


# Campo di PORTO CORSINI MARE


Aggiornamento al 31/12/22



 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 2 - of 52
--	---	---------------------------------	------------------

## Sommario

1	Introduzione .....	- 3 -
2	Assetto geologico - minerario .....	- 3 -
3	Iter autorizzativo e sviluppo del giacimento .....	- 3 -
4	Ultimi aggiornamenti modellistici e storia produttiva .....	- 5 -
5	Impatto emergenza COVID-19 sulle attività operative nel campo.....	- 5 -
6	Modellistica previsionale di subsidenza .....	- 5 -
7	Monitoraggi altimetrici onshore e offshore .....	- 6 -
7.1	Livellazione.....	- 6 -
7.2	CGPS (Continuous GPS) .....	- 9 -
8	Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio CGPS .....	- 12 -
9	SAR (cfr. Appendice A).....	- 12 -
10	SSU / EPSU (cfr. Appendice B) .....	- 13 -
11	Conclusioni .....	- 13 -
12	<b>Appendice A:</b> Analisi dei dati satellitari (2012-2022) lungo la fascia costiera compresa tra Porto Tolle (RO) e Ortona (PE).....	- 22 -
13	<b>Appendice B:</b> Monitoraggio della compattazione superficiale (agg. 2022) lungo la fascia costiera compresa tra Comacchio e Cervia - giacimenti di Naomi-Pandora, Tea-Lavanda-Arnica, Guendalina, PCM. ....	- 28 -

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 3 - of 52
--	---	---------------------------------	------------------

## 1 Introduzione

Il campo di Porto Corsini Mare - pozzi PCMS-1 e PCMS-2 è situato nell'offshore Adriatico a circa 20 km a NE di Cervia (Figura 1), ad una profondità d'acqua di circa 24 m, nella concessione Porto Corsini Mare.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
Porto Corsini Mare (PCMS 1-2)	14/09/25	Eni	Eni	100%	Emilia Romagna

## 2 Assetto geologico - minerario

I pozzi PCMS-1 (perforato nel 1997) e PCMS-2 (perforato nel 2001) sono ubicati sul bordo meridionale della struttura del giacimento di Porto Corsini Mare Est (PCME) costituito da una anticlinale orientata NW-SE situata nelle strutture più esterne delle pieghe adriatiche.

Il campo di PCME è formato da un elevato numero di livelli mineralizzati in un intervallo di profondità compreso tra 1300 e 4000 m slm sull'intera sequenza stratigrafica Pleistocenico-Pliocenica (serie PLQ, PL3, PL2 e PL1).


In particolare, i pozzi PCMS-1 e PCMS-2 hanno rinvenuto mineralizzati a gas alcuni livelli torbiditici della Formazione Carola (Pleistocene) che si sono strutturati come blande anticlinali con asse NNW-SSE sovrastanti le torbiditi plioceniche delle Formazioni Porto Garibaldi e Porto Corsini. I livelli mineralizzati, scoperti dal pozzo PCMS-1 nel 1997, si trovano all'interno della serie PLQ della F.ne Carola ad una profondità di circa 1450 m slm (Figura 2).

## 3 Iter autorizzativo e sviluppo del giacimento

Nell'aprile 2000 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente:

- la realizzazione di una piattaforma di tipo monotubolare in corrispondenza del pozzo PCMS-1 e la posa del relativo *sealine* per la messa in produzione;
- la perforazione di un pozzo isolato PCMS-2 con installazione di una piattaforma di tipo monotubolare e la posa del relativo *sealine* per la messa in produzione.

Nel documento SIA si riportava un profilo di produzione ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello *Eclipse* 3D) del maggio 1999 che prevedeva riserve a vita intera (pozzi PCMS-1 e 2) pari a 457 MSm<sup>3</sup> producibili in 16 anni con un picco di produzione giornaliera di

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 4 - of 52
--	---	---------------------------------	------------------


200 kSm<sup>3</sup>/g. La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello geomeccanico del tipo Geertsma cilindrico, è risultata di 4.5 cm in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 10 anni dall'inizio produzione; alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) è risultato estendersi per circa 2.5 km verso costa. In seguito al Decreto VIA n° 6132 del 24/05/01 che approvava il programma lavori presentato, nel 2001 è stato realizzato lo sviluppo del progetto con la perforazione del pozzo PCMS-2 e l'installazione delle due monotubolari PCMS-1 e PCMS2.

I pozzi sono entrati in produzione nel novembre del 2001 con una portata iniziale di circa 190 kSm<sup>3</sup>/g. I risultati dello sviluppo hanno sostanzialmente confermato le dimensioni della struttura. Nel marzo 2007 sono stati rivisti gli studi statico e dinamico di giacimento per meglio tarare il meccanismo di produzione. Il nuovo profilo di produzione ottenuto con il modello dinamico *Eclipse 3D* ha previsto un lieve calo delle riserve che si sono ridotte a 425 MSm<sup>3</sup> in 16 anni per effetto di una graduale chiusura dei pozzi causata dall'alta percentuale d'acqua prodotta. Nel febbraio 2012 si è di nuovo aggiornato il modello di giacimento (*Eclipse 3D*) sulla base delle informazioni e dei dati di produzione disponibili al 31/12/2011.

Il nuovo profilo di produzione ottenuto ha incrementato del 21% le riserve del campo, che sono risultate pari a 515 MSm<sup>3</sup> al 2016. A questo aggiornamento del modello dinamico di giacimento è seguito anche quello del modello geomeccanico (rel. Eni-TERA n° 05-2012 *Campo di Porto Corsini Mare Est, Modello Elasto-Plastico di Subsidenza, Management Summary* del dicembre 2012). A seguito della chiusura alla produzione (2015) di entrambi i pozzi (PCMS-1 e PCMS2), nel marzo 2016 si è deciso di eseguire una nuova revisione del modello di giacimento *Eclipse 3D* (rel. GISE - 06/16 *Campo di Porto Corsini Mare Est - Aggiornamento studio di giacimento. Scheda Riassuntiva del marzo 2016*).

Quest'ultimo studio ha ridotto le riserve del campo a 485 MSm<sup>3</sup>, ovvero ad un valore pari al volume cumulativo di gas già prodotto a dicembre 2014.

L'aggiornamento del modello dinamico di giacimento del marzo 2016 ha comportato a sua volta la revisione del relativo modello geomeccanico (rel. Eni-TERA n° 08-2016 *Campo di Porto Corsini Mare Est, Modello Elasto-Plastico di Subsidenza, Management Summary* del dicembre 2016).

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 5 - of 52
--	---	---------------------------------	------------------

#### 4 Ultimi aggiornamenti modellistici e storia produttiva


Nel corso del 2020 è stato nuovamente aggiornato il modello dinamico di giacimento (*Campo di Porto Corsini Mare Est - Aggiornamento studio di giacimento – Scheda riassuntiva - IPET -E6506E90-0 settembre 2020*) che conferma le riserve di PCMS-1,2 a 485 MSm<sup>3</sup> al 2020. In Figura 3, Figura 4, Figura 5 e Figura 6 sono riportati, rispettivamente, gli andamenti storici della portata di gas, d'acqua e la produzione cumulativa di gas aggiornata al 31/12/2022 che è ferma a 485 MSm<sup>3</sup>, in quanto, come accennato in precedenza, entrambi i pozzi (PCMS 1 e PCMS2) sono stati chiusi alla produzione rispettivamente il 24 giugno 2013 e il 31 marzo 2014. Si ricorda a questo proposito che nel corso del 2023 è programmata la definitiva chiusura mineraria dei pozzi PCMS 1 e 2. Nella Figura 7 sono confrontati i profili di pressione calcolati con i modelli *Eclipse 2020* con le pressioni statiche misurate nel livello PLQ-D1. Tale confronto mostra come i valori calcolati dal modello siano in buon accordo con i dati misurati.

#### 5 Impatto emergenza COVID-19 sulle attività operative nel campo

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

#### 6 Modellistica previsionale di subsidenza

A seguito dell'aggiornamento del modello dinamico di giacimento (*Campo di Porto Corsini Mare Est - Aggiornamento studio di giacimento – Scheda riassuntiva - IPET -E6506E90-0 settembre 2020*) è stato nuovamente aggiornato il modello geomeccanico (*Campo di PCME – Modello geomeccanico di subsidenza – Management Summary - IPET -B8465BB0-0 dicembre 2020*). Quest'ultimo è stato realizzato con un codice di calcolo a elementi finiti (FEM-Isamgeo). Il valore di subsidenza massima prevista al 2025, quale contributo dei pozzi PCMS1 e 2 è pari a 4 cm,

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 6 - of 52
--	---	---------------------------------	------------------

mentre la distanza minima della linea d'isosubsidenza di 2 cm dalla costa è di circa 17 km (Figura 8).

## 7 Monitoraggi altimetrici onshore e offshore

### 7.1 Livellazione

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

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

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

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

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

Le misurazioni di campagna si sono svolte nel pieno rispetto delle specifiche tecniche, con il controllo periodico dei 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, Brisighella e Rubicone).

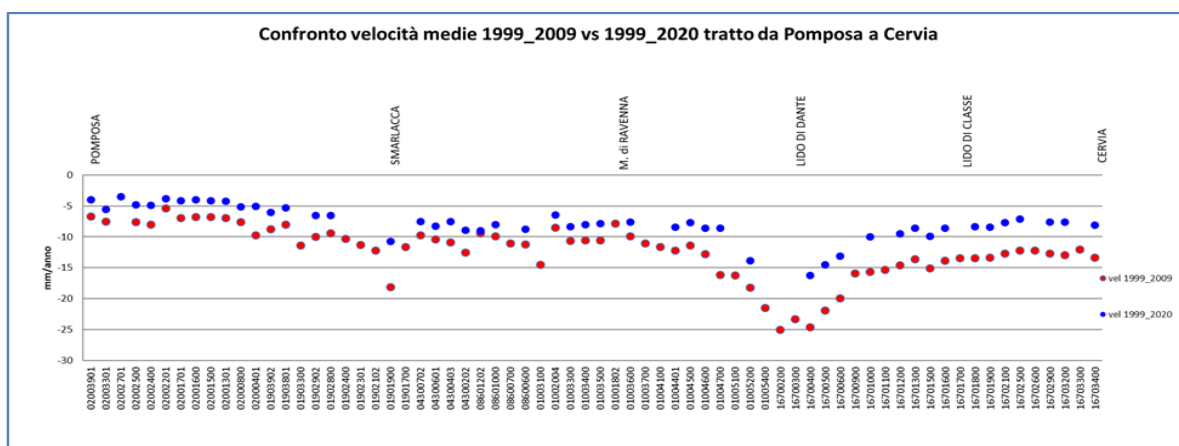



Tali stazioni costituiscono una serie di capisaldi origine omogenei, che consentono di ottenere misure di quota fra loro consistenti. I positivi risultati della sperimentazione, come è stato verificato nell'elaborazione dei dati della campagna di livellazione del 2020, permetteranno di estendere l'utilizzo delle stazioni CGPS onshore anche al tratto Pesaro-P.to S.Giorgio e Marche -Abruzzi.

Per il tratto di costa da Pomposa a Cervia - prospiciente i campi di Naomi-Pandora, Guendalina e Tea-Lavanda-Arnica – sono disponibili, includendo la campagna di misura 2020, 14 serie di misure. Queste sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, in seguito a partire dal 2011, con cadenza triennale. La campagna di misura del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un'origine diversa rispetto a tutte le altre. Le quote disponibili non sono completamente omogenee tra loro, poiché per alcuni capisaldi (zona a sud di Marina di Ravenna), sono state misurate solo a partire dal 2003.

Di conseguenza, dove possibile, si sono stimate con regressione lineare solo le velocità medie d'abbassamento del suolo per quei capisaldi che presentano una serie storica ininterrotta di misure a partire dal 1999. Il grafico che segue (figura A), riporta per confronto le serie storiche 1999-2009 e 1999-2020 e consente di apprezzare graficamente come, nel corso degli anni, si sia registrata una generale diminuzione delle velocità di subsidenza che, mediamente, salvo punte localizzate di maggiore valore, si attesta intorno ai 3 mm/anno nella zona tra Pomposa e Marina di Ravenna e intorno ai 5 mm/anno nella zona tra Lido di Dante e Cervia.

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



 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 8 - of 52
--	---	---------------------------------	------------------

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

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

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

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

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

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


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

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

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

<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 2 paragrafi successivi, le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.



 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 9 - of 52
--	---	---------------------------------	------------------

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

## 7.2 CGPS (Continuous GPS)

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

In tempi più recenti sono state installate anche le nuove stazioni CGPS di Elettra (luglio 2014), di Fauzia (settembre 2014), di Barbara E (novembre 2014), di Bonaccia NW (settembre 2015), e, infine di Clara NW (marzo 2016).

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

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

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

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

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

Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2022 (Figura 9), sono stati utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato nella seguente Tabella 1.


**Tabella 1 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2021**

Stazione	Dati Non Certificati			Dati Certificati			Delta (Non Cert.- Cert.)		
	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	D-N mm/a	D-E mm/a	D-H mm/a
PCC	16.94	23.36	-3.7	17.02	23.41	-4.01	-0.08	-0.05	0.31

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

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

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

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 11 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

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 Porto Corsini Mare, sulla base di una serie storica misure CGPS di durata superiore ai 36 mesi (anche se parzialmente incompleta a causa di *work-over* e successivi problemi di malfunzionamento della strumentazione) e nell'ipotesi di linearità del fenomeno deformativo è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale<sup>2</sup> pari a -3.52 mm/a (Figura 9 e Figura 10), senza variazioni significative rispetto a quanto riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-3.7 mm/a al 2021).

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 due significative variazioni di velocità, che sono ben correlabili con corrispondenti periodi della storia produttiva del campo (Figura 11).

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

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 12 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

In particolare:

- dal 08 luglio 2005 (installazione del CGPS) al 01 gennaio 2017, la velocità media di subsidenza totale è di circa -4.18 mm/a;
- dal 01 gennaio 2017 al 31 dicembre 2022, la velocità media, di subsidenza totale è di circa -1.64 mm/a.

La diminuzione osservata nel secondo periodo è da mettere in relazione con la progressiva chiusura dei pozzi alla produzione.


