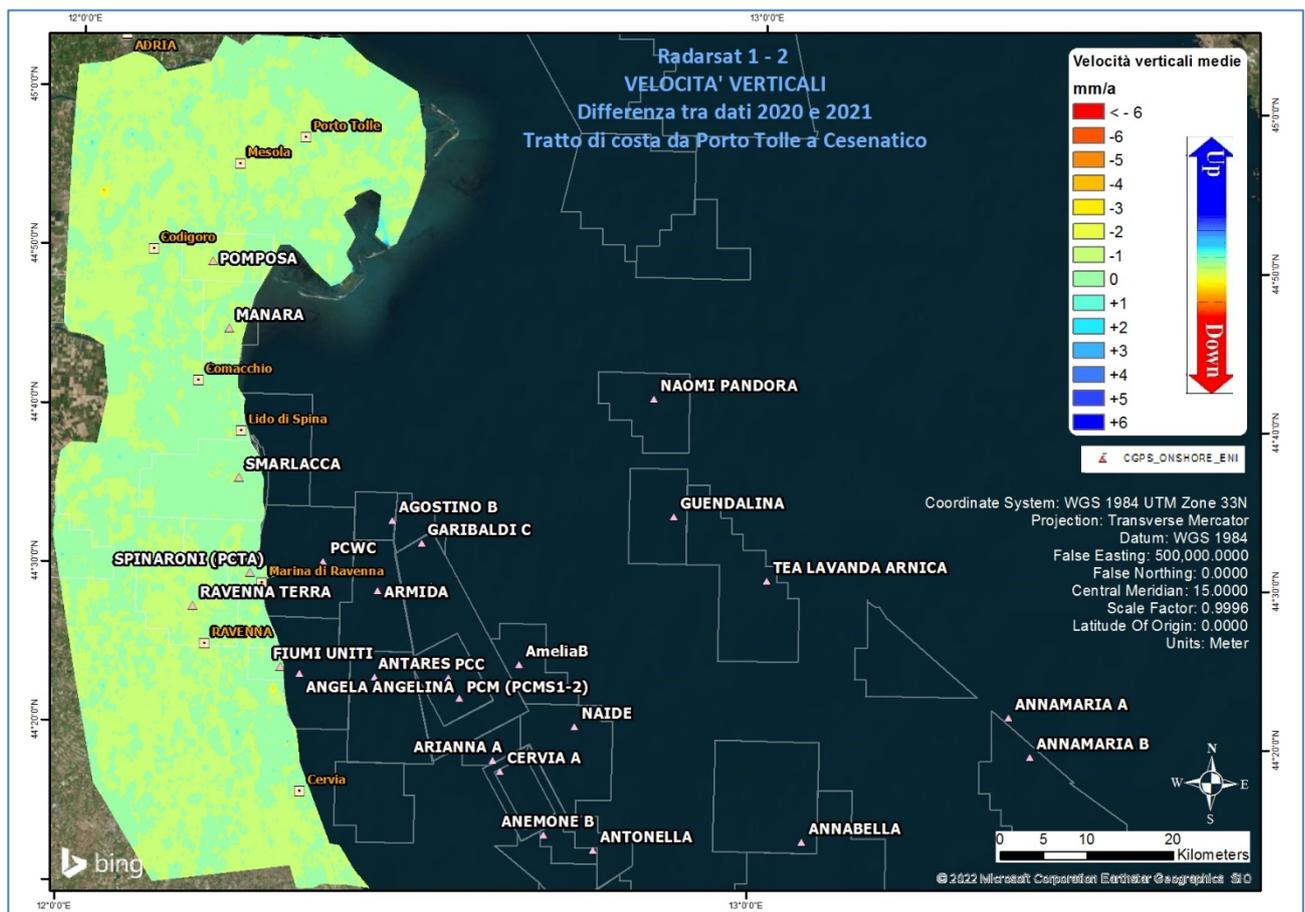
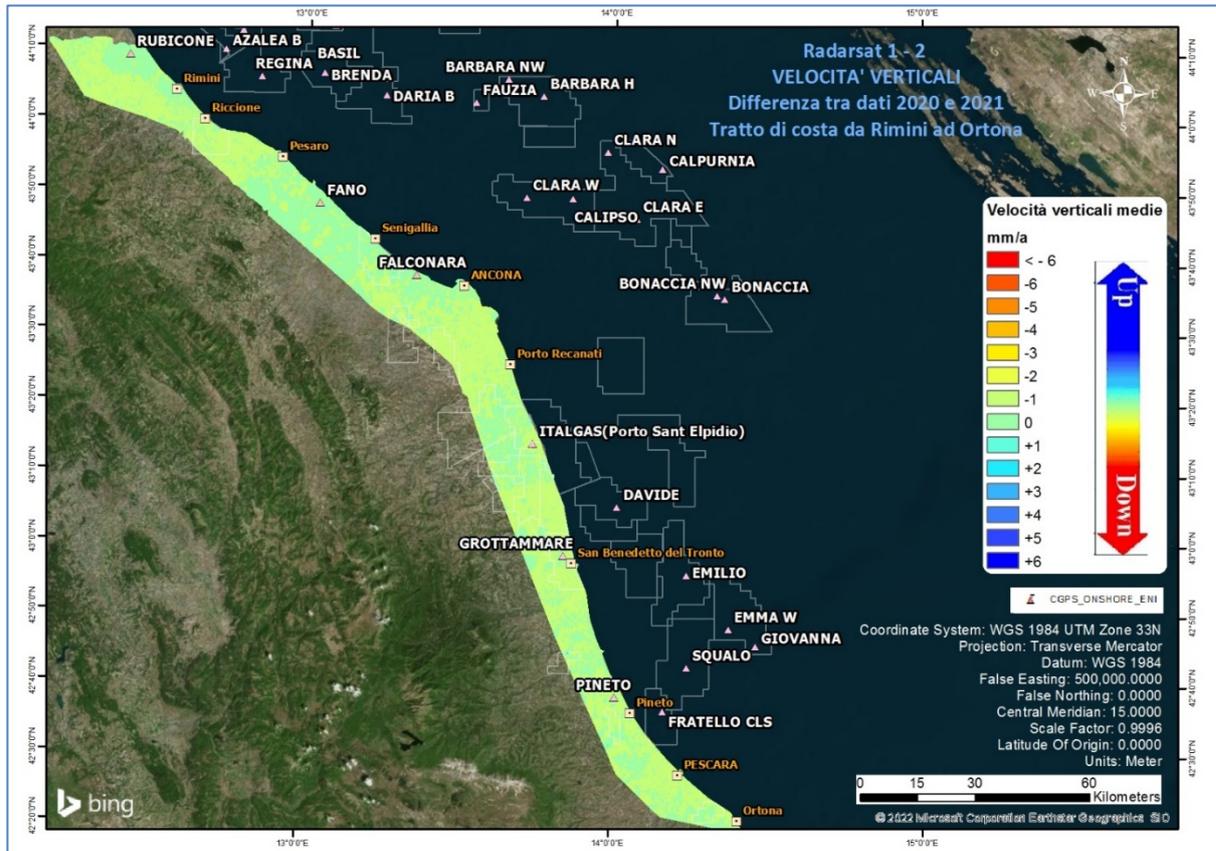


Fig. 4 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003 – 2020 e il 2003 - 2021, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.