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

## 8 Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio CGPS

I dati acquisiti dalla stazione CGPS installata sulla piattaforma di PCC (che risente anche dell'effetto del campo di PCME) senza che questi ultimi siano stati depurati della componente di subsidenza naturale, sono stati confrontati con i valori di subsidenza previsti dall'ultimo aggiornamento del modello geomeccanico integrato (PCMS 1,2 e PCME) del dicembre 2020. Come si può osservare in Figura 12, l'evoluzione temporale della subsidenza simulata dal modello integrato (linea blu) di riferimento, riproduce in modo conservativo i dati registrati dal CGPS (linea rossa).

## 9 SAR (cfr. Appendice A)

Il monitoraggio altimetrico del tratto di costa viene integrato con un'analisi della serie storica dei dati InSAR. In Figura 13 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 13), 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  $-9.04 \pm 2.4$  mm/a. Il campo ricade nella maschera Ravenna, per cui è stato utilizzato il dato InSAR calibrato con il dato CGPS (vedi Appendice A).

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 13 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

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

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

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

## 11 Conclusioni

Considerato che i pozzi PCMS1 e PCMS2 sono chiusi dal 2014, le indicazioni del modello previsionale e i monitoraggi geodinamici confermano come eventuali fenomeni di subsidenza connessi alla passata produzione di gas dal campo di Porto Corsini Mare siano di piccola entità e, soprattutto, non abbiano alcun impatto sull'andamento altimetrico del tratto di costa antistante.

Si segnala infine che:

- a) in Figura 14 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 15 è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

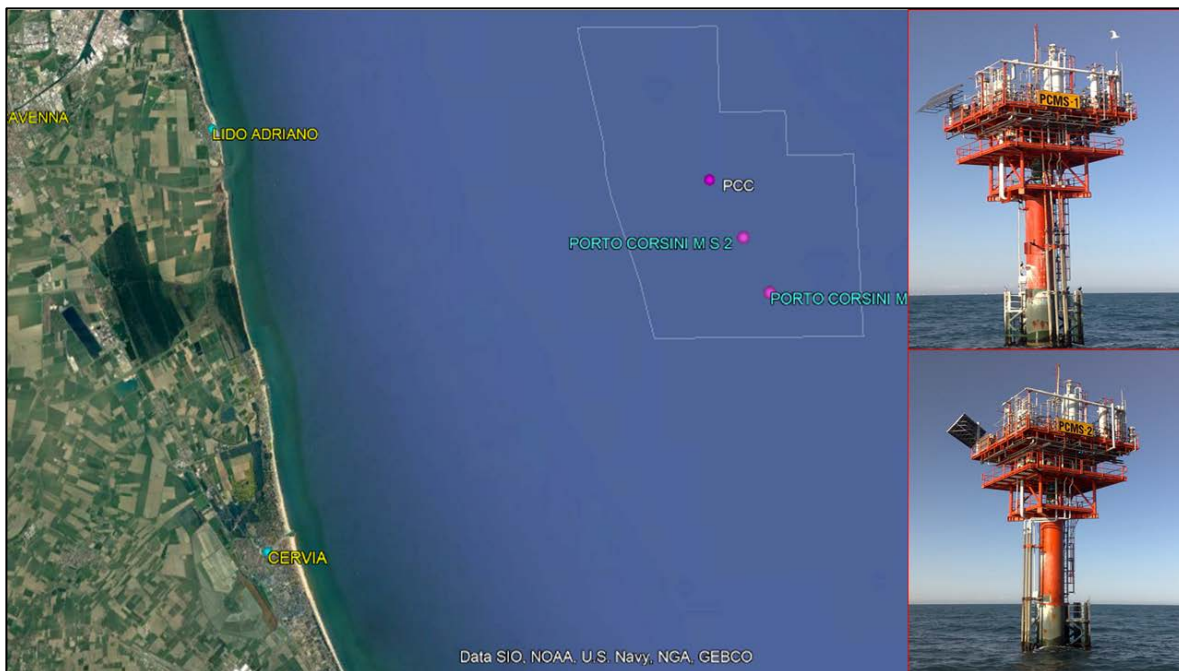


Figura 1 - Ubicazione del Campo di PCM

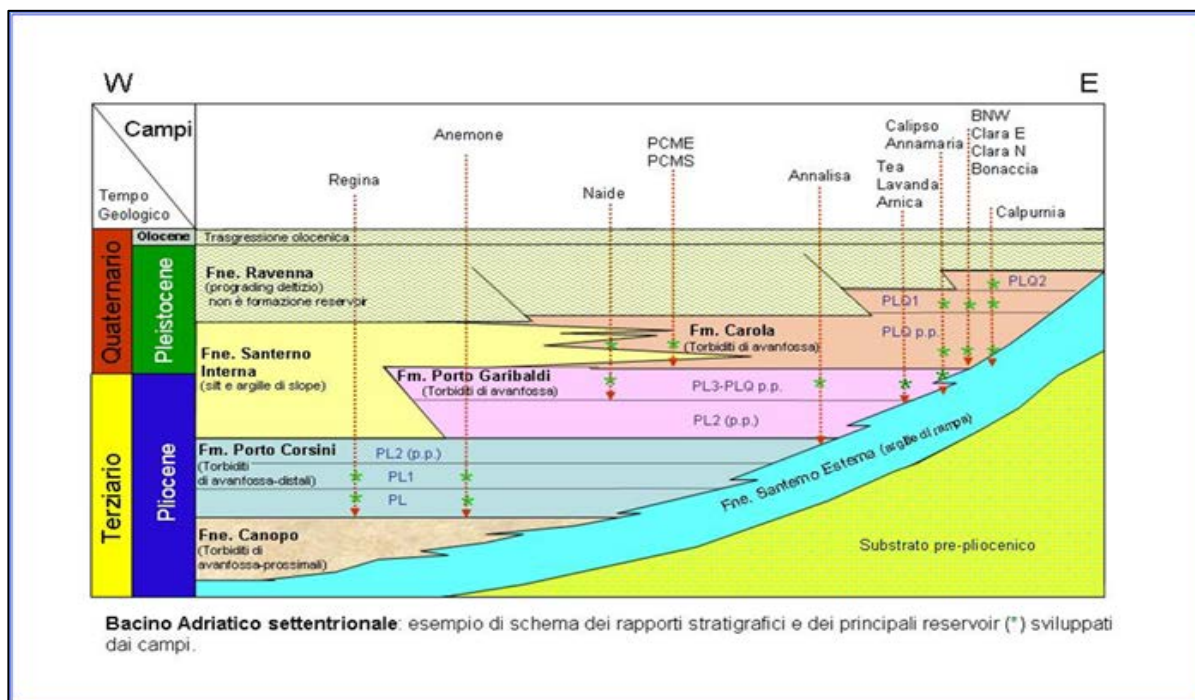


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici



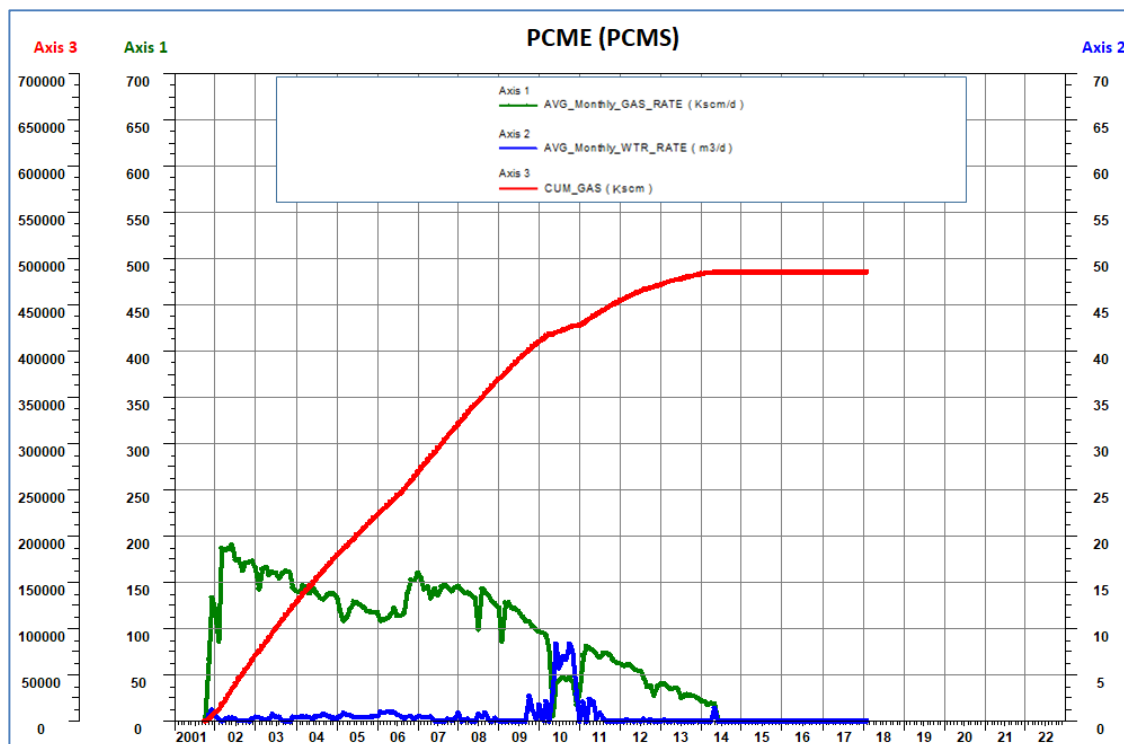


Figura 3 - Campo di Porto Corsini Mare: produzione storica

CAMPO DI PCME (PCMS)					
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	
2001	6	6	6	6	1%
2002	60	60	67	67	14%
2003	58	58	124	124	26%
2004	51	51	175	175	36%
2005	44	44	220	220	45%
2006	45	45	264	264	54%
2007	53	53	317	317	65%
2008	49	49	366	366	75%
2009	41	41	407	407	84%
2010	20	20	427	427	88%
2011	25	25	452	452	93%
2012	18	18	471	471	97%
2013	12	12	482	482	99%
2014	3	3	485	485	100%
2015	0	0	485	485	100%
2016	0	0	485	485	100%
2017	0	0	485	485	100%
2018	0	0	485	485	100%
2019	0	0	485	485	100%
2020	0	0	485	485	100%
2021	0	0	485	485	100%
2022	0	0	485	485	100%
2023					

Figura 4 - Campo di Porto Corsini Mare: produzioni reali e da modello Eclipse (2020)

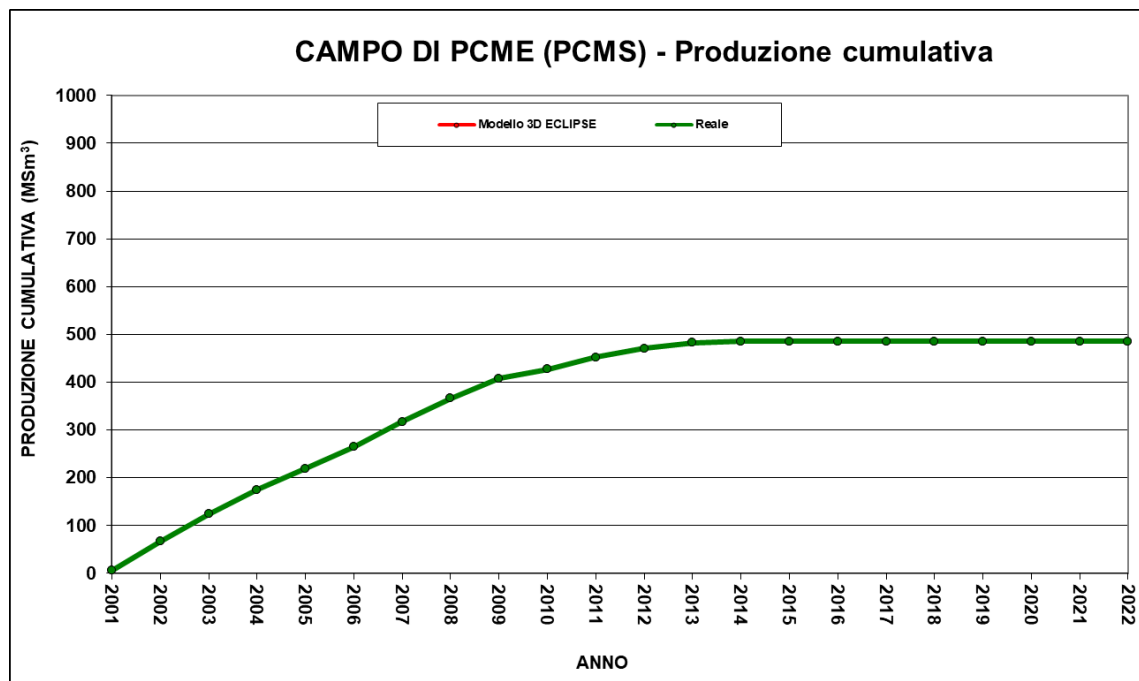


Figura 5 – Campo di Porto Corsini Mare: grafico di produzioni reali e da modello Eclipse (sett.2020)  
 (la curva rossa del modello Eclipse coincide con la produzione reale).