**Fig. 5 –** Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003 – 2020 e il 2003 - 2021, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Rimini a 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, 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

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 31 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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.

## Appendice B: Stazioni *EPSU* lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - aggiornamento a dicembre 2021

Il monitoraggio della compattazione superficiale lungo la fascia costiera adriatica compresa tra Cervia e Ancona, è effettuato tramite 3 stazioni *EPSU* (Extensometric Piezometric Survey Unit) denominate: Rubicone, Fano e Falconara. L'ubicazione di tali stazioni, installate tra il 2008 e il 2009, è riportata in Figura 1B.

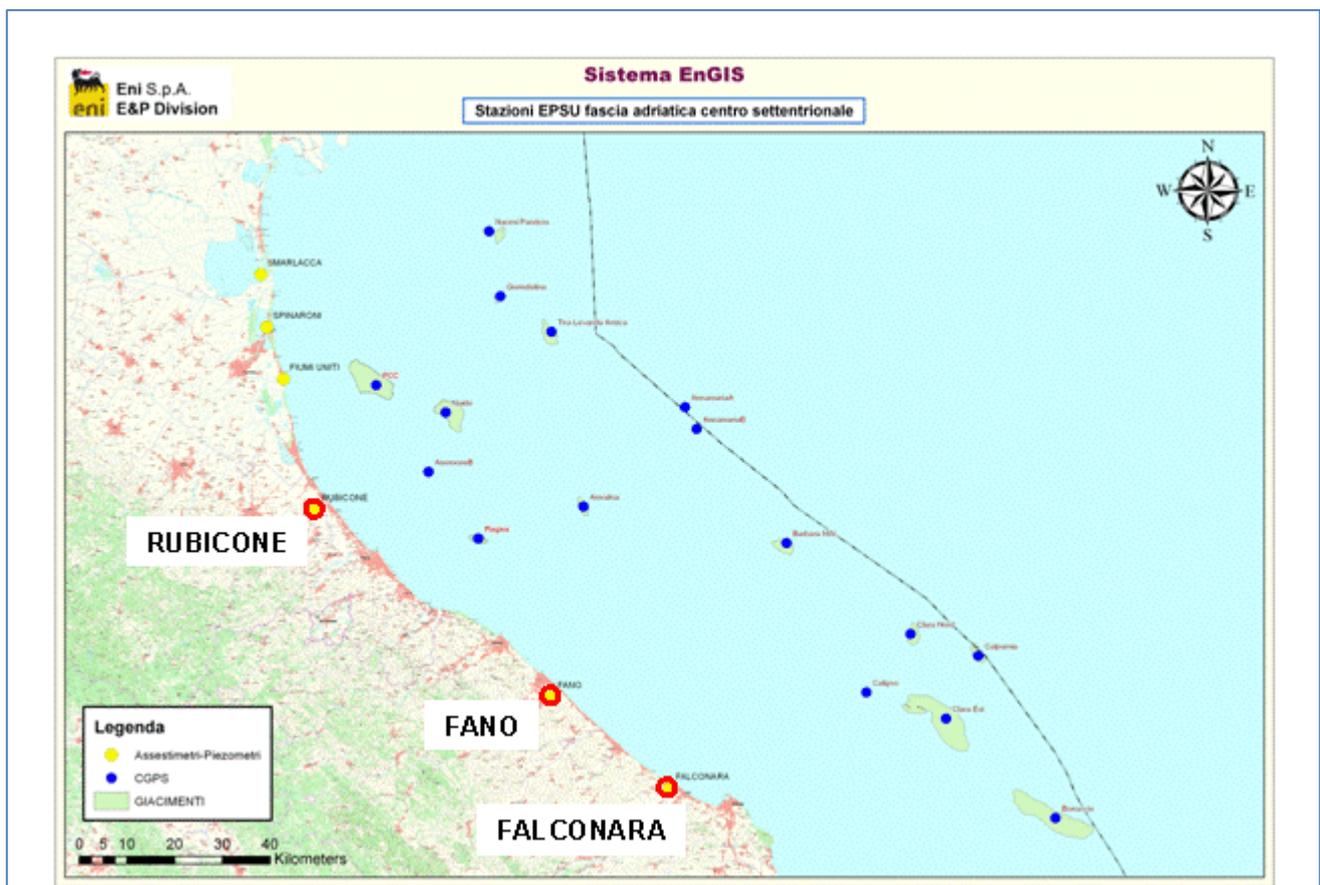


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni *EPSU*

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

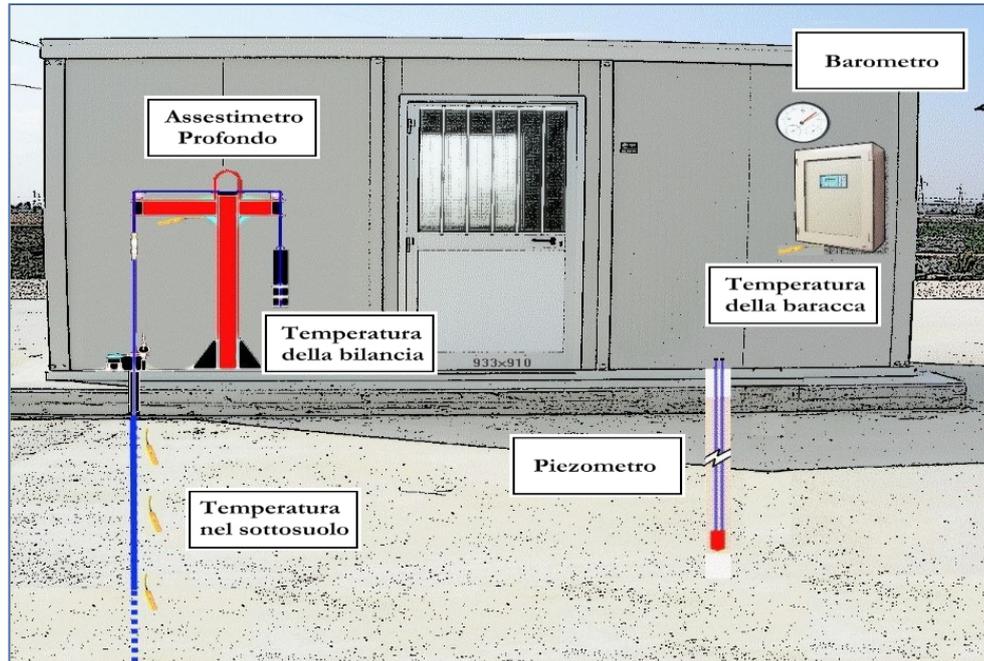


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

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

Per ciascuna stazione *EPSU* vengono di seguito presentati:

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

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

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 34 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## **Stazione EPSU di RUBICONE (installata dicembre 2009)**

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

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

### **Strumentazione:**

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

La strumentazione messa in opera nella stazione è illustrata schematicamente nelle Figure 4B e 5B mentre la Figura 6B presenta in dettaglio la litologia dei terreni attraversati dal pozzo assestimetrico e dalle 2 verticali piezometriche.

La raccolta dati è iniziata l'8 aprile 2009.

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

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

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

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

A dicembre 2017 è stata fatta manutenzione straordinaria dei tre piezometri con spurgo e lavaggio dei piezometri della stazione. Per i due piezometri ubicati sulla stessa verticale - quello superficiale e l'intermedio (70 e 146 m da p.c.) - il lavaggio con acqua in pressione ha consentito di escludere che vi fosse comunicazione idraulica fra gli stessi. Le celle e i tubi di tutti e tre i piezometri (tipo Casagrande) sono risultati perfettamente integri: le letture manuali, effettuate subito dopo lo spurgo e durante la fase di ricarica della falda, sono risultate attendibili presentando per tutti i piezometri un dislivello massimo tra i due tubi compreso tra 0 e 1

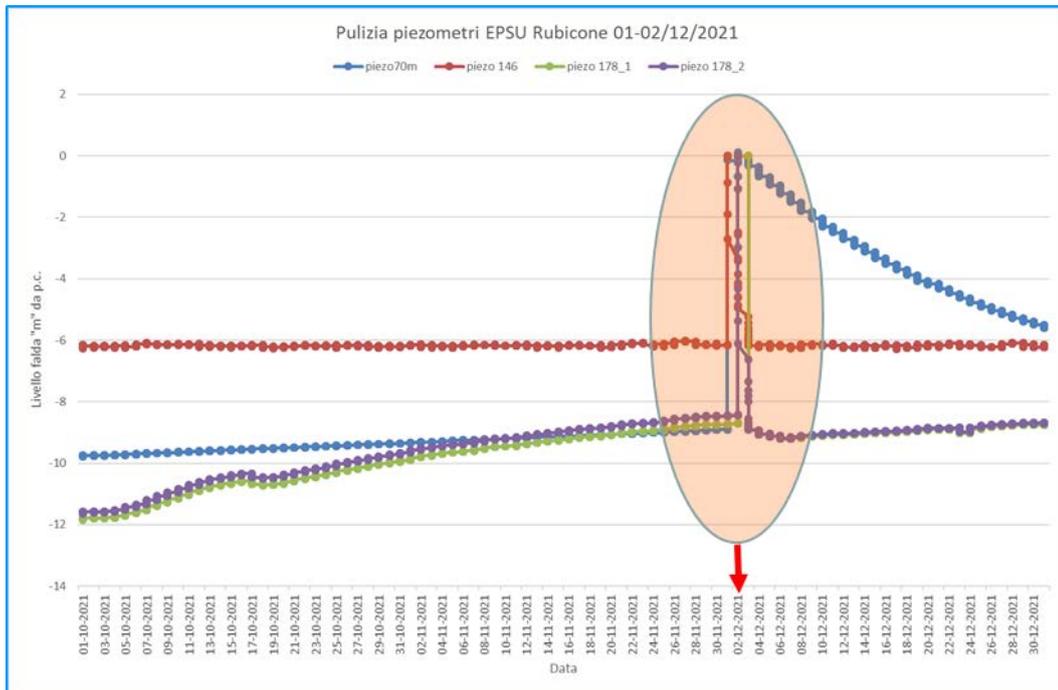
 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 35 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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 (Figura 3B), gli altri 2 piezometri hanno ristabilito quasi immediatamente il loro livello piezometro di "pre-lavaggio". Nel pozzo piezometrico a 178 m di Figura 3B vengono indicati anche i livelli piezometrici (178.1 m e 178.2 m) di entrambi i trasduttori di pressione installati nei due tubi dello stesso piezometro. 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.



**Figura 3B – Andamento livello piezometrico dei piezometri pre e post lavaggio. Da notare il comportamento del piezometro a -70 m che ristabilisce il suo livello piezometrico più lentamente rispetto agli altri 2.**

Per tutto il 2021 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati.

Nel corso del 2020 e del 2021, a causa della situazione pandemica è stato possibile effettuare un solo controllo generale della strumentazione in data 02 agosto 2021, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la taratura di tutti i sensori.

### 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 7B) 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,

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 37 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

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 ottobre a aprile dell'anno successivo (massima espansione), una ripresa delle misure da aprile fino ad 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 8B e 9B).

Nel caso della stazione di Rubicone, l'andamento nel tempo della curva di compattazione/espansione registrata dall'assestometro 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 8B e Figura 9B (confronto delle misure piezometrica profonda e assestometrica dell'ultimo anno).

### **Analisi dei dati piezometrici**

Nei grafici dei piezometri (Figura 7B) 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 8B 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 – vedi tabella di pagina 34). 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 3 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 freatimetro.