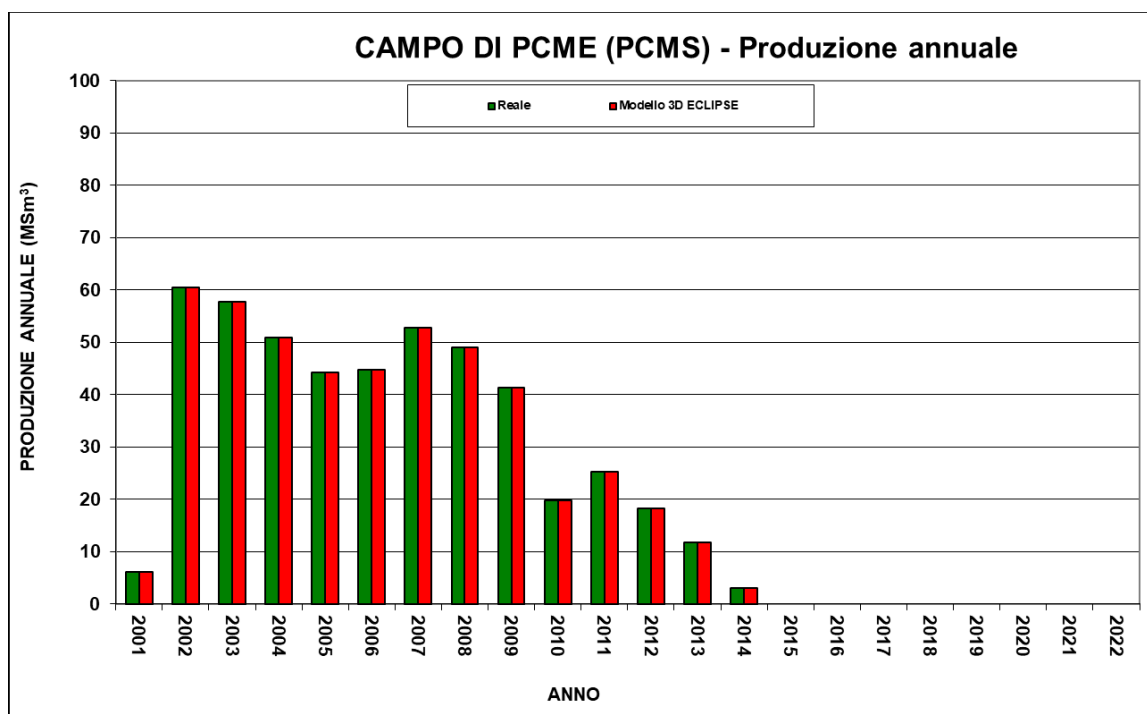


Figura 6 - Campo di Porto Corsini Mare: produzione (annuali) reali e da modello Eclipse (sett.2020)

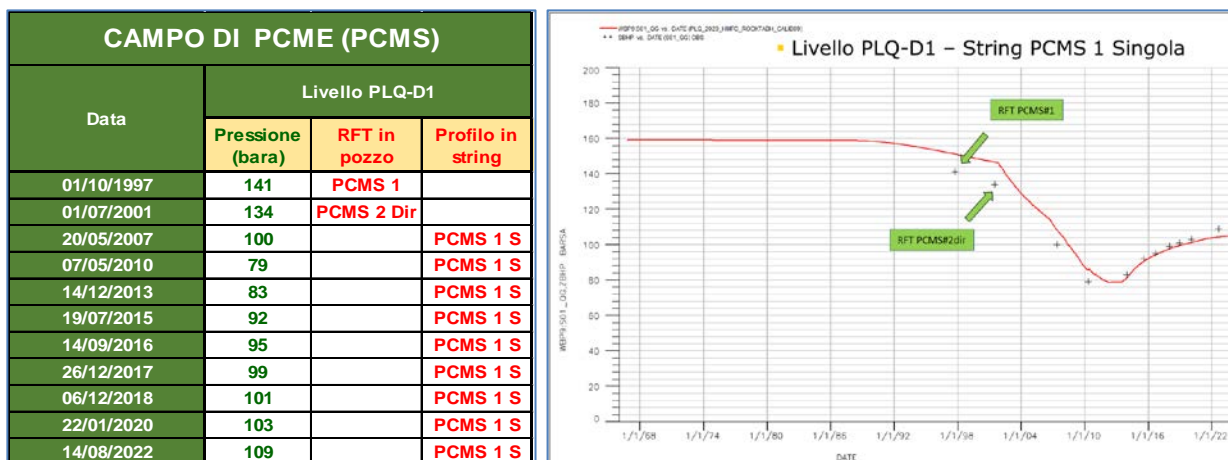


Figura 7 - Campo di Porto Corsini Mare: confronto tra i dati di pressione da profili statici e modello Eclipse (2020) per il livello PLQ-D1

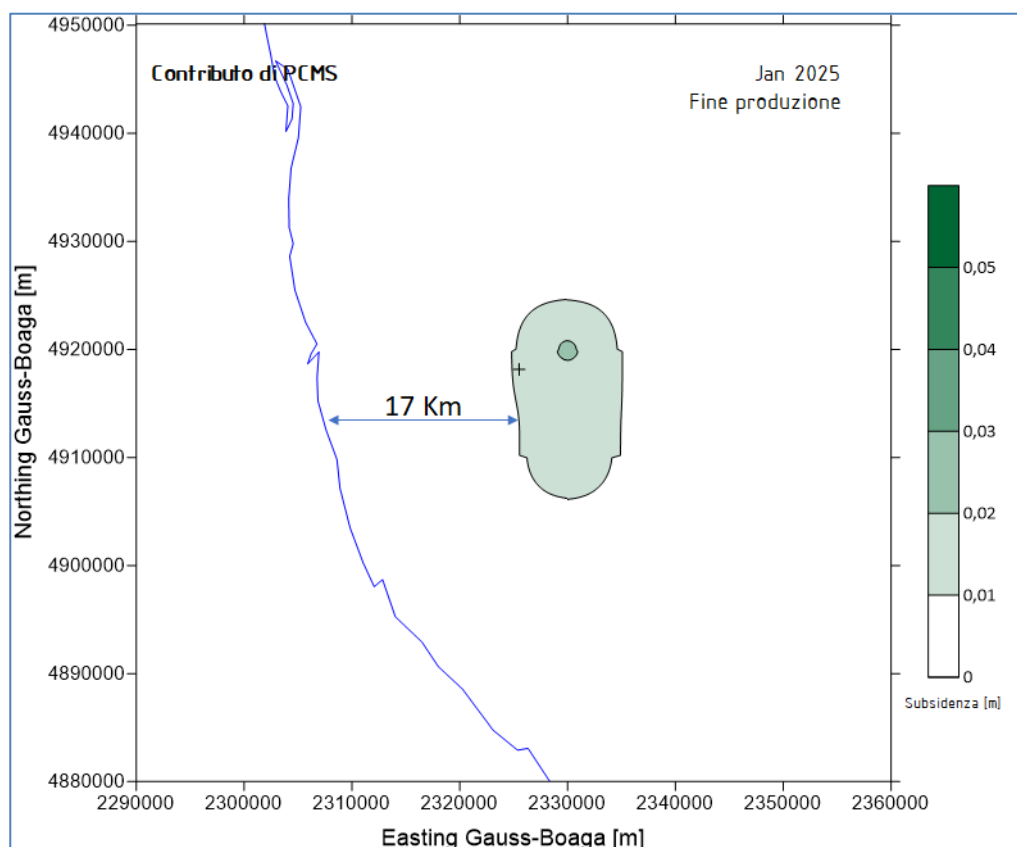
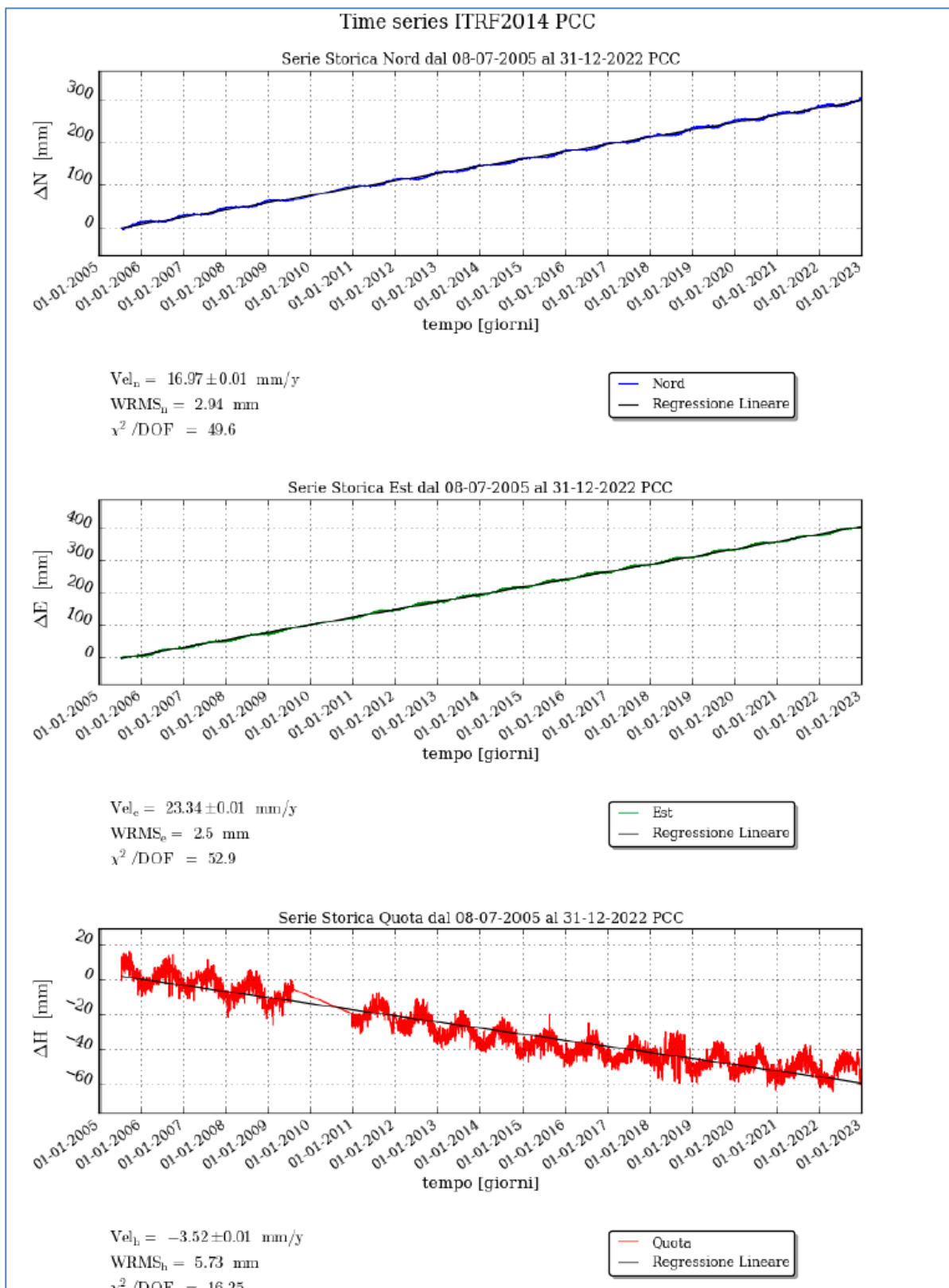


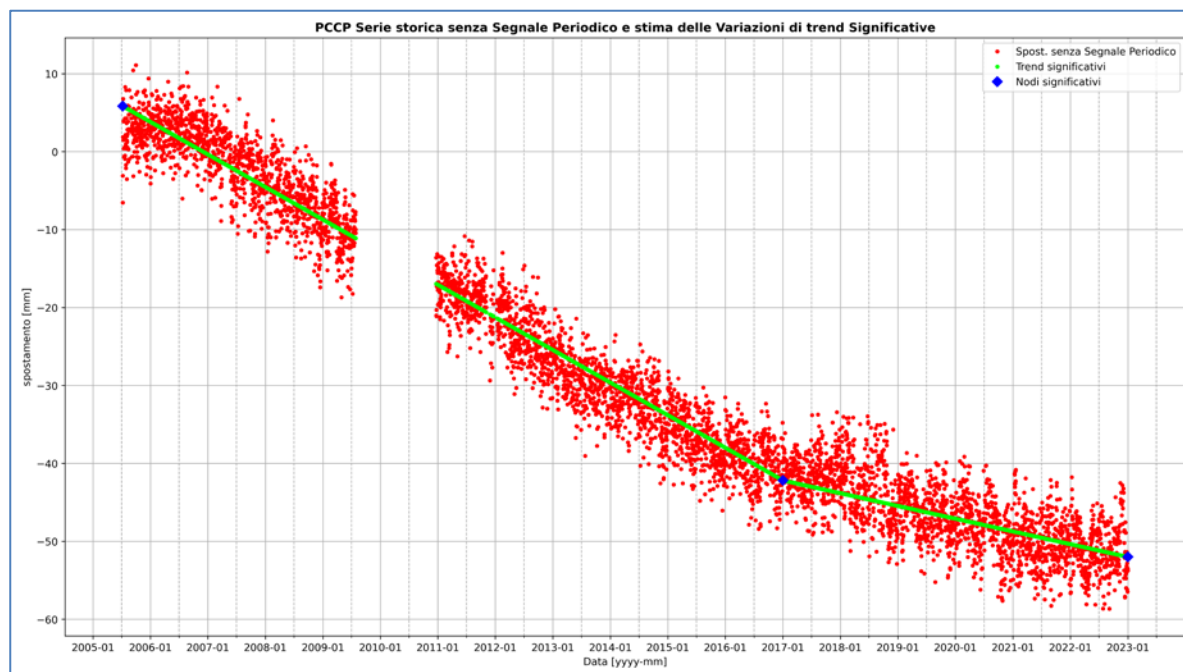
Figura 8 - Campo di Porto Corsini Mare: curve d'iso-subsidenza al 2025. Il simbolo a forma di croce indica la posizione della piattaforma PCC.