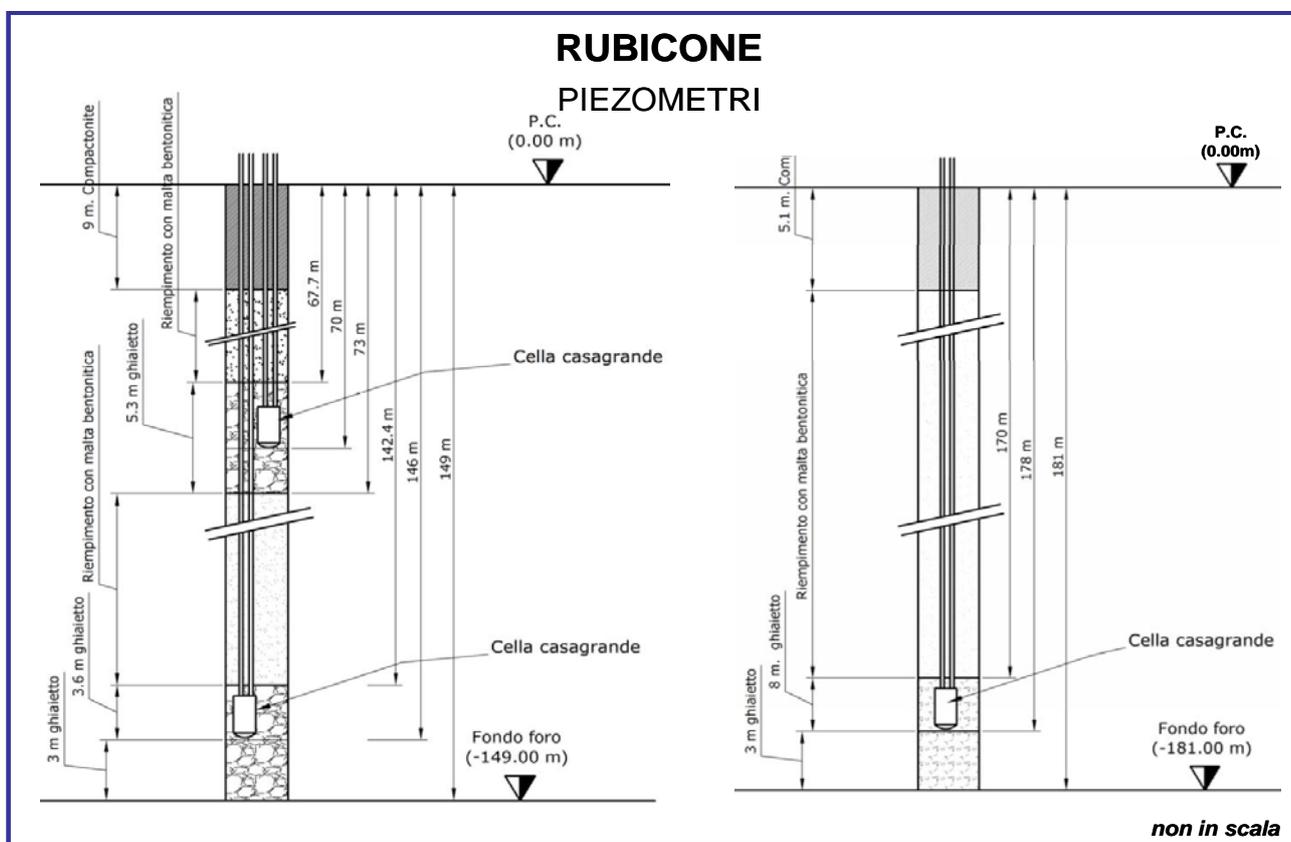


Figura 4B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

## 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.

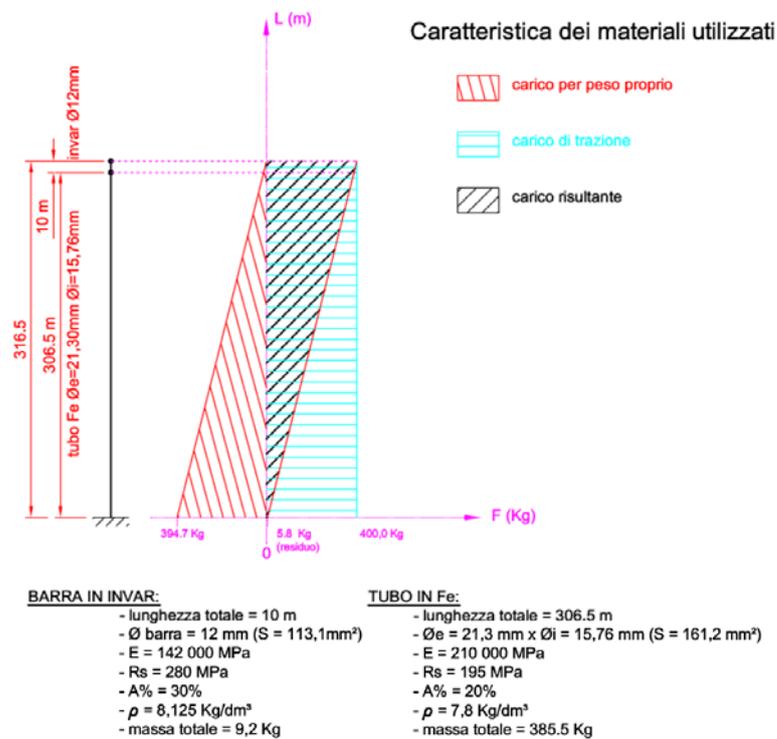