**Figura 9 - Campo di Porto Corsini Mare: serie storiche di misure CGPS**

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

**Figura 10 - 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	2005-07-08	2017-01-01	-4.18	0.01
2	2017-01-01	2022-12-31	-1.64	0.03

**Figura 11 - Campo di Porto Corsini Mare: analisi della serie storica di misure CGPS**

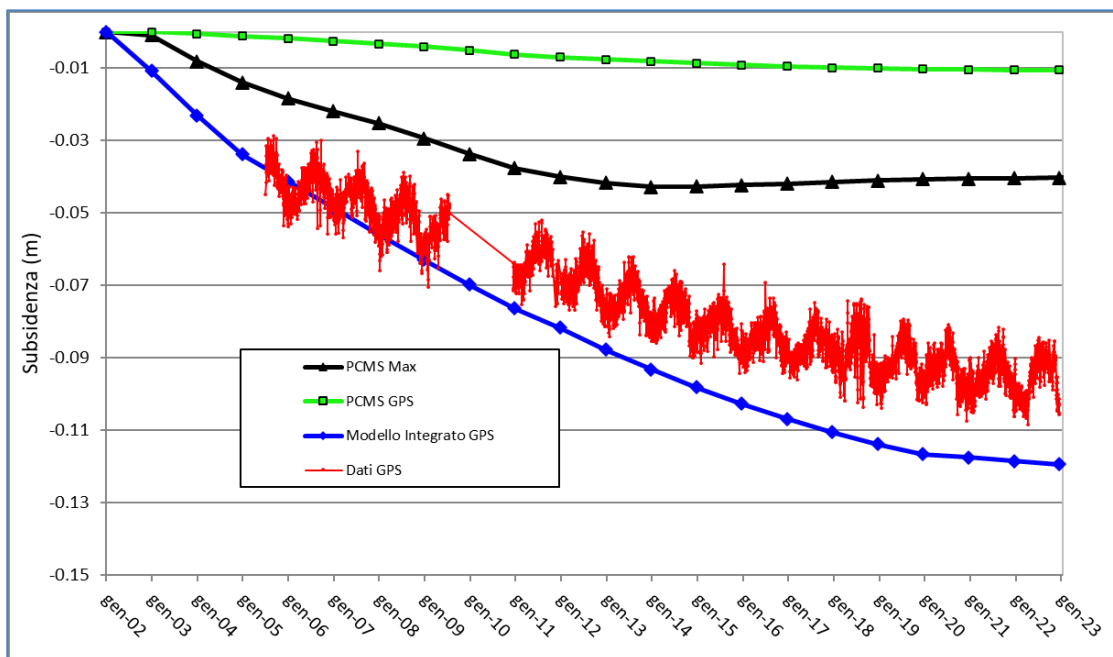


Figura 12 - Campo di Porto Corsini Mare: CGPS su PCC (agg. 31 dic. 2021) vs. modello di subsidenza

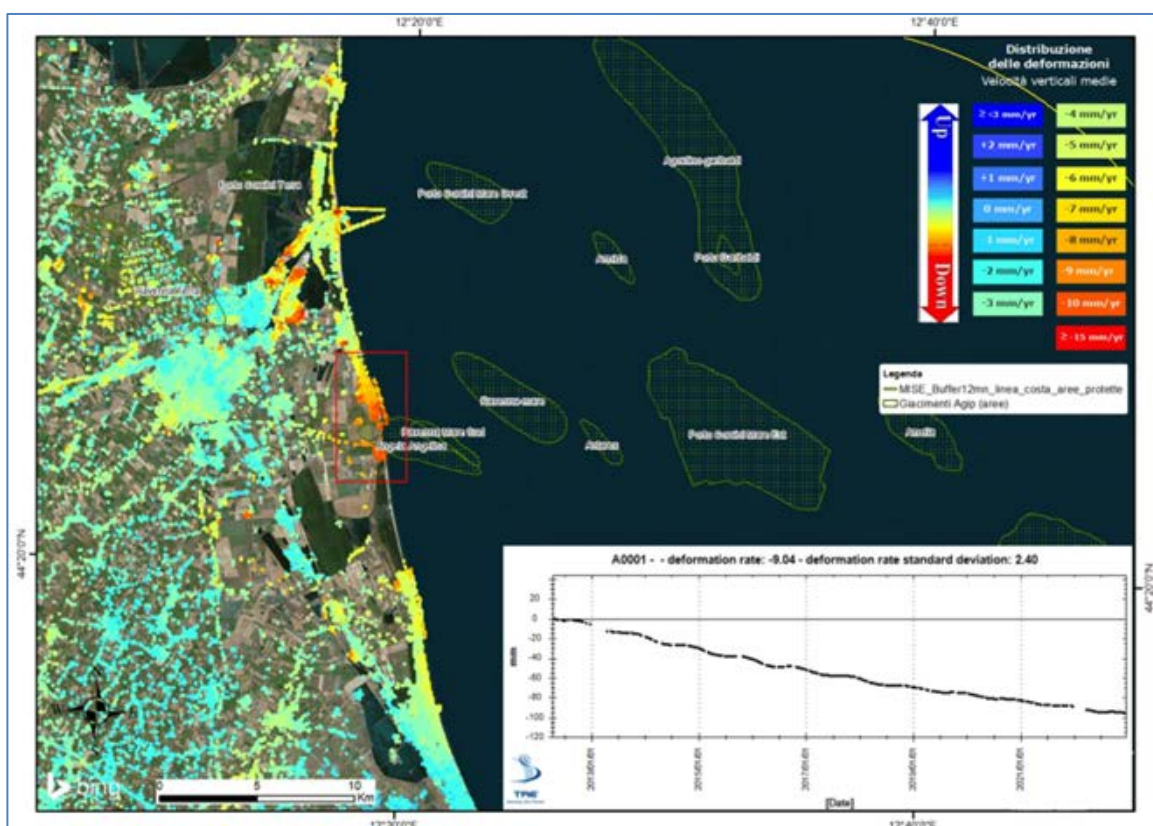


Figura 13 – Analisi dati InSAR dal 2012 al 2022 nel tratto di costa antistante il campo di PCME. Serie storica media (dal 2012 al 2022) dello spostamento medio ricavata dai dati InSAR all'interno del poligono rosso.



campo PORTO CORSINI MARE (PCMS 1 - PCMS 2) (Eni 100%)				DECRETO VIA n. 6132 del 24 MAGGIO 2001 -																									
DATI DI CAMPO				AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (PCM)																									
UBICAZIONE	offshore - 20 km a NE di Cesia																												
PROFONDITA' FONDALE	24 m																												
LITOLOGIA	sabbie fini																												
FORMAZIONE RESERVOIR	Carola																												
ZONA MINERARIA	PL0																												
PROFONDITA' RESERVOIR	1400 (IVSS)																												
TIPO DI PIATTAFORMA	Monotubolare																												
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbidità legg. deformate																												
		D.M @mag01		@ 31 dic 2022																									
CONCESSIONE	PORTO CORSINI MARE																												
DATA SCADENZA CONCESSIONI	14/09/2025																												
N. POZZI (produttori)		1+1	1+1																										
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (Msm <sup>3</sup> )		457	485																										
START UP PRODUZIONE	nov-01																												
FINE PRODUZIONE PREVISTA		POZZI CHIUSI ALLA PRODUZIONE																											
GAS PRODOTTO (Msm <sup>3</sup> )				485																									
% RISERVE PRODOTTE				100%																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>SIA</th> <th>ULTIMO AGGIORNAMENTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>STUDIO DI GIACIMENTO</td> <td>MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MAGGIO '99"</td> <td>Agg. studio giac. - Scheda riass. Rel. EORGN° UID=IPET-E650E90.0 (settembre 2020)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>RESERVE (Msm<sup>3</sup>)</td> <td>457</td> <td>485</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MOD. GEOMECCANICO</td> <td>CILINDRICO</td> <td>ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ DICEMBRE 2020</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MAX SUBS AL CENTRO (cm)</td> <td>4,5 (dopo 10 anni)</td> <td>5,4 @ 2020</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MINIMA DISTANZA L'ALLA COSTA (km)</td> <td>#</td> <td>17 km @ 2020</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MAGGIO '99"	Agg. studio giac. - Scheda riass. Rel. EORGN° UID=IPET-E650E90.0 (settembre 2020)		RESERVE (Msm <sup>3</sup> )	457	485		MOD. GEOMECCANICO	CILINDRICO	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ DICEMBRE 2020		MAX SUBS AL CENTRO (cm)	4,5 (dopo 10 anni)	5,4 @ 2020		MINIMA DISTANZA L'ALLA COSTA (km)	#	17 km @ 2020	
		SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO																										
STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MAGGIO '99"	Agg. studio giac. - Scheda riass. Rel. EORGN° UID=IPET-E650E90.0 (settembre 2020)																											
RESERVE (Msm <sup>3</sup> )	457	485																											
MOD. GEOMECCANICO	CILINDRICO	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ DICEMBRE 2020																											
MAX SUBS AL CENTRO (cm)	4,5 (dopo 10 anni)	5,4 @ 2020																											
MINIMA DISTANZA L'ALLA COSTA (km)	#	17 km @ 2020																											
STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI																													
LIVELLAZIONI		ACQUISITI DATI DI LIVELLAZIONE NEL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2014, 2017 e 2020. LA CAMPAGNA DEL 2020 E' STATA CERTIFICATA DAL DICAM-UNIVERSITA' DI BOLOGNA. LA PROSSIMA CAMPAGNA DI LIVELLAZIONE, LUNGO LA DORSALE ADRIATICA, SARA' EFFETTUATA NEL CORSO DEL 2024.																											
MARKERS		NON PRESENTI																											
CGPS		OPERATIVO DAL 2005																											
SAR		ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DIC 2022 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLE P.M.E. PCMS 1-2 NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA. ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO.																											

Figura 14 - Scheda di sintesi dati campo

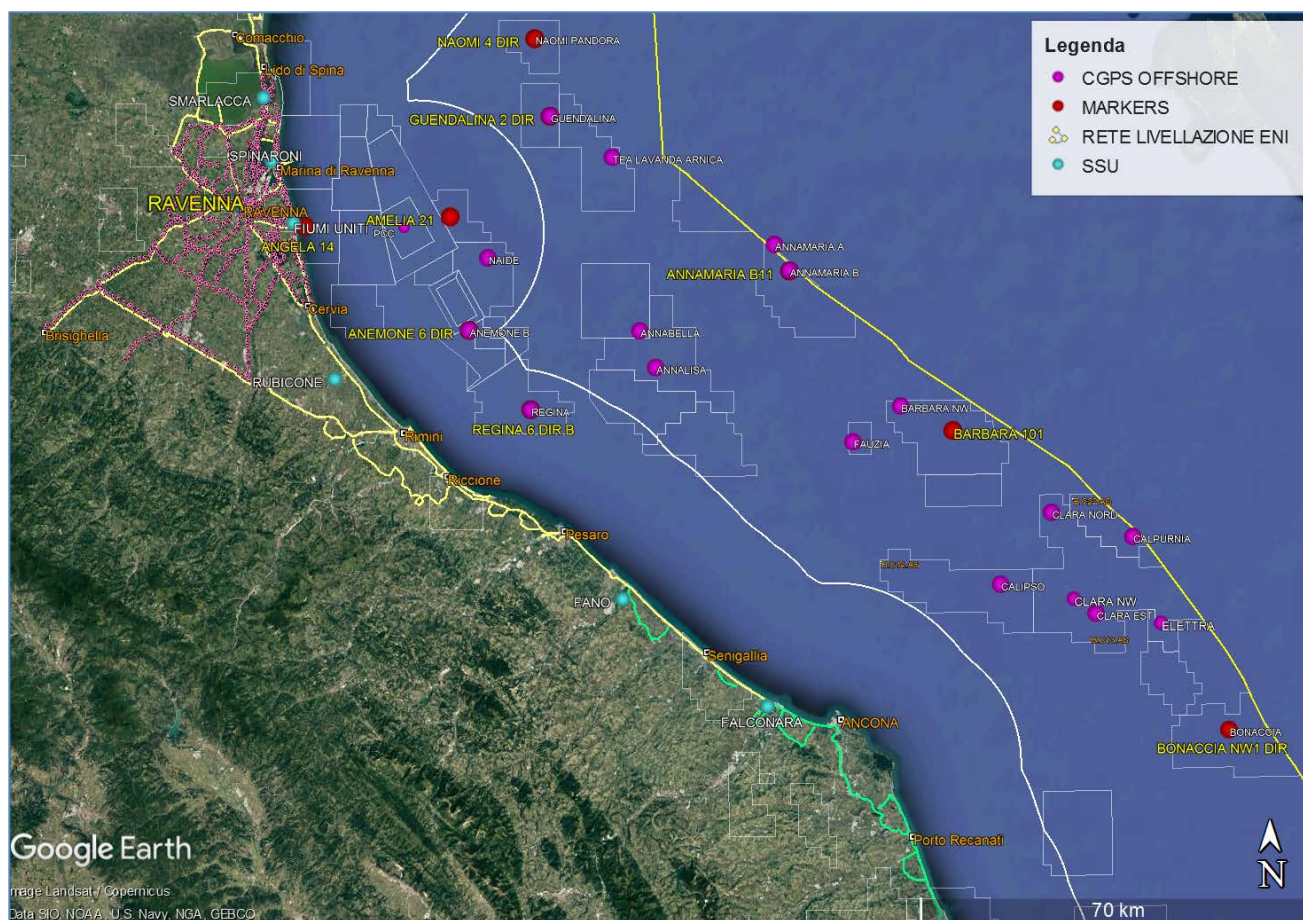


Figura 15 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

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

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

### Analisi dati InSAR 2012 – 2022

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

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

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

Tabella 1 . Taratura dato InSAR con le misure CGPS.

	CGPS	$V_{vert\_CGPS}$ [mm/yr]	$sqm\_CGPS$ [mm/yr]	$Media\_V\_SAR$ [mm/yr]	$sqm\_SAR$ [mm/yr]	Diff_VEL CGPS-SAR [mm/yr]	$sqm\_diff$ [mm/yr]
RAVENNA	SMARLACCA	-4,87	0,02	-2,03	0,26	<b>-2,840</b>	<b>0,28</b>
	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

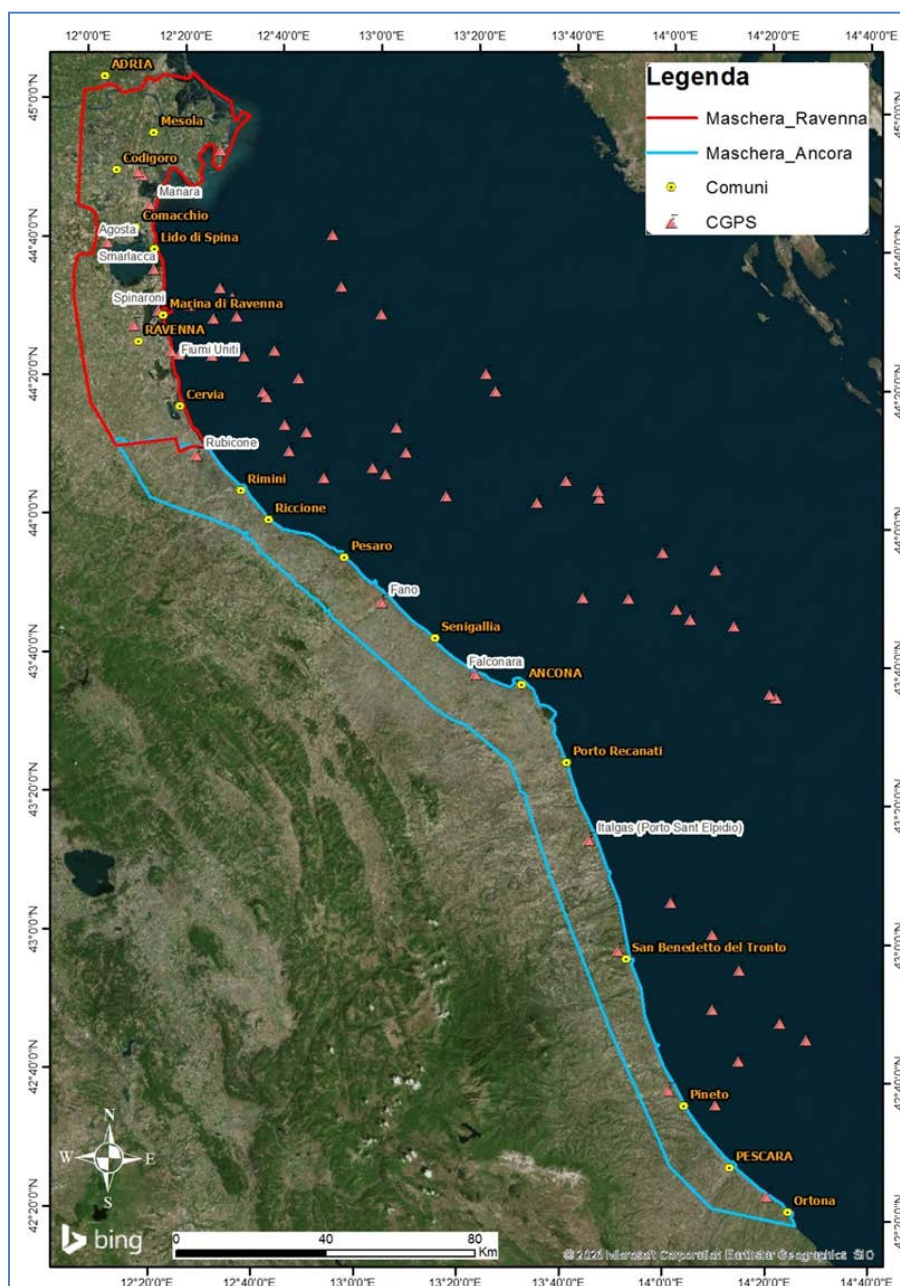



Figura 12. Mappa delle macro aree in cui sono stati raggruppati i dati SAR.