Figura 5B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone

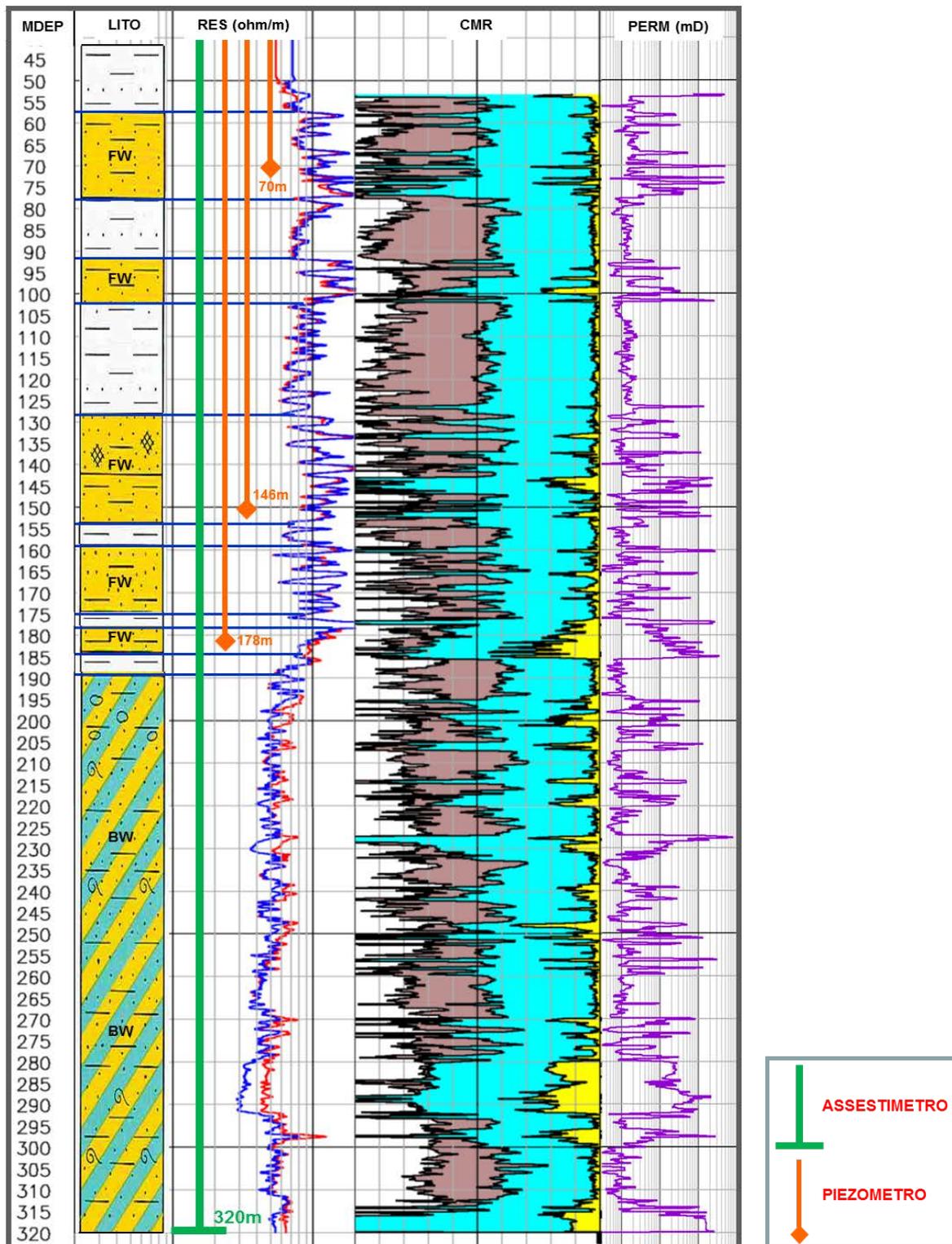
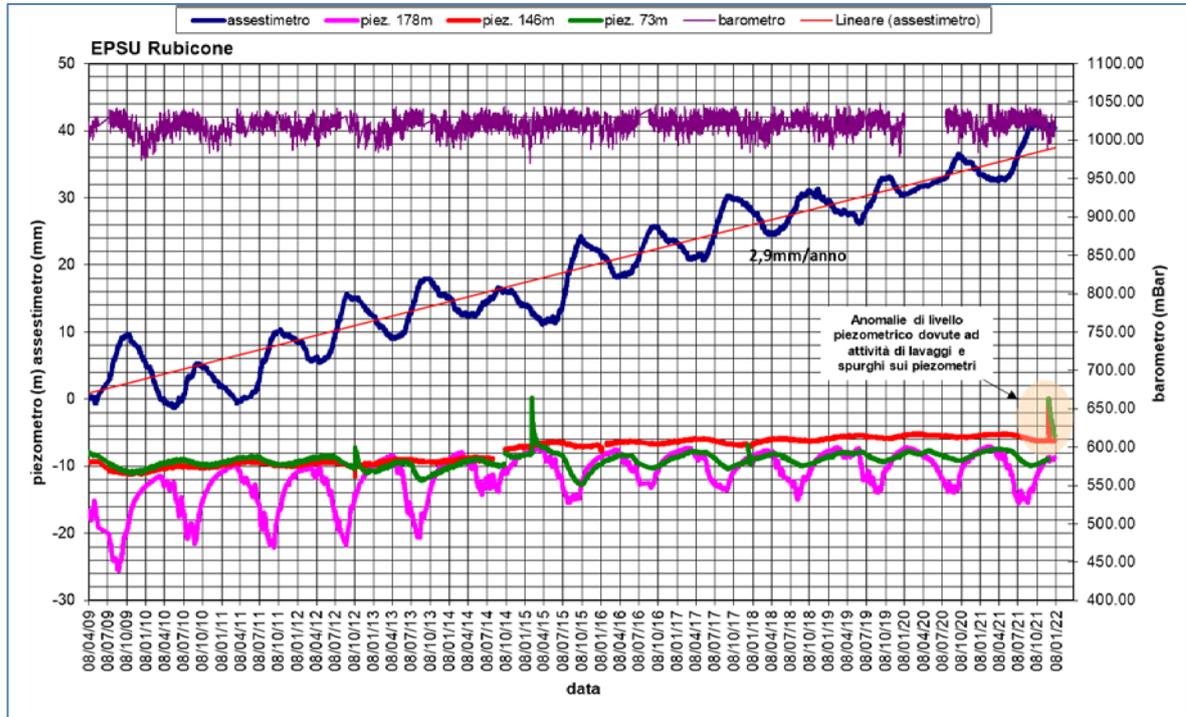
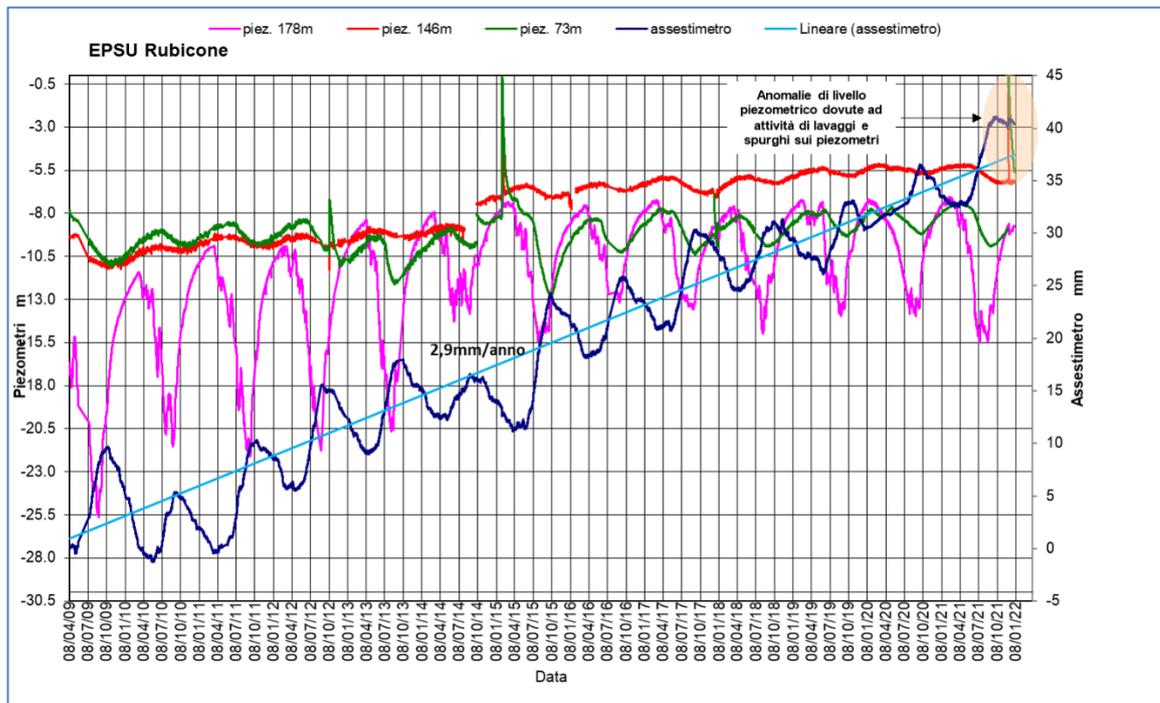


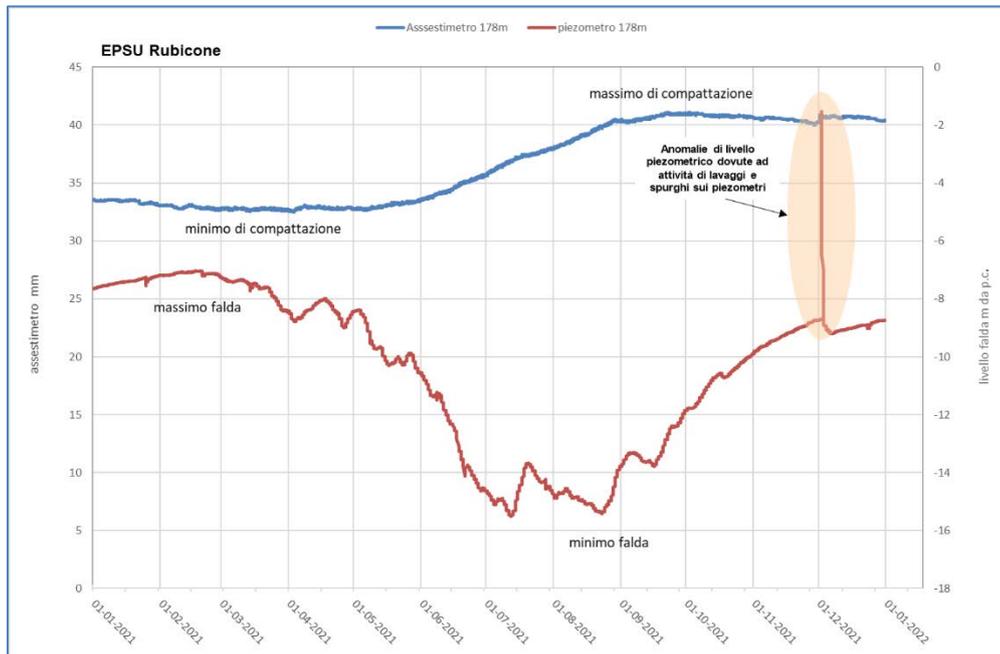
Figura 6B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone  
(FW=acqua dolce; BW=acqua salmastra)



**Figura 7B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche**



**Figura 8B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche e assestimetriche.**



**Figura 9B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati**

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 43 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## **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 10B, mentre la Figura 11B 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 periodo monitorato (10/2008 - 12/2021) non si sono notate anomalie né a livello sensoristico né a livello di apparecchiatura d'acquisizione dati; per tutto il 2021 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie storiche registrate.

Come nel 2020, nel corso del 2021, a causa della situazione pandemica, è stato possibile effettuare un solo controllo generale della strumentazione il 02 agosto 2021, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la taratura di tutti i sensori.

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 .

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 44 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## 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 12B) 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 2021 (Figura 13B) si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compattazione di circa 1 mm (0.91) a inizio anno è stata quasi del tutto recuperata da una successiva espansione estiva (metà luglio/inizio agosto), per ritornare poi a un valore di circa 1 mm (compattazione) nel periodo autunno-invernale.