 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 24 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

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.

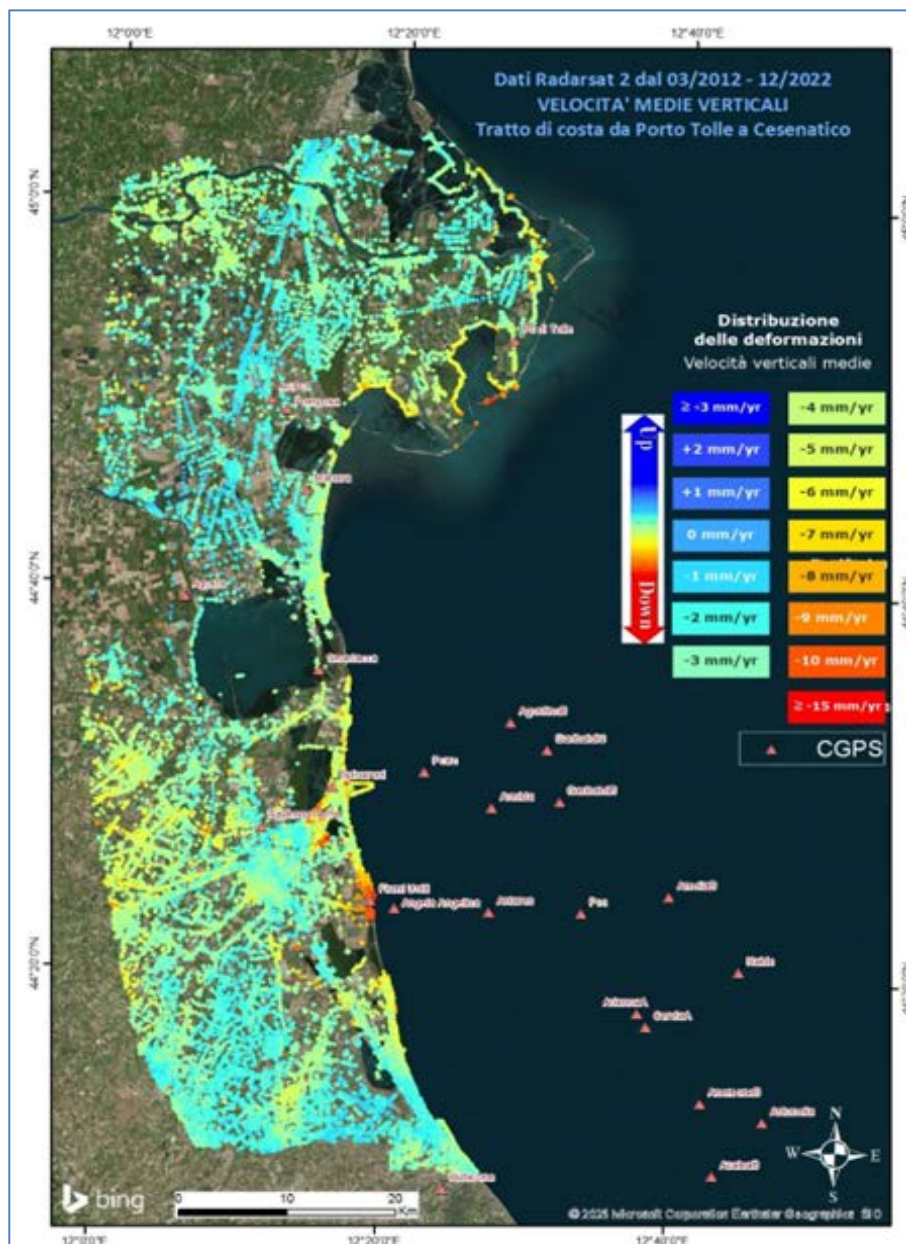


Figura 13. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

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.

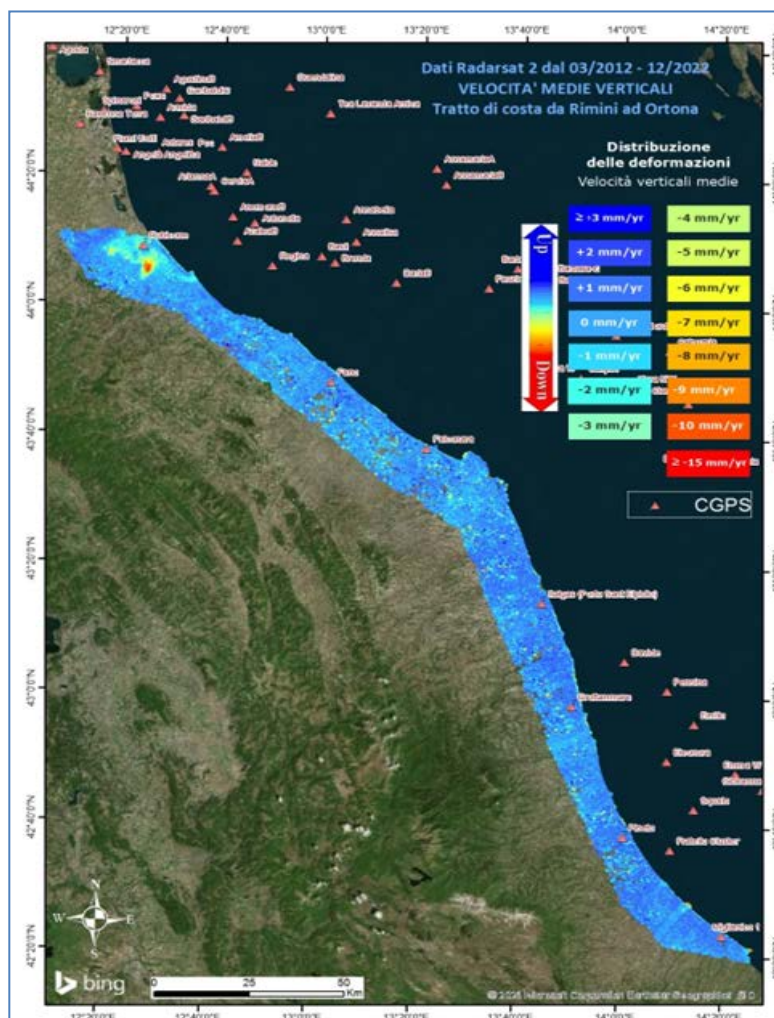



Figura 14. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.

### 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



 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 27 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

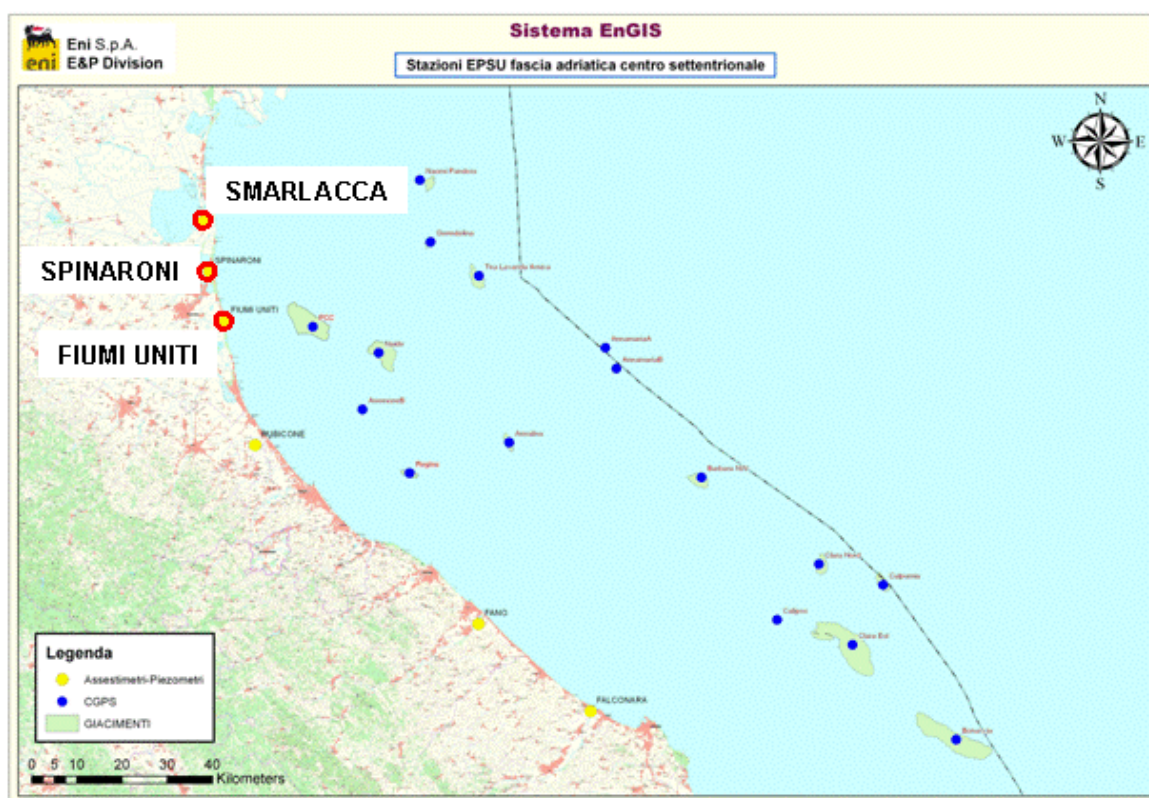
di misurare movimenti lenti del terreno dovuti a frane, subsidenza, fenomeni vulcanici e sismici (Co-stantini et al., 2005). I PS corrispondono generalmente ad elementi al suolo, come manufatti (ad esempio, parti di edifici, antenne, tralicci, elementi metallici in genere) oppure corpi naturali (ad esempio,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

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

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

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

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



**Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU**

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

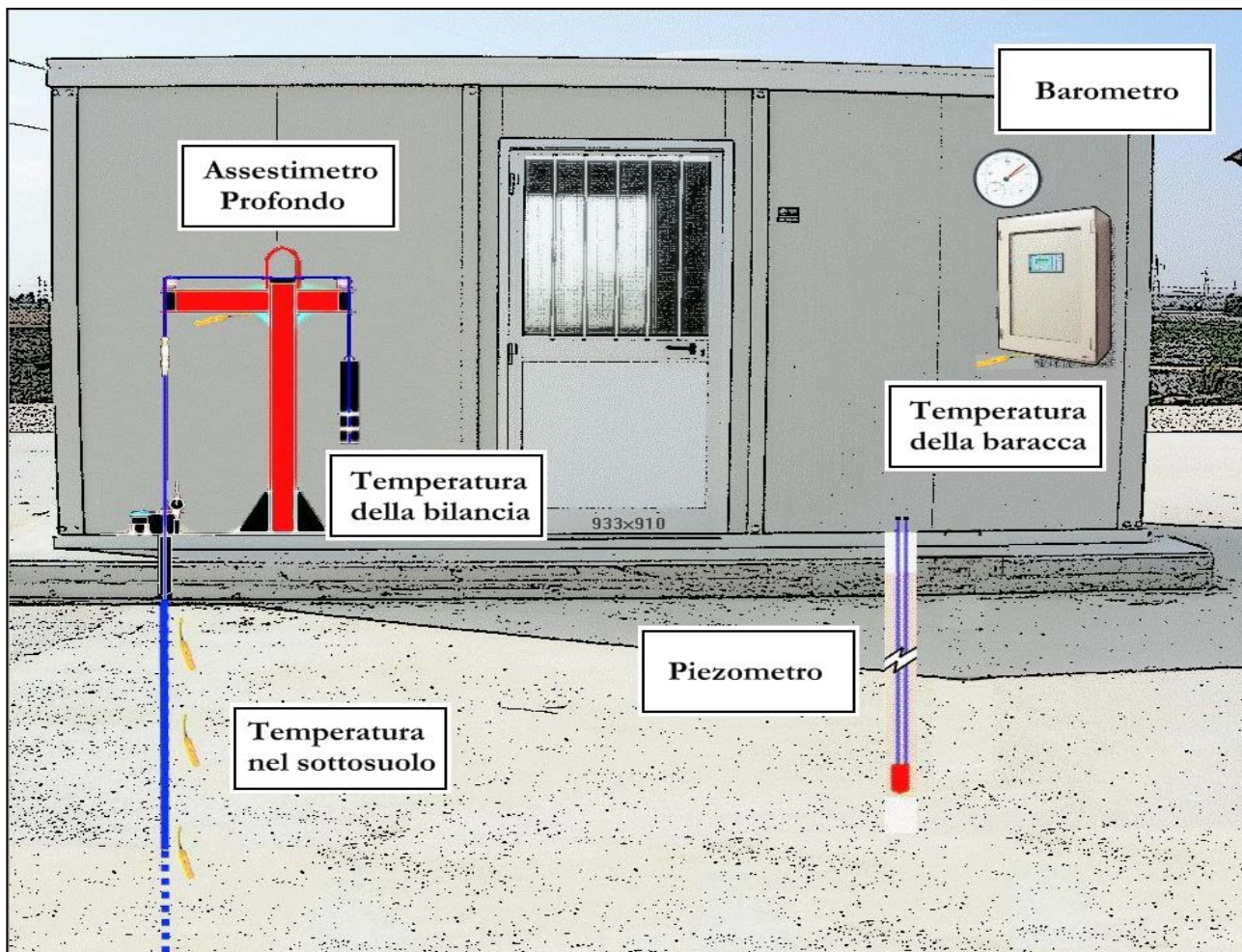


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

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

Per ciascuna stazione *EPSU* vengono di seguito presentati:

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

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



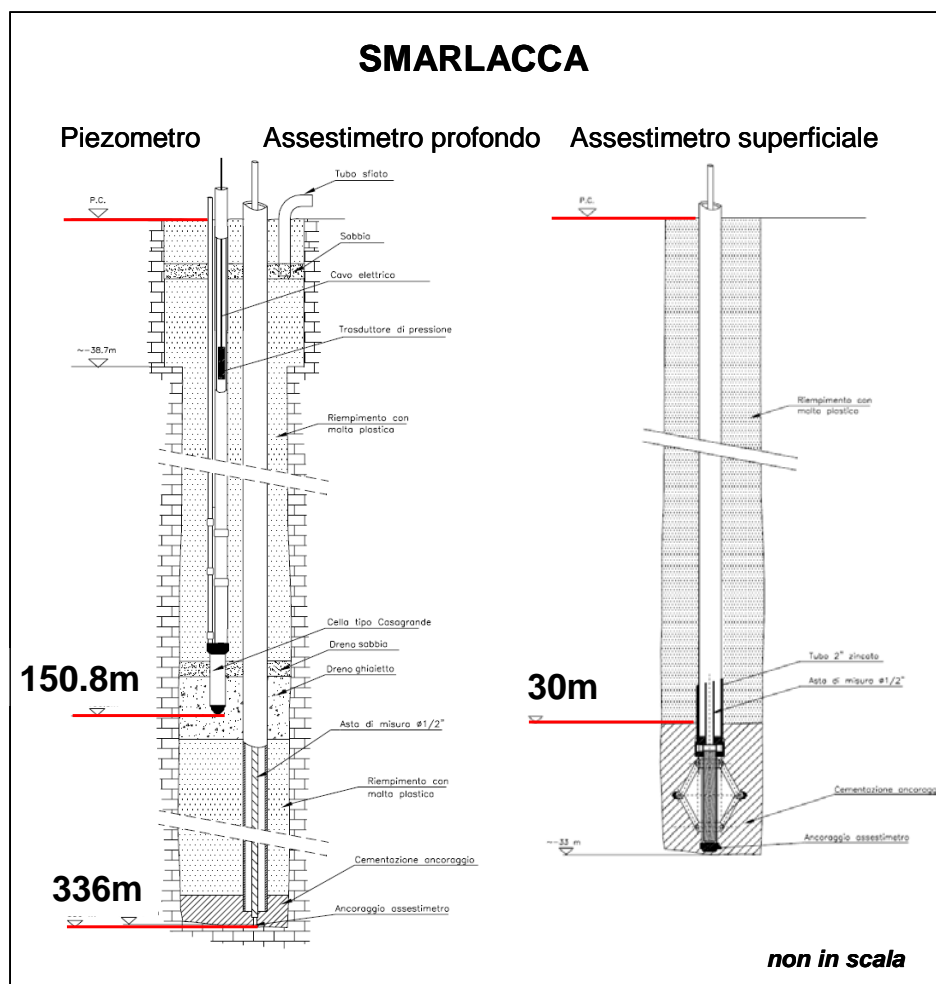
## **Stazione EPSU di Smarlacca** (installata novembre 1997)

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


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

La strumentazione è costituita da (Figura 3B):

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



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

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 32 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

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

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

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

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


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

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

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

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



 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 33 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

## Analisi dei dati assestimerici

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

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

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

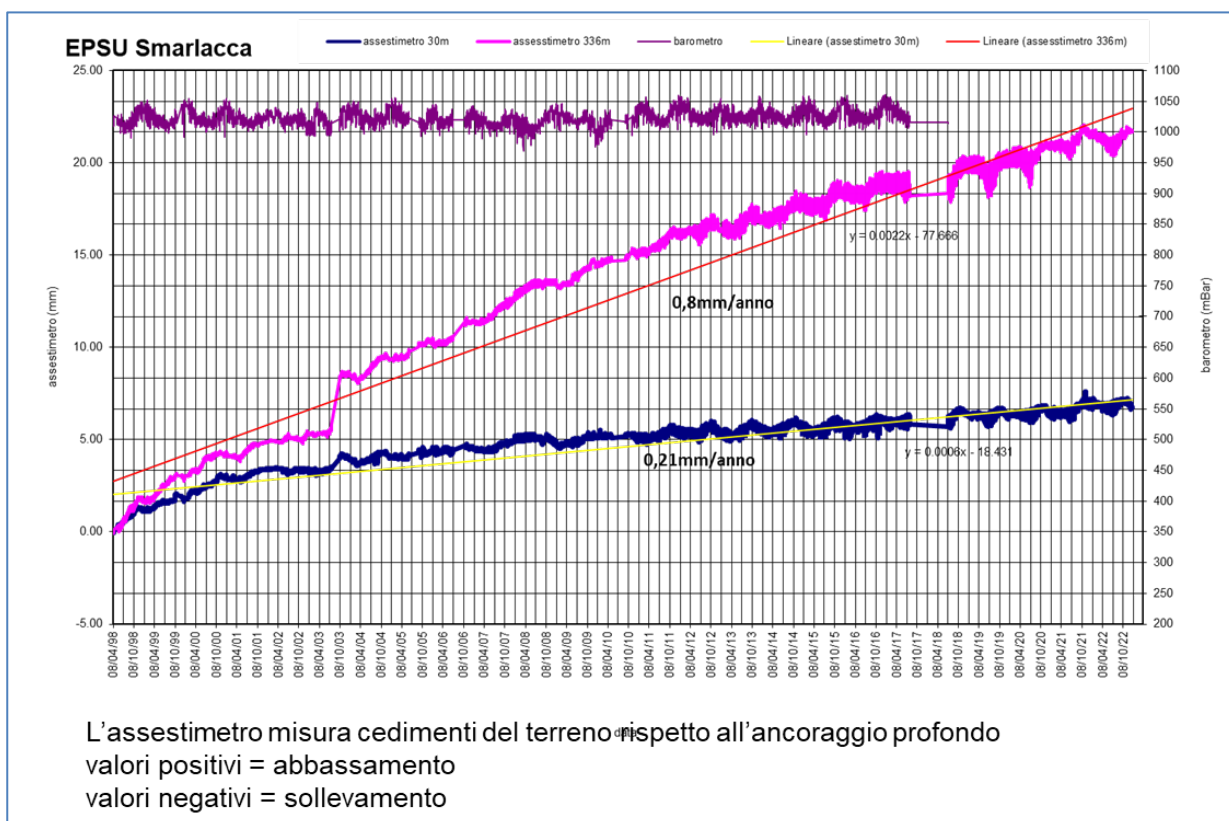
Il grafico storico mostra, infatti, una compattazione a velocità più o meno costante in tutti i periodi dell'anno, tranne che nel luglio-settembre 2003 in cui il fenomeno ha avuto un'accelerazione. L'estate del 2003 è stata caratterizzata da temperature atmosferiche molto elevate e assenza di precipitazioni piovose, condizioni che potrebbero aver favorito una compattazione superficiale maggiore. Dopo questo periodo gli assestimetri sono tornati a registrare la solita tendenza a velocità costante. Le registrazioni di entrambi gli assestimetri (superficiale e profondo) mostrano la stessa tendenza di compattazione ed espansione del terreno con una correlazione molto elevata fra i rispettivi andamenti anche se, le velocità medie di compattazione (Figura 4B) sono risultate rispettivamente di circa 0.21 mm/a (foro superficiale) e circa 0.80 mm/a (foro profondo). In particolare, per quanto riguarda la curva di compattazione registrata dall'assestometro profondo, si può osservare che, anche se la relativa velocità media, calcolata su tutta la serie temporale è di 0.8 mm/a, essa presenta un andamento più articolato nel tempo. Infatti, (Figura 5B), verso l'inizio del 2012 tale velocità di compattazione si riduce, portandosi a circa 0.5 mm/a, forse per effetto di un minor emungimento delle falde più profonde.

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

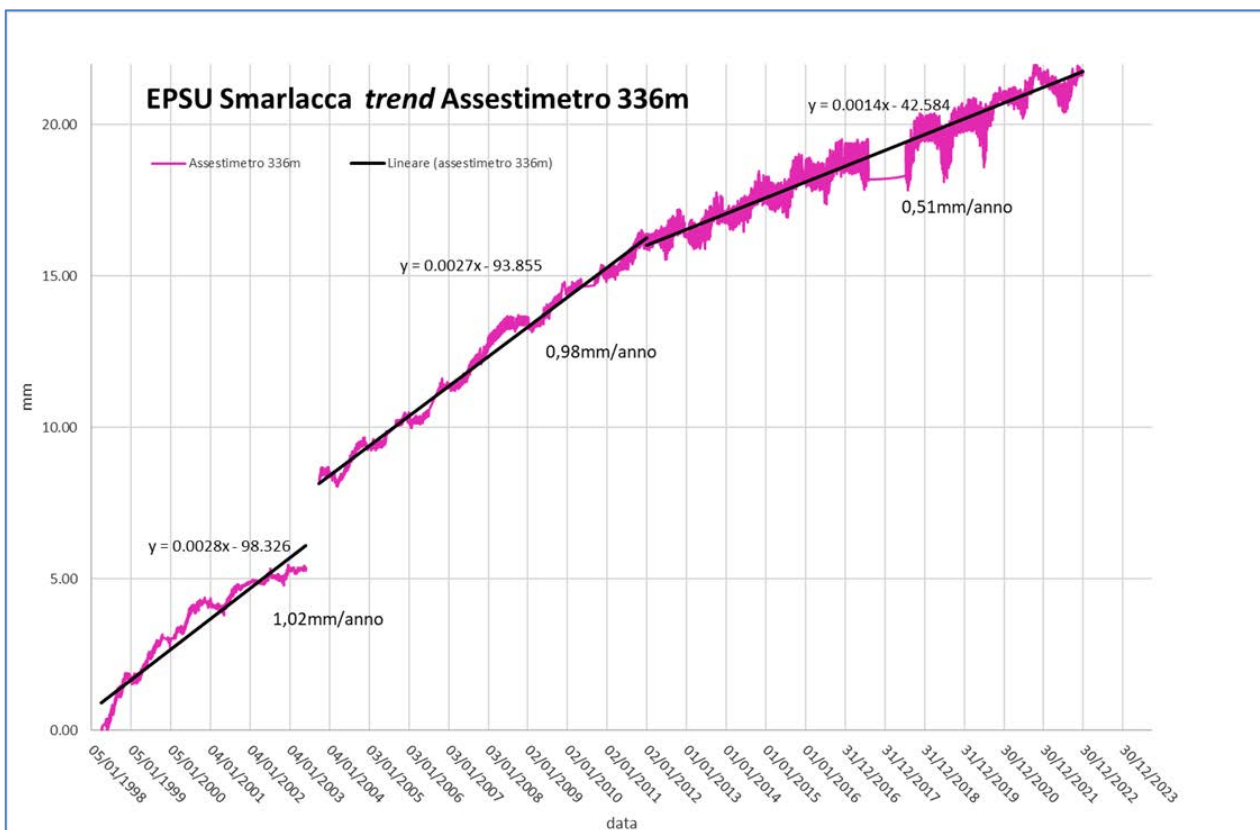
L'assestometro superficiale registra una compattazione minima, pari a poco meno di 7 mm totali (6.7mm) in oltre 24 anni (24.74) pari a circa 0,3mm/a (0,27mm/a).

## Analisi dei dati piezometrici

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



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



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

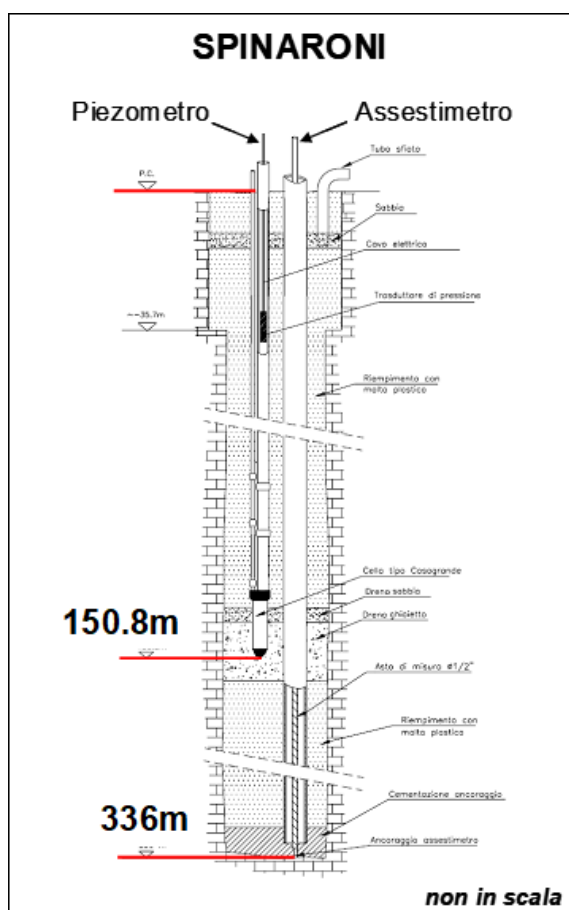
## Stazione *EPSU* di Spinaroni - (installata novembre 1997)

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

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


La strumentazione è costituita da:

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



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

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

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 37 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

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

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

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

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


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

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

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

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



 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 38 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

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

## **Analisi dei dati assestimetrici**

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


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

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

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

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

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

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 39 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

2006 - inizio 2007”, si passa da una velocità di compattazione di circa 4.2 mm/a ad una riduzione notevole di tale valore, che passa prima a circa 1.4 mm/anno tra il 2007 e fine 2014, poi praticamente quasi a zero dal 2015 ad oggi. Infatti, il *trend* della compattazione superficiale misurato negli ultimi 6 anni è pressoché nullo (0.14 mm/anno).

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

La retta di regressione calcolata sui dati degli ultimi 6 anni è quasi orizzontale (Figura 8B). Analogamente al caso di Smarlacca, tale diminuzione potrebbe essere correlata ad un minor, o nullo, emungimento delle falde acquifere entro i primi 300m di profondità.

### **Analisi dei dati piezometrici**

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



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

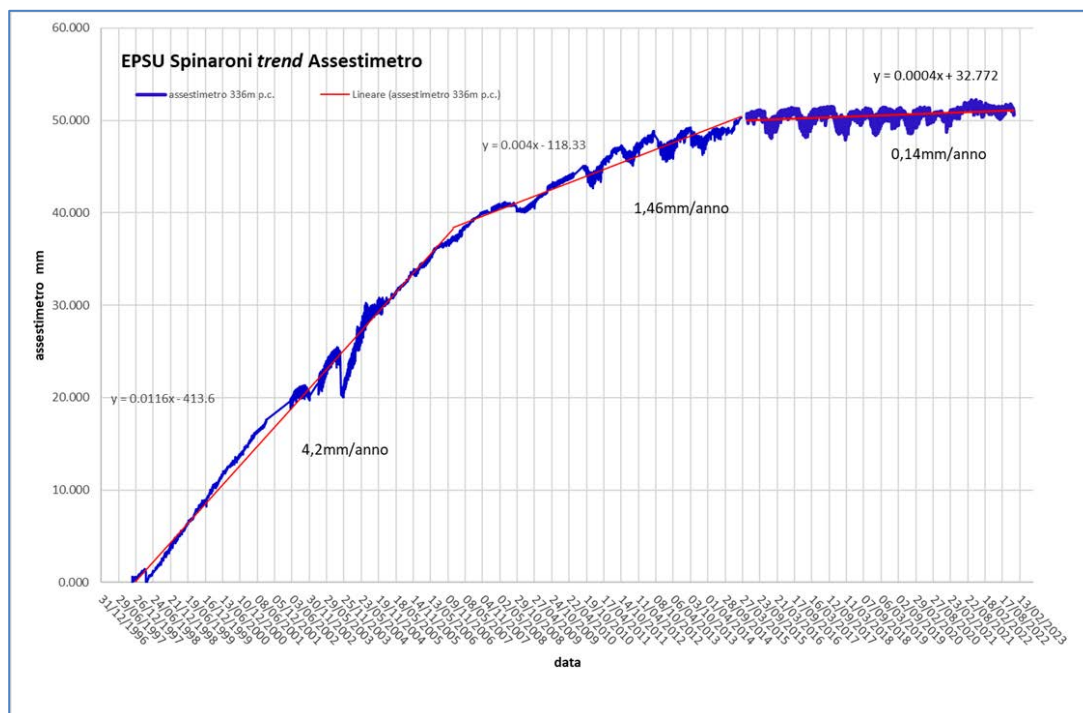


Figura 8B – Trend curva di compattazione dell'assestmetro della stazione EPSU di Spinaroni

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

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

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

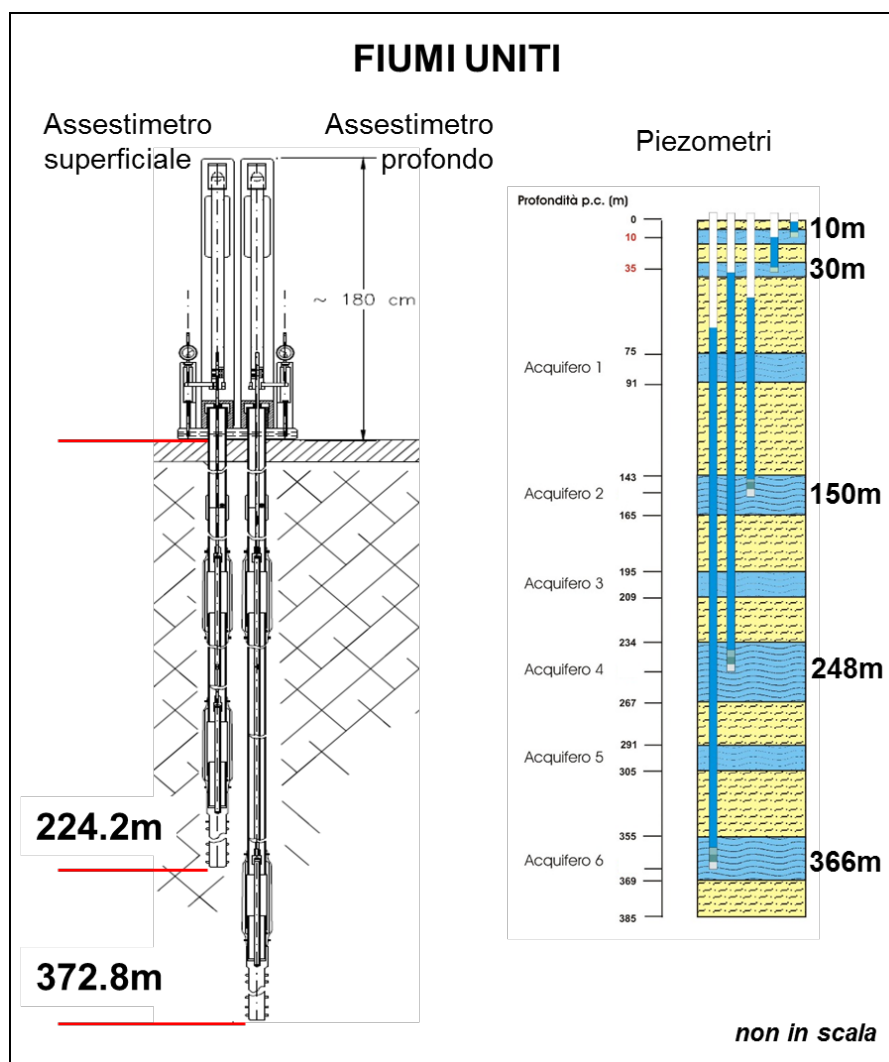
La strumentazione è costituita da:

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

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

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

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




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

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

Molto dubbio era anche il funzionamento del piezometro profondo.




 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 43 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

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

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

Nel 2020 e 2021 la registrazione dei dati è stata generalmente continua e regolare, ma a causa della situazione pandemica, dovuta all'infezione da virus COVID19, è stato possibile effettuare solo controlli ridotti della strumentazione.

Verso la fine del 2021 nelle giornate 26-27-28 ottobre è stata effettuata una attività di lavaggio e spurgo dei 5 piezometri del sito, con un controllo generale della strumentazione.

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 44 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

Dopo il lavaggio di ogni singolo piezometro sono state eseguite le prove di dissipazione dell'acqua immessa (carico idraulico) nei piezometri, durante l'attività di spurgo e lavaggio. Con queste prove si è potuto verificare il corretto funzionamento dei tratti filtranti, attraverso una serie di misure manuali (con freatometro, durante la fase di deflusso dell'acqua), rilevando il tempo necessario al ristabilirsi del livello di falda, misurato prima e dopo l'attività di pulizia dei piezometri. Si segnala che, a causa di un intervento tecnico al pozzo piezometrico a 163m (PP3), si ha una mancanza di dato tra la fine di giugno e fine ottobre 2021; la situazione di normale acquisizione è stata ristabilita alla fine di ottobre, in occasione dell'intervento per la pulizia dei piezometri. Durante il 2022 sono state eseguite le normali manutenzioni periodiche semestrali, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la relativa taratura di tutti i sensori, nei mesi di luglio e novembre. Per tutto il 2022 la strumentazione assestimetrica ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune, nelle serie dei dati registrati, tali da non permettere l'individuazione di una tendenza nel dato stesso.


## **Analisi dei dati assestimetrici**

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

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

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


In data 17/10/2006 è stata ripresa la corsa dei trasduttori di spostamento, precisamente di 16.3 mm per l'assestimetro profondo e di 14.4 mm per quello più superficiale. Nell'elaborazione dei dati si è tenuto in conto di queste variazioni, così da non rappresentare il "salto" nelle misure per

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 45 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

effetto di un cambiamento di fondo scala e non di una reale variazione assestimetrica.

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

In Figura 15B è rappresentato l'andamento della strumentazione EPSU nell'ultimo anno (2022); quello che si può notare è che gli assestimetri hanno una escursione bassissima e con delle sinusoidi stagionali che hanno un comportamento anomalo rispetto alle usuali pulsazioni del terreno (solitamente espansioni in inverno-primavera e compattazioni in estate-autunno). Infatti, come già evidenziato anche negli anni passati, si osserva un picco di compattazione intorno ad aprile, una successiva espansione intorno luglio-agosto e poi una successiva compattazione che ha il massimo verso la fine dell'anno (novembre). C'è da dire che comunque l'ampiezza di tali escursioni è bassissima (meno di 1mm) per una compattazione totale nell'anno (non recuperata) di circa 1mm. Per quanto riguarda le falde monitorate possiamo dire che il piezometro profondo (PP1) a 360 m di profondità, che dalla sua installazione è risultato sempre in pressione, nell'ultimo anno si è mantenuto sempre costantemente intorno a 5 m sopra il p.c. non mostrando quasi nessuna fluttuazione stagionale e nessuna influenza da parte della piovosità locale o di variazioni stagionali (periodi piovosi e secchi), segno che la sua ricarica idrostatica avviene molto lontano dal punto di monitoraggio. Un andamento costante è più o meno visibile anche

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 46 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

per l'altro piezometro profondo a 257 metri.

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

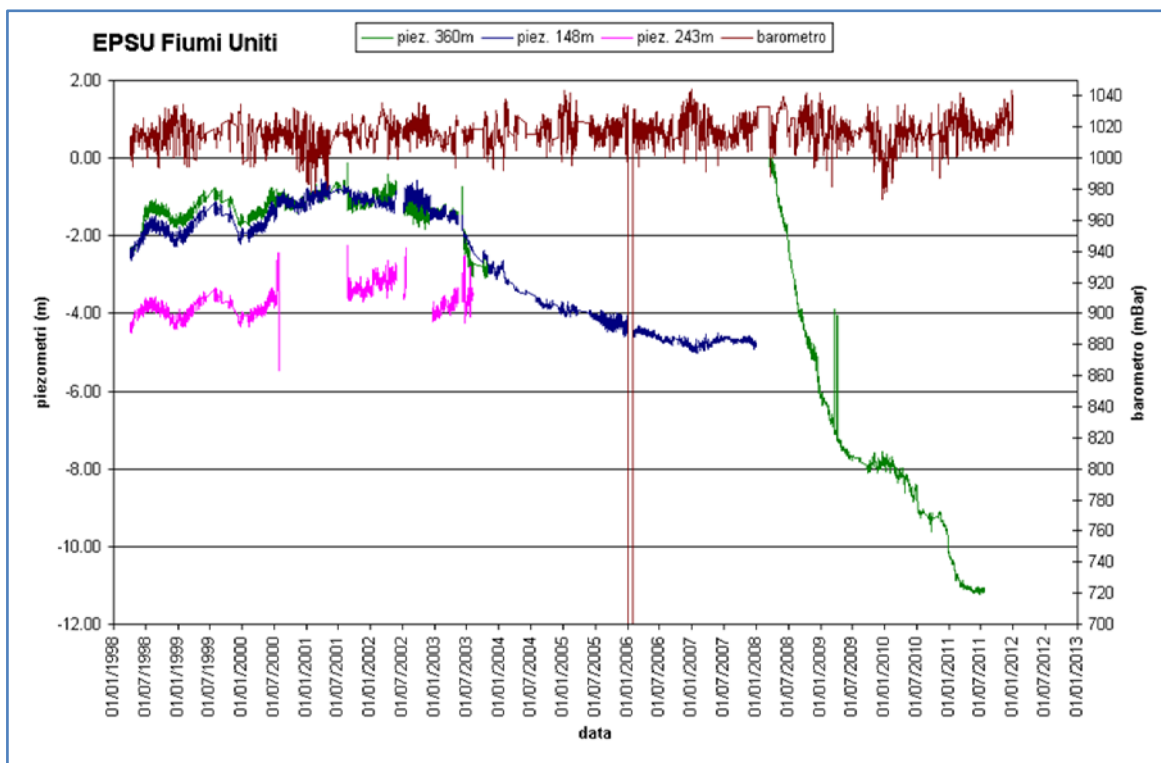
Anche i due piezometri superficiali (a 10 e 30 metri da p.c.) nell'ultimo anno, hanno mostrato un andamento abbastanza costante con debolissime fluttuazioni del livello piezometrico. Tali variazioni del livello di falda hanno mostrato una bassissima coerenza con l'andamento degli assestimetri, la correlazione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

## **Analisi dei dati piezometrici**

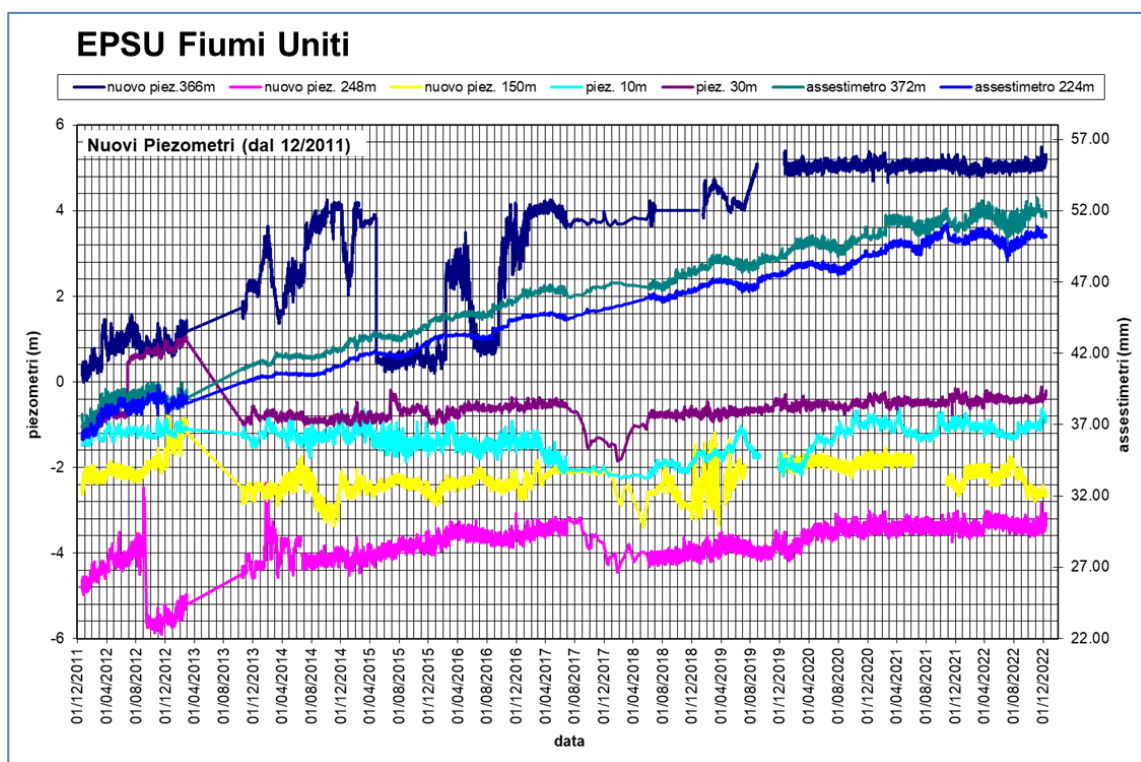
Come spiegato in precedenza, nella stazione sono stati posti inizialmente in opera tre piezometri verticali che, però, nel corso del tempo si sono guastati. Per un lungo periodo di tempo, le misure piezometriche utilizzate sono state solo quelle relative al piezometro più profondo, ritenuto più attendibile.

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

Da metà luglio 2011 tutti i vecchi tubi piezometrici sono stati poi definitivamente sigillati e dal 22 dicembre 2011 ad oggi si sono resi disponibili i dati dei nuovi tubi piezometrici (Figura 11B e Figura 15B). A dicembre 2017 tutti e 5 i piezometri della stazione sono stati sottoposti ad una manutenzione straordinaria consistita in spurgo e lavaggio degli stessi. Tutti i piezometri sottoposti a manutenzione hanno risposto in modo positivo durante l'attività di spurgo/lavaggio, risultando integri e perfettamente funzionanti. Una nuova campagna di pulizia e verifica di funzionamento di tutti e cinque i piezometri è stata effettuata alla fine di ottobre 2021. Da segnalare che, dalla sua installazione, il piezometro profondo (PP1 a 360 m di profondità) è risultato sempre in pressione, con una altezza della falda al di sopra del piano campagna, variabile tra 0.5 e 5 m.

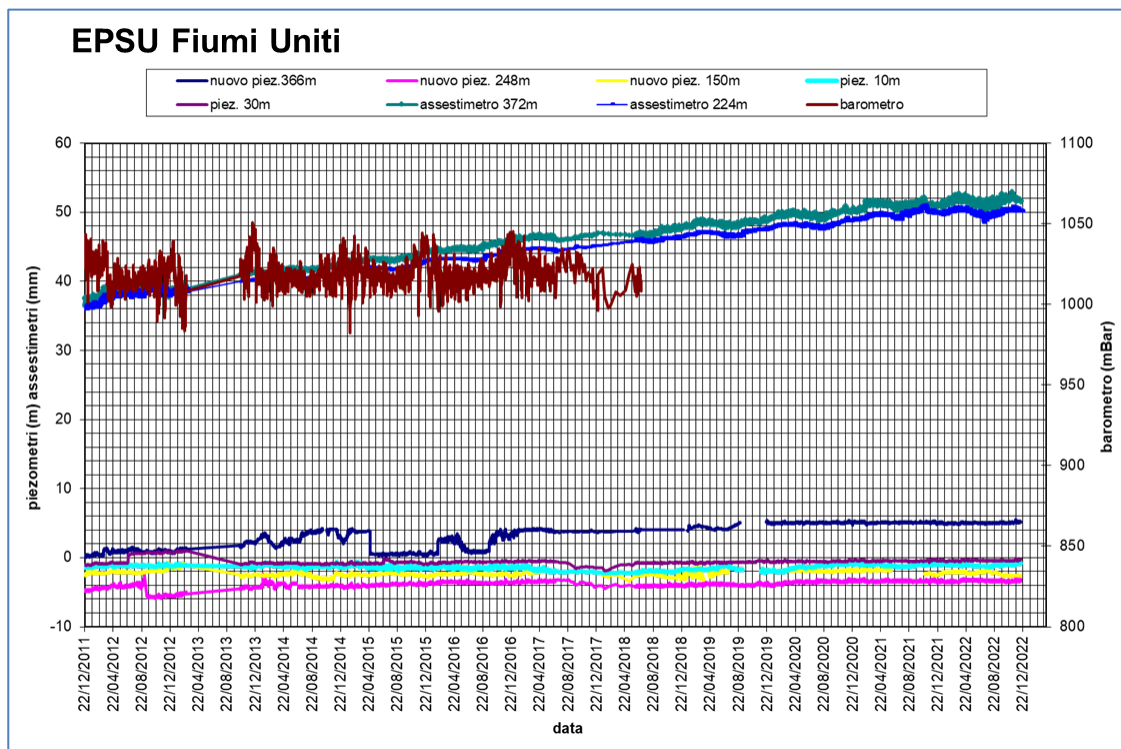


**Figura 10B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: misure della vecchia strumentazione piezometrica attiva sino al 2011**

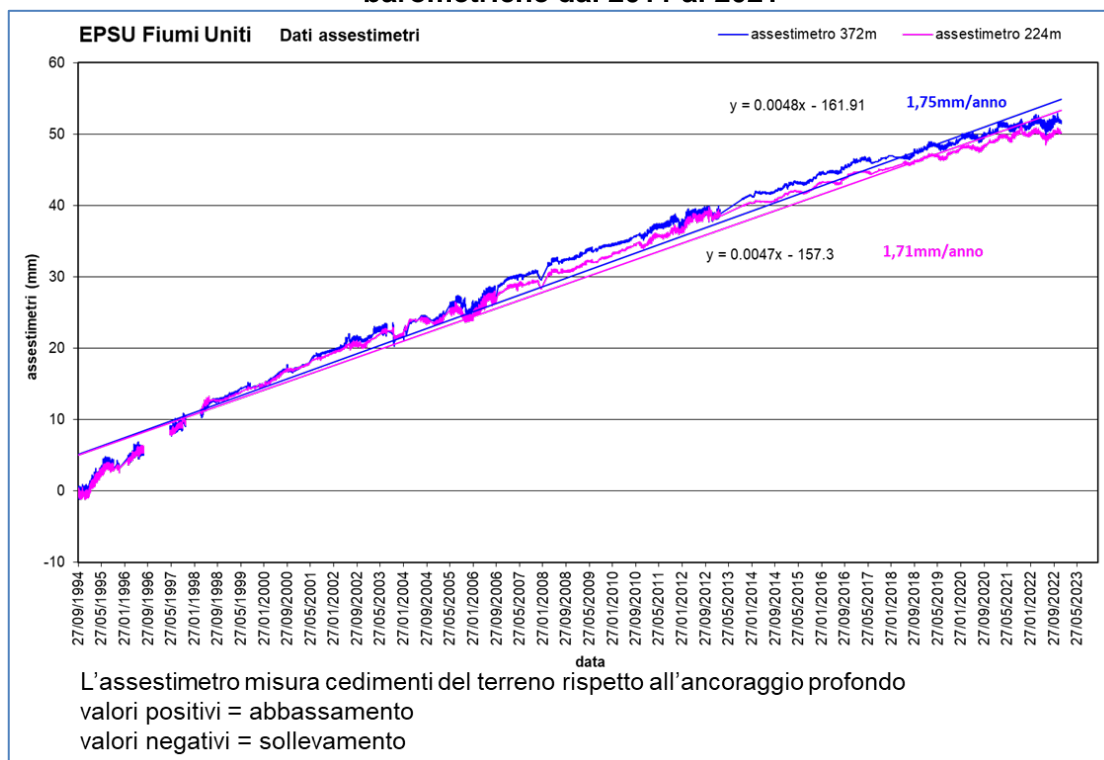




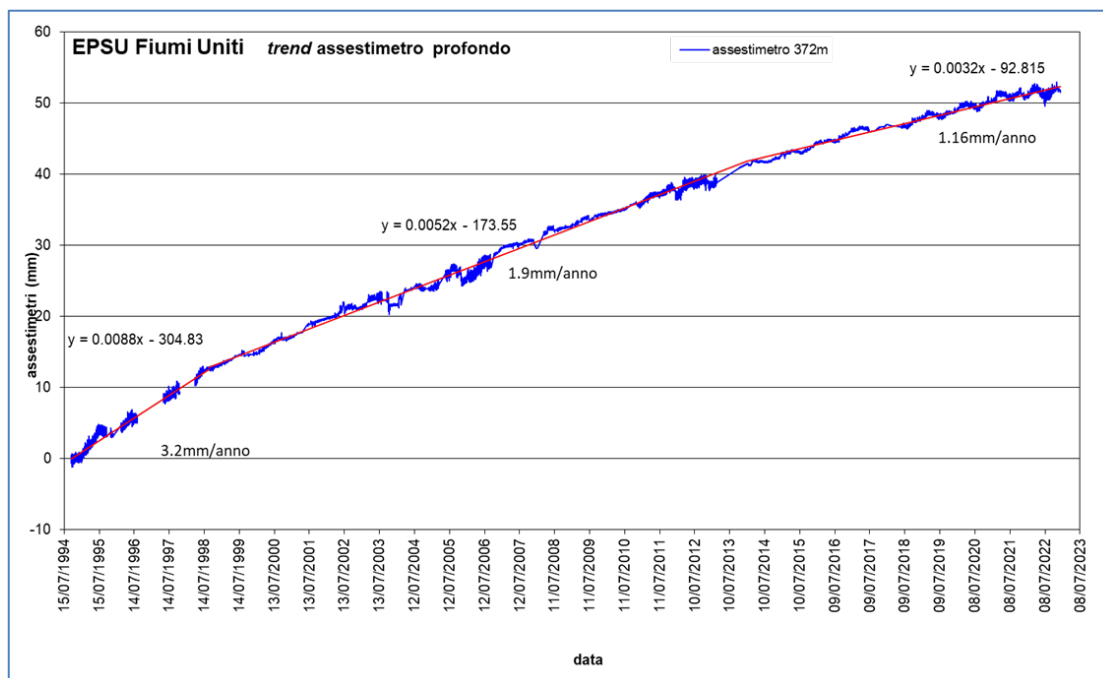
**Figura 11B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: misure piezometriche-assestimetriche dal 2011 al 2021**



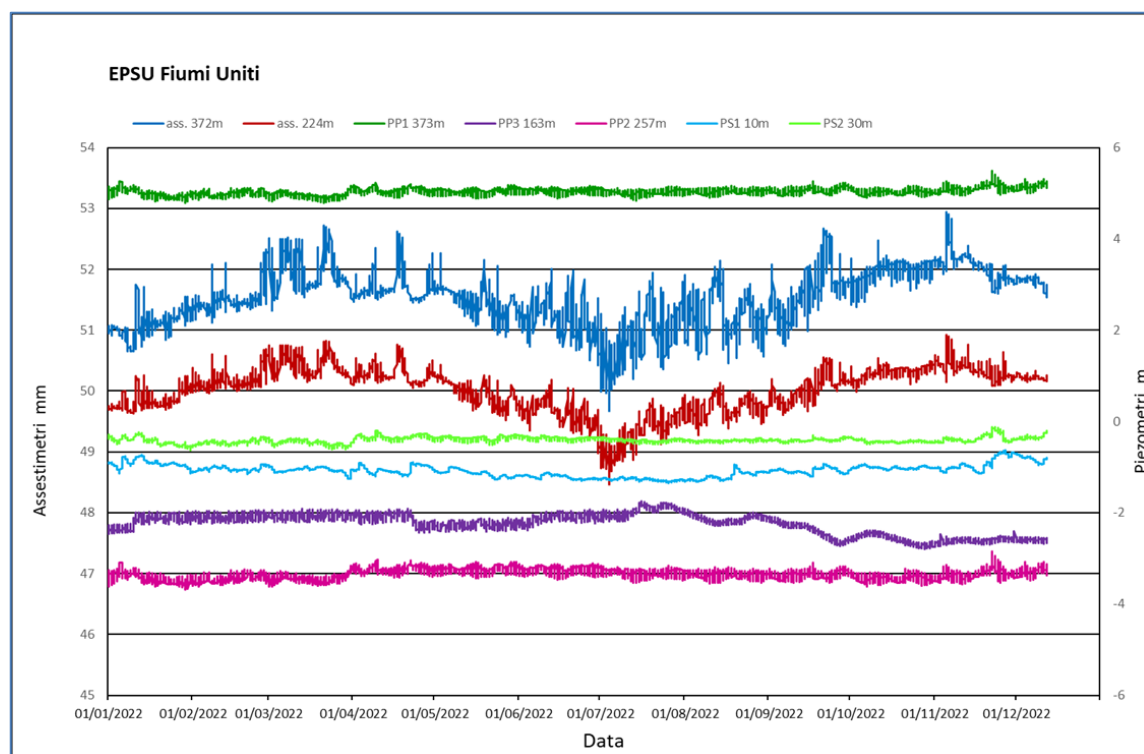
**Figura 12B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: misure piezometriche assestimetriche e barometriche dal 2011 al 2021**




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



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



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

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 50 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------


## Conclusioni

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

### Smarlacca

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

L'andamento delle misure è stato, infatti, più o meno costante nel tempo, tranne che per l'abbassamento registrato nel periodo luglio-settembre 2003. La compactazione totale è stata pari a 21.65 mm (Figura 4B) per una velocità media di abbassamento di circa 0.87 mm/a (velocità da regressione lineare 0.80 mm/a). Una analoga tendenza nelle misure si rileva anche per l'assestimetro più superficiale, che, però, ha registrato una compactazione totale nettamente più ridotta: 6.77 mm complessivi, corrispondenti a circa 0.27 mm/a (velocità da regressione lineare 0.21 mm/a). L'andamento della velocità di compactazione dell'assestimetro profondo mostra un andamento più modulato da quanto si potrebbe evincere dalla sola regressione lineare su tutta la serie. Si evidenziano, infatti, due trend di velocità distinti (Figura 5B): uno iniziale di circa 1 mm/anno sino alla fine del 2011 ed uno con un valore di velocità di circa 0.5 mm/anno negli ultimi 10 anni. I dati piezometrici non sono da considerarsi attendibili.

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_PCM	Page - 51 - of 52
--	---	---------------------------------	-------------------

## **Spinaroni**

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

## **Fiumi Uniti**

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

Le curve restituite dalla strumentazione assestometrica non mostrano una buona correlazione con i dati dei piezometri. Tutte le falde profonde monitorate (PP1 a 373m, PP2 a 257m e PP3 a 163m) non sembrano essere responsabili delle varie fasi di compattazione ed espansione del

terreno registrate dagli assestimetri, anche le falde idriche monitorate dai due piezometri superficiali (a 10m e 30m), nell'ultimo anno hanno mostrato un andamento abbastanza costante, con bassissime fluttuazioni.

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

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

n.i. = non installato