Alla fine del 2021 l'assestimetro registra, quindi di nuovo, una compattazione di ca. 1 mm (0.97) con una compattazione complessiva totale nell'anno nulla (Figura 13B).

Le misure assestimetriche, acquisite nei circa 13 anni di osservazioni in questa stazione, mostrano, analogamente a quelle della stazione più a sud di Falconara, una situazione del

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 45 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

terreno sostanzialmente stabile, con una compattazione complessiva (-0.003mm/anno) pressoché nulla (Fig.12B) a parte le variazioni cicliche stagionali.

Passando al confronto con la piezometria, si nota che la curva assestimetrica mostra una buona correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestimetrica si presenta sfasata anche rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo (massima espansione) circa quattro mesi dopo il massimo del livello piezometrico (Figura 12B e Figura 13B). Questo comportamento potrebbe essere spiegato dal ritardo con cui si contrae o rigonfia un grosso strato d'argilla di circa 32 m (Figura 11B) quando varia la pressione. La presenza di tale strato d'argilla è stata rilevata durante la perforazione del foro assestimetrico.

### **Analisi dei dati piezometrici**

Nel grafico di Figura 12B 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. L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stata effettuata il 2 agosto 2021. Successivamente, in data 30 novembre è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio e sono stati rifatti i controlli dei trasduttori di pressione. Al termine dell'attività di manutenzione il piezometro è risultato integro e perfettamente funzionante.



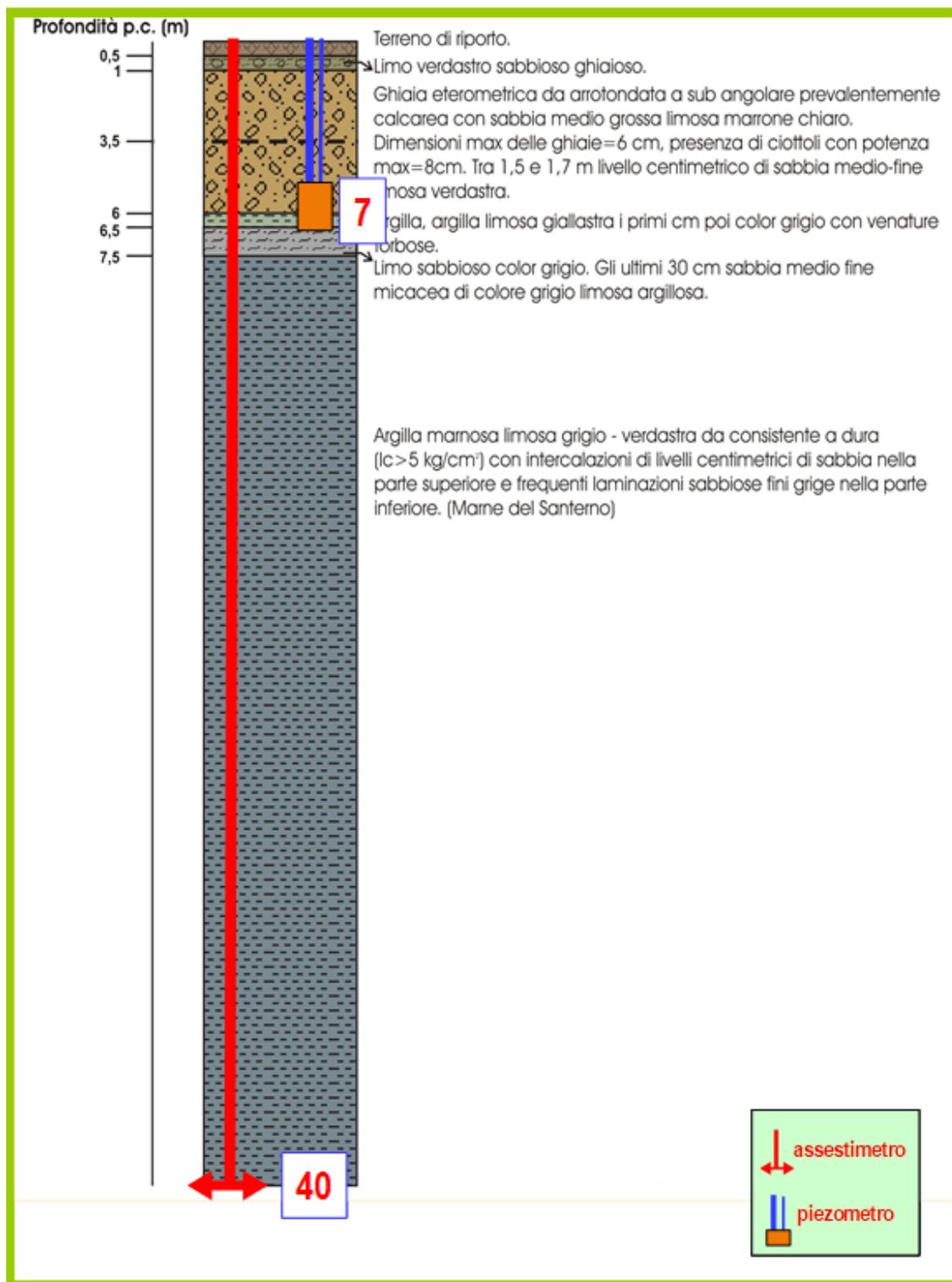
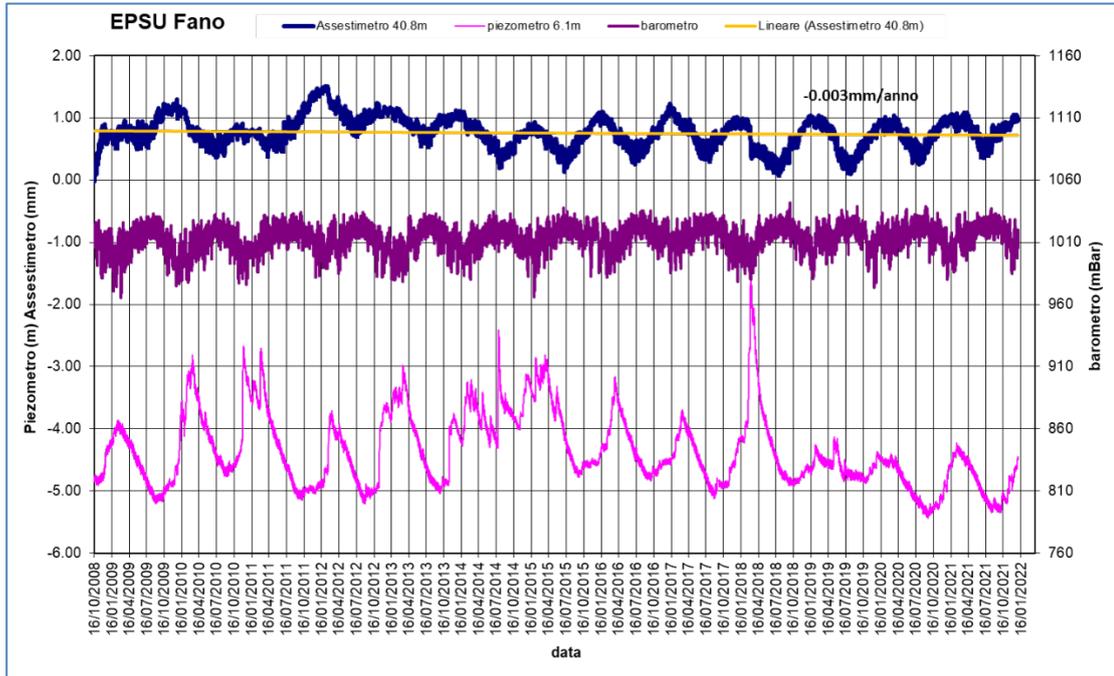
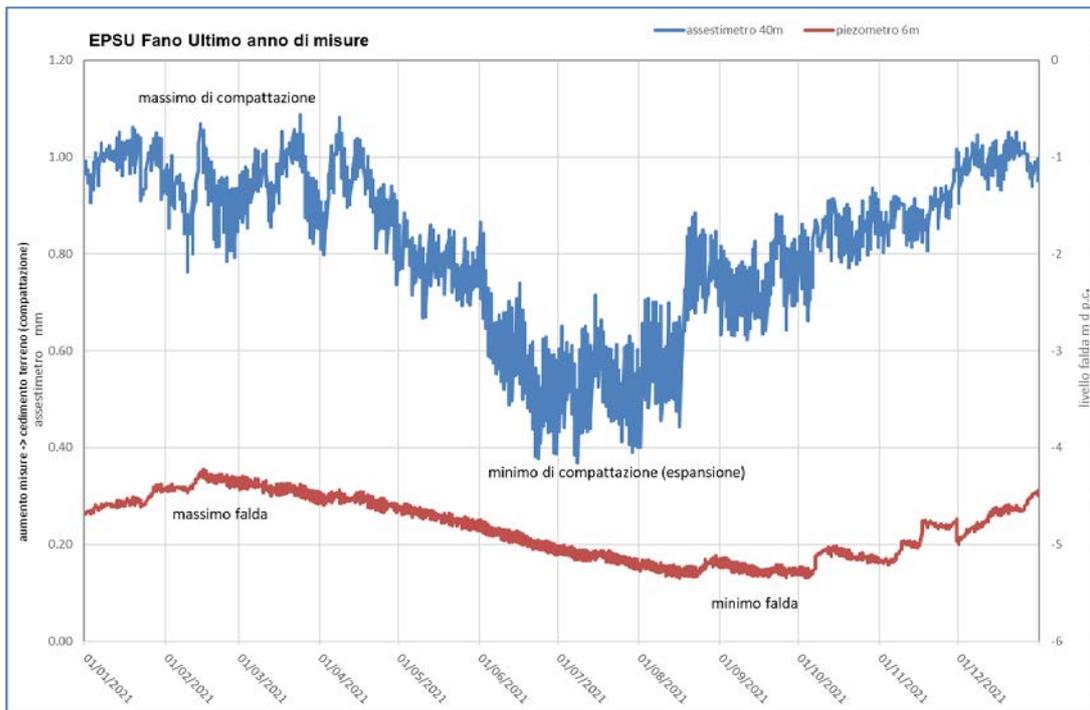


Figura 11B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano



**Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.**



**Figura 13B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati.**

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 49 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## **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.

A 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 2021 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati.

Come nel 2020, nel corso del 2021, a causa della situazione pandemica, è stato possibile effettuare un solo controllo generale della strumentazione il 02 agosto 2021, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la taratura di tutti i sensori.

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.

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 50 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## 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 nell'ultimo anno (Figura 17B).

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 ca. 0.1 mm/a (leggera espansione 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.

Nel caso di Falconara il livello della falda è risultato molto alto, circa 1.3 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.



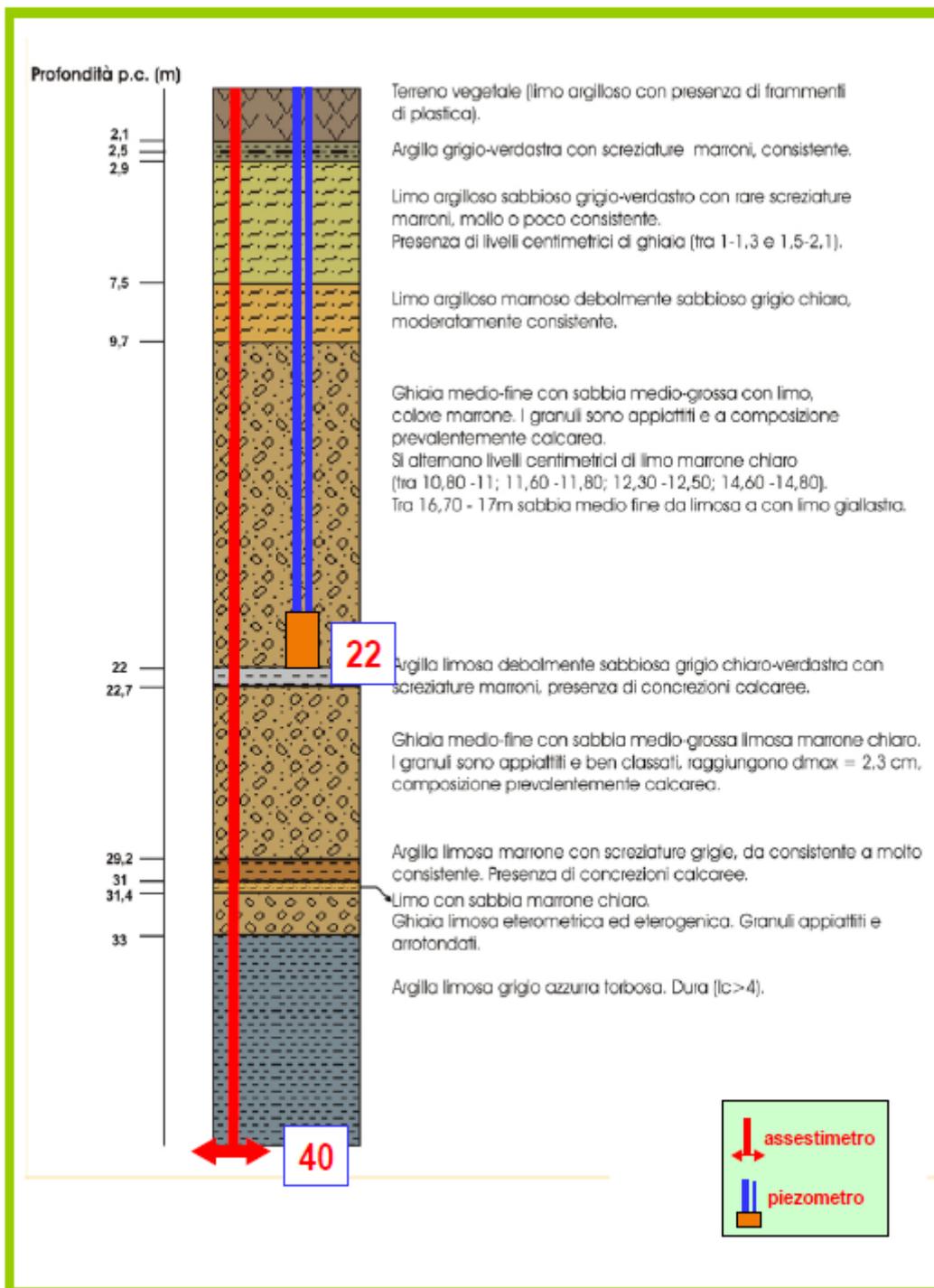


Figura 15B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

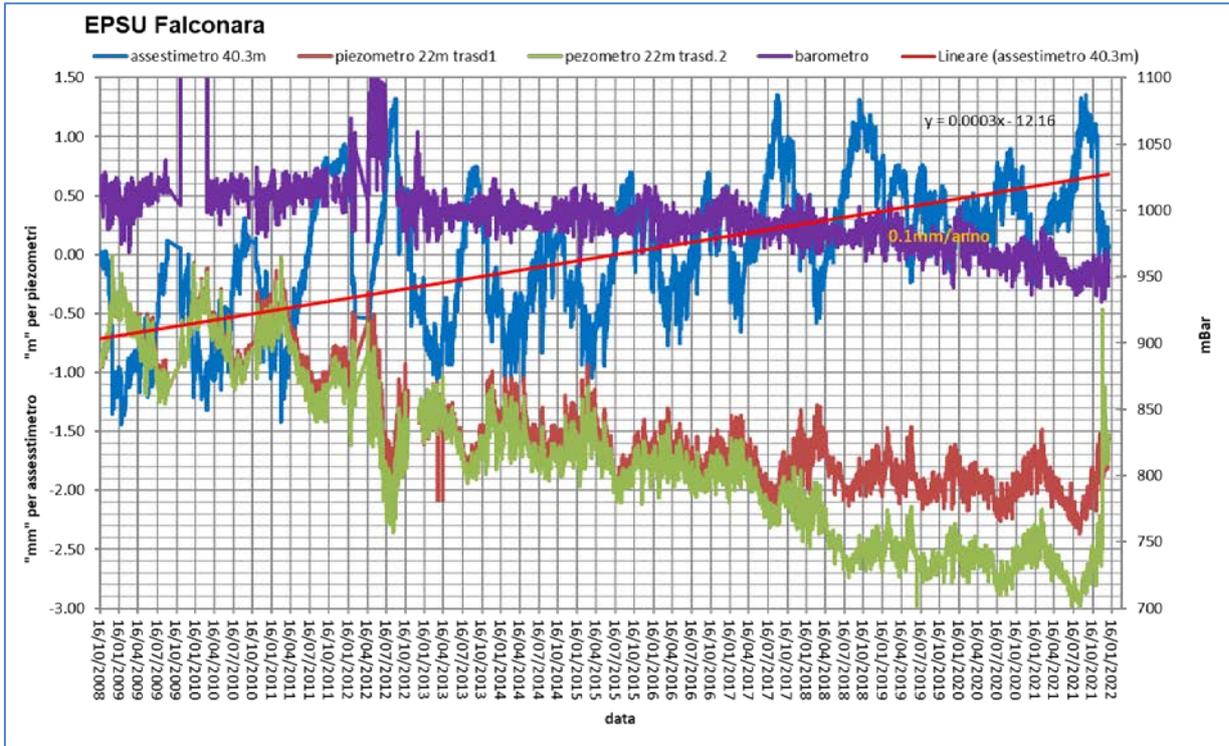


Figura 16B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

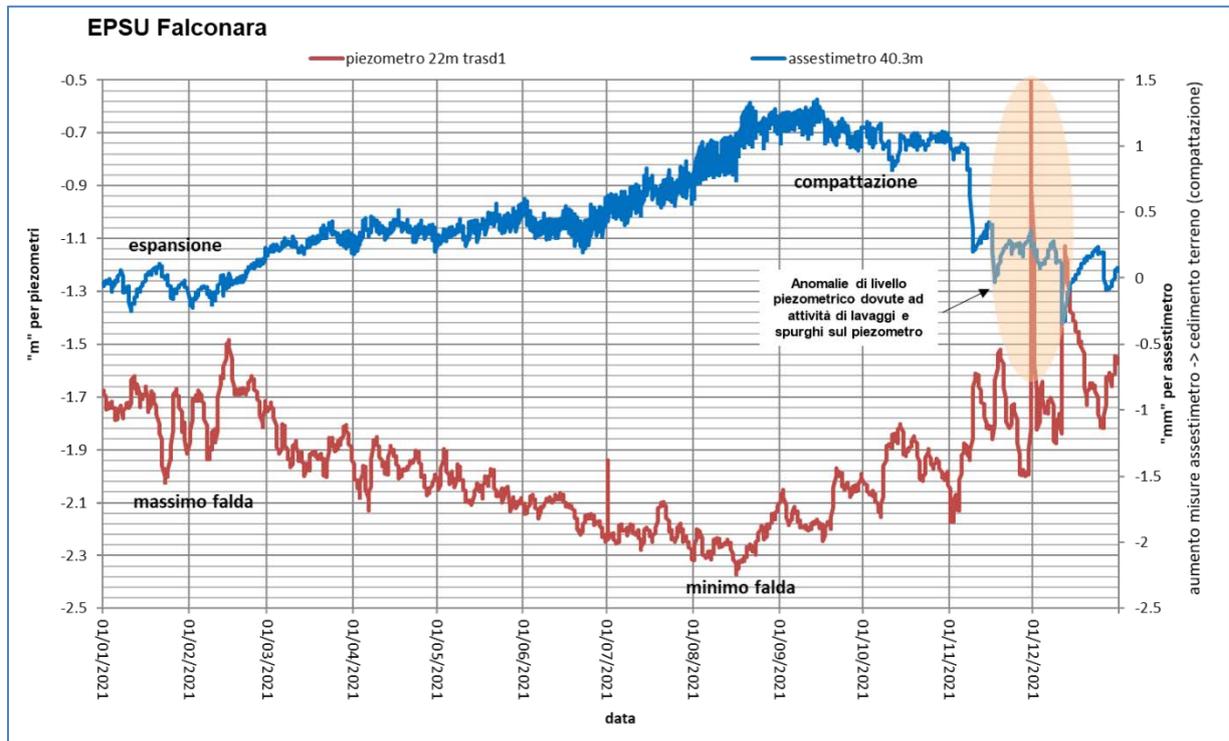


Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

 Eni spa	Campo di CALPURNIA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_CALP	Page - 54 - of 55
--	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------

## Conclusioni

Dall'insieme dei dati sino ad ora raccolti nelle 3 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 le falde superficiali più sensibili 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 2021, dopo 12.73 anni di funzionamento, misurava, infatti, una compattazione complessiva (rispetto allo zero iniziale) di 40.3 mm, che equivale a una velocità media annua di compattazione pari a circa 3.1 mm/anno. Tale valore resta circa uguale, 2.9 mm/anno, se si elaborano i dati delle misure assestimetriche con una regressione lineare. Nel caso di Fano, il trend delle curve piezometrica e assestimetrica è maggiormente influenzato dalla litologia attraversata dai pozzi, litologia 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 scarsamente comprimibile; lo strumento, infatti, nei circa 13 e più anni (13.21) di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (0.97mm). A tale 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 31/12/2021 e la relativa velocità media annua, valutata semplicemente come rapporto fra la misura assestimetrica a fine 2021 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 emerso un trend ben definito 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>	12.73	40.3	3.1	n.i.	-
<b>Fano</b>	13.21	n.i.	-	0.97	n.v.
<b>Falconara</b>	13.21	n.i.	-	0.08	n.v.

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